



Proyección Laser como soporte al proceso de montaje del ala del Airbus A400M

J. Servan⁽¹⁾, M. Oliva⁽¹⁾, F. Mas⁽¹⁾, Jose 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

Los montajes aeronáuticos son procesos complejos que requieren gran precisión y trazabilidad. La documentación de montaje ayuda a garantizar el correcto ensamblaje de los componentes, ya que, no solo proporciona información relativa a los elementos a montar, sino también acerca del utillaje y de la secuencias de tareas a realizar. Actualmente esta documentación es generada en formato 'papel digital'. Airbus Military ha desarrollado un nuevo sistema, denominado SAMBA-Laser, que permite usar la información de la industrial Digital Mock Up (iDMU) para, mediante proyección Laser, superponer la información necesaria para el montaje, directamente sobre las piezas del avión. El sistema ha sido implementado en la estación de montaje de alas de la línea de montaje final del Airbus A400M. El desarrollo, que está perfectamente integrado con las herramientas PLM de Dassault Systems, mejora la trazabilidad de los procesos reduciendo el tiempo requerido para generar y mantener la documentación de montaje.

1. INTRODUCCIÓN

La industria aeronáutica ha sufrido una gran evolución en las últimas décadas, debido principalmente a los cada vez más exigentes requerimientos de los clientes así como al propio desarrollo de la tecnología. Por este motivo los montajes aeronáuticos son cada vez más complejos y los plazos de entrega han decrecido considerablemente. A todo ello hay que sumar que durante la vida en servicio, de un avión, se producen una gran cantidad de cambios y modificaciones.

Una línea de montaje aeronáutica está soportada por una gran cantidad de documentación, tanto técnica como de protocolo, entre ellas las Instrucciones Técnicas (IT), que tienen una especial relevancia ya que guían a los operarios acerca de cómo realizar las tareas de montaje: qué elementos tienen que montar, qué útiles tienen que utilizar y qué procedimientos y reglas que deben seguir.

Una IT de montaje se debe mantener actualizada a lo largo de todo el ciclo de vida de un avión, esto quiere decir que su contenido debe de adaptarse a todas aquellas modificaciones que no solo el producto pueda sufrir, sino también del proceso, el utillaje, los medios industriales y las capacidades de los recursos humanos.

Una IT de montaje habitualmente es un documento de papel, que por norma general es creado y mantenido por la Ingeniería. Pero actualmente es posible utilizar otras técnicas y soportes para presentar la información al operario. Una de las más prometedoras es la realidad aumentada que suplementa al mundo real con objetos virtuales que parecen coexistir en el mismo espacio que el mundo real [1]. La información del mundo real es generalmente o bien en formato de video, o formato óptico, si se utiliza tecnología "see-through". Existe una gran variedad de dispositivos para tal efecto, tanto utilizando monitores como utilizando dispositivos Head Mounted Display (HMD) [2].

La tecnología basada en realidad aumentada con sistemas de posicionamiento por visión artificial está abriendo un abanico de nuevas posibilidades en cuanto al soporte a la documentación de montaje y mantenimiento. El uso de este tipo de técnicas aplicadas a

dichas tareas proporciona beneficios cuantificables, en particular una reducción de la carga de trabajo a la hora de generar, mantener y usar la documentación de montaje y mejora de las condiciones de trabajo de los operarios [3].

A continuación se reseñan trabajos significativos en la aplicación de técnicas de realidad aumentada en el despliegue de documentación técnica. En SNOW [4] se hace uso de técnicas de visión artificial para acceder a la documentación de mantenimiento mediante reconocimiento de gestos. En ULTRA [5] se incluyen imágenes de realidad aumentada en la definición de instrucciones de trabajo para mantenimiento. En ARVIKA [6] se analiza la implementación de soluciones de realidad aumentada en diferentes entornos industriales, por ejemplo para montajes complejos, y utilizando diferentes tecnologías. En MOON [7], desarrollo realizado por Airbus Military, se utiliza la realidad aumentada para la ayuda al montaje de las instalaciones en las carenas del tren principal del Airbus A400M.

En el ámbito industrial, y dentro del campo de la proyección láser, se han realizado investigaciones que hacen un análisis de la realidad aumentada sobre los procesos de mantenimiento y reparación o donde se estudia la aplicabilidad de la proyección láser sobre elementos industriales [8] y su propuesta de proyección láser sin marcas [9].

Este documento presenta la experiencia de Airbus Military en el desarrollo del proyecto SAMBA-Laser - Soporte Al Montaje BASado en proyección Laser. El proyecto combina dos técnicas: la reutilización de la información contenida en la iDMU [10] y el uso de la realidad aumentada para generar y mantener documentación técnica de montaje.

En los siguientes apartados, se presentan los detalles técnicos del proyecto SAMBA-Laser. Un caso de uso, llevado a cabo en la línea de montaje final del avión Airbus A400M, ilustra los resultados del proyecto, los problemas detectados, las soluciones adoptadas y las conclusiones de las pruebas.

2. DEFINICION DEL PROBLEMA

Una instrucción de montaje describe la tarea de montaje que debe ser realizada por el operador. Básicamente, describe la secuencia de operaciones a realizar así como sus parámetros fundamentales: las ilustraciones de los componentes a montar, los pares de apriete a aplicar, las características de los sellantes y su aplicación, las tolerancias, la normativa aplicable, etc. Tradicionalmente se ha utilizado un formato de documento de texto para todas las operaciones de montaje. Sin embargo existe una gran variedad de operaciones de montaje y un formato de IT tipo texto no resulta adecuado para todas ellas. Los diferentes tipos de operaciones de montaje requieren la presentación de la información en formatos y soportes adecuados a cada tipo.

Numerosas operaciones de montaje consisten en la repetición de una o un número reducido de acciones elementales de corta duración que se repiten un número elevado de veces. El proyecto SAMBA-Laser pretende comprobar si la tecnología de proyección laser es adecuada para presentar la información de montaje necesaria para este tipo de operaciones.

3. CASO DE USO

La operación de montaje elegida como caso de uso fue la unión inferior al cajón de torsión del ala del avión Airbus A400M. Concretamente la operación de cierre de la ranura de la unión, que consiste en un taladrado exterior con montaje de una platabanda mediante una serie de bulones de torsión como se muestra en la Figura 1.

Esta etapa de montaje se lleva a cabo en la estación de integración del ala y es una de las operaciones más representativas por su criticidad y en la que se necesita disponer de la documentación de montaje actualizada permanentemente para cada avión.

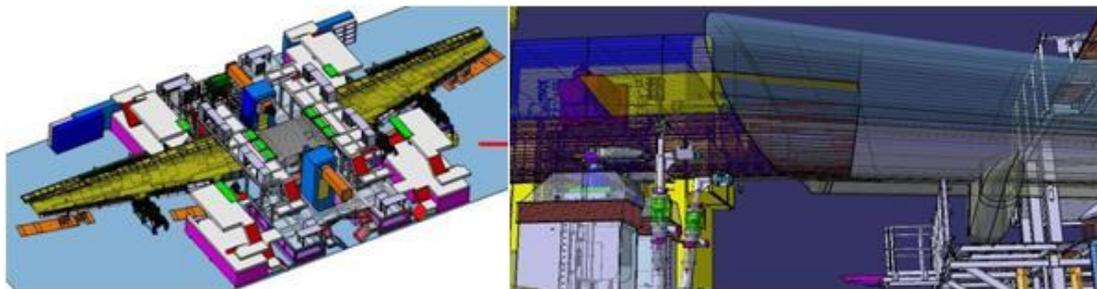


Figura 1. Detalle de zona de trabajo. Izquierda - ala en el útil. Derecha - unión ala cajón central

Esencialmente, la información que necesita el operario para realizar el montaje son los datos del bulón a instalar en cada posición y la secuencia de instalación de los bulones. Esta información se proporciona habitualmente mediante plantillas de montaje a escala 1:1 en papel indeformable, como la mostrada en la Figura 2. Estas plantillas son pegadas sobre la superficie del avión. El proceso de elaboración de estas plantillas es manual, y cuando se ha impreso, cualquier vínculo con los sistemas de información PLM se pierde.

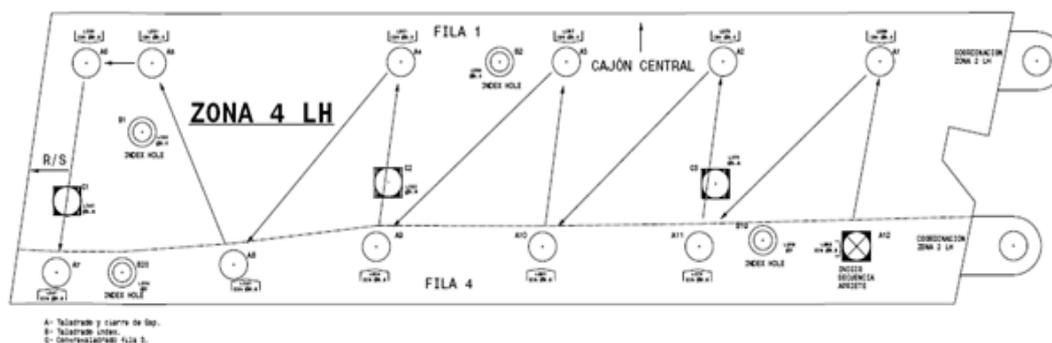


Figura 2. Detalle de la plantilla utilizada para el método tradicional

La proyección láser resulta particularmente adecuada para presentar esta información por los motivos siguientes:

- Permite indicar la secuencia de instalación de los bulones y la información de cada bulón sobre el producto, directamente en la posición de instalación, evitando la consulta repetida de un documento de manera similar a como se hace con los planos indeformables.
- La precisión requerida es relativamente alta. Los sistemas de proyección láser son más precisos, en torno a décimas de milímetro, dependiendo del ángulo de proyección. Mientras que los sistemas basados en realidad aumentada tienen una precisión baja, en torno a milímetros, y dependen mucho de una buena calibración del sistema.
- No requiere el manejo de ningún dispositivo, por tanto el operario tiene las manos libres para realizar el trabajo.
- Elimina la necesidad del control y archivado de planos en papel.

En el proyecto se utilizó un sistema de soporte al montaje basado en proyección láser, el cual consistía en un sistema de proyección láser estándar, usado tradicionalmente para el proceso de layout manual de telas de fibra de carbono. Mediante una aplicación desarrollada en el proyecto, la información relativa al proceso era extraída de la iDMU y proyectada sobre la superficie del ala donde se realiza el montaje. De esta manera el

operario puede consultar la secuencia de montaje y otros parámetros relativos al proceso como se muestra en la Figura 3.

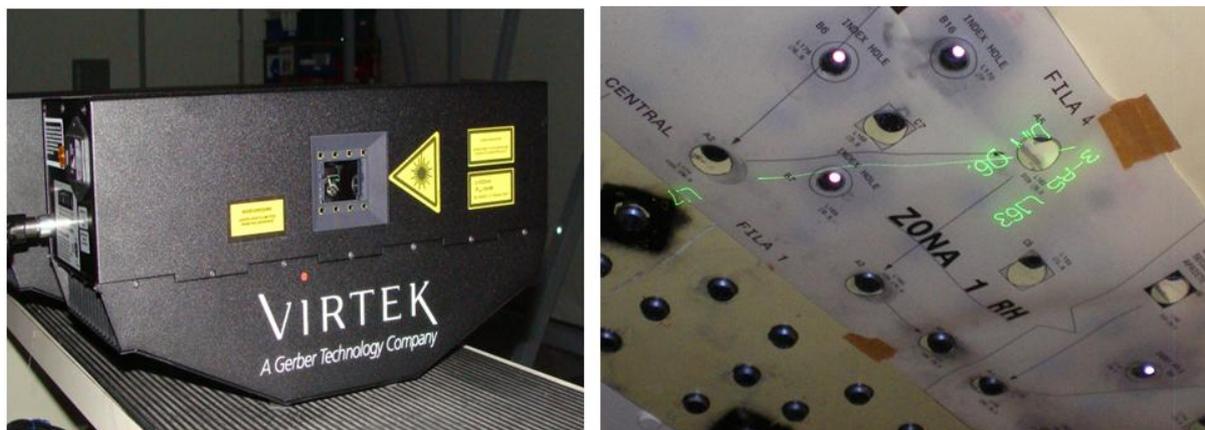


Figura 3. Sistema de proyección laser y proyección laser sobre la superficie del avión

4. DESCRIPCION DEL SISTEMA SAMBA-LASER.

El proyector laser se controla mediante programas en formato neutro adaptados a través de un post-procesador específico para el proyector utilizado.

El sistema SAMBA-Laser permite extraer de la iDMU la información a proyectar, genera el programa en formato neutro para proyectarla, y lo post-procesa generando dos ficheros: el fichero de calibración y el de trazado laser; que se descargan en el proyector. El diagrama de bloques del sistema se muestra en la Figura 4.

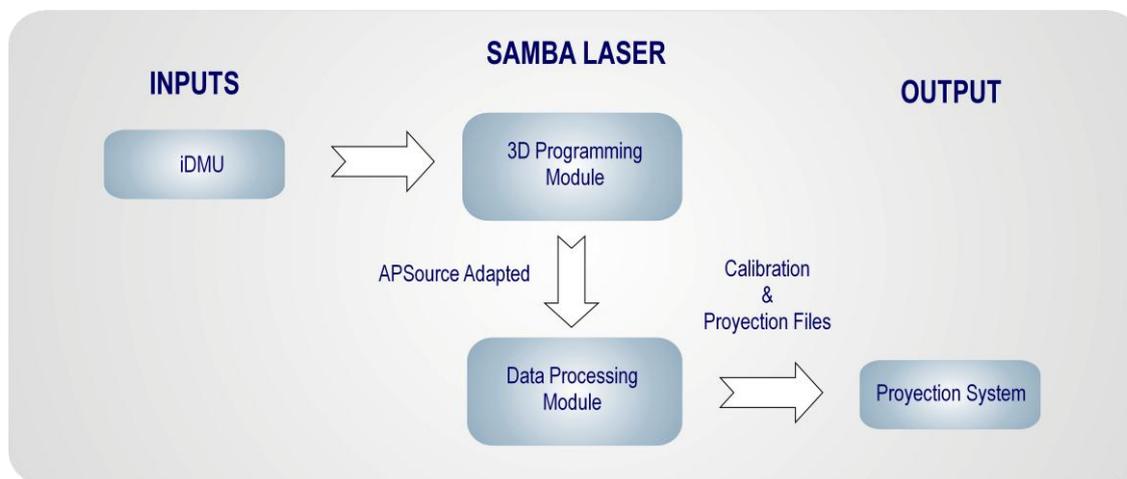


Figura 4. Diagrama de bloques del sistema SAMBA-Laser

El procedimiento de preparación de una IT mediante proyección laser consiste en la identificación en la iDMU de la zona de trabajo y de la información a proyectar, así como la definición de la posición de los marcadores de calibración en la zona de trabajo. A partir de esta información se genera el programa de trazado, se post-procesa y se obtienen los dos ficheros mencionados anteriormente. Para realizar la operación de montaje, el operario descarga los ficheros en el proyector laser y puede controlar la proyección mediante una interfaz así mismo proyectada.

El sistema ha sido desarrollado directamente sobre la plataforma CATIA v5, de Dassault Systems, como se muestra en la Figura 5. El módulo de programación ha sido creado en el entorno de desarrollo Component Architecture Application (CAA). Este entorno permite utilizar una Application Programming Interface (API) que proporciona funciones del módulo estándar de programación de control numérico, Advanced Machining. Dichas funciones se

han adaptado para poder ser utilizadas para el sistema de proyección láser. Adicionalmente, se ha desarrollado un conjunto de funcionalidades para la operaciones específicas de la solución SAMBA-Laser: calibración, texto, marcador, punto a punto, seguir una curva (2.5 y 5 ejes). Al iniciar el módulo SAMBA-Laser, en el árbol Proceso-Producto-Recurso (P.P.R.) de CATIA V5, la programación de operaciones aparece en la zona de procesos (Process List) y el recurso proyector laser aparece en la zona de recursos (Resources List).

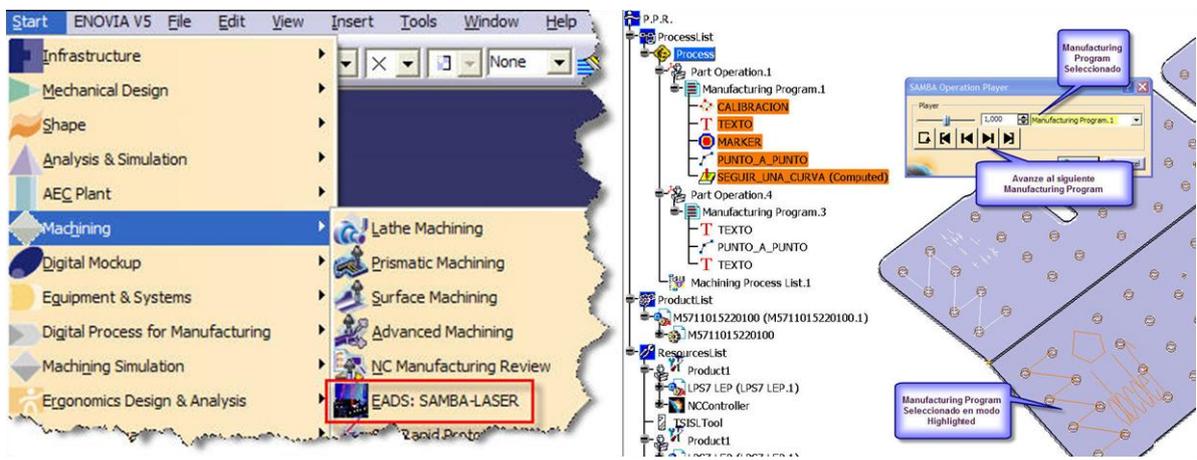
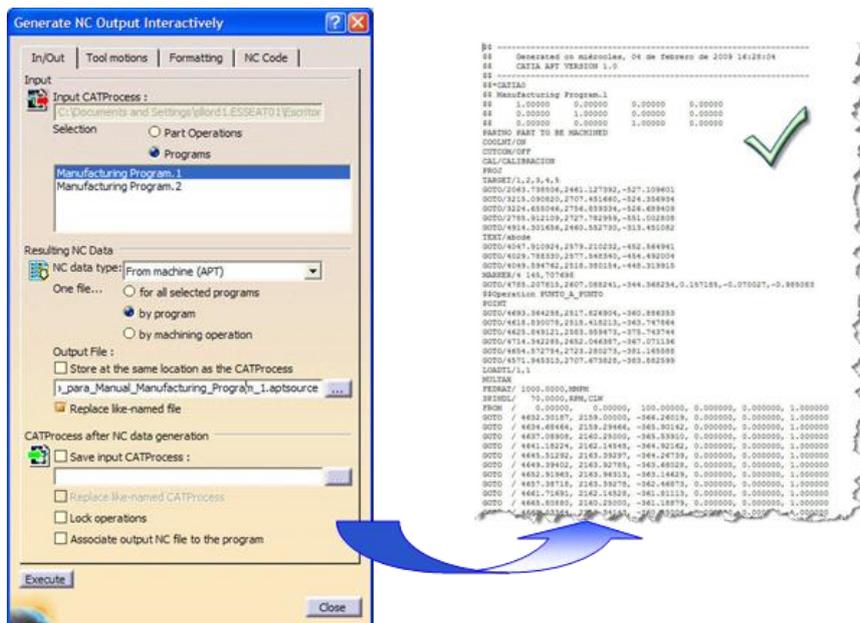


Figura 5. Detalle del módulo de programación desarrollado y de las operaciones de programación

En el desarrollo realizado, también se procedió a modificar las funciones de salida estándar de CATIA v5, el código fuente en formato APT, para utilizarlo como formato neutro. De esta forma, se independiza todo el proceso del tipo de equipo laser a utilizar.

Una vez obtenido un fichero con el formato neutro, se desarrollo un post-procesador para poder adaptar dicha salida al formato adecuado para el sistema de proyección laser a utilizar (Figura 6). Este desarrollo permite adaptar la salida a cualquier sistema de proyección laser disponible en el mercado. Así mismo, se añadieron nuevas funciones del control del laser, dando lugar a una nueva versión del sistema de control.



5. RESULTADOS

Se realizó un estudio para evaluar los resultados del proyecto SAMBA-Laser. Para ello, se han comparado los procesos del método tradicional de montaje basado en la utilización de plantillas con los procesos del método SAMBA-Laser. La comparación es completa, comprendiendo no sólo la ejecución sino la creación y mantenimiento de los procesos.

Tres aspectos básicos han sido evaluados, el tiempo de creación de cada proceso, el tiempo de mantenimiento de los mismos y el tiempo de consulta durante la realización del montaje. La Tabla 1 muestra los ahorros de tiempo conseguidos comparándolo con el modelo tradicional.

Caso de uso	Tiempos		
	Creación	Consulta	Mantenimiento
Método tradicional	30 horas	2 horas	10 horas
Método SAMBA-Laser	3 horas	1 hora	1 hora

Tabla 1. Resultados de las pruebas del caso de uso SAMBA-Laser

- Tiempo de creación de la instrucción de trabajo. El tiempo de creación quedó reducido a un 10%. Esto es debido principalmente a que el proyecto SAMBA-Laser reutiliza la información contenida en la iDMU. Las plantillas utilizadas en el modelo tradicional eran preparadas manualmente y la utilización de la información de la iDMU era mínima. Por otra parte hay que añadir, que las plantillas debían ser impresas en papel indeformable, lo cual añade un tiempo adicional que no ha sido tenido en cuenta en el estudio.
- Tiempo de consulta de la instrucción de trabajo. El tiempo de consulta también se vio reducido considerablemente. Con la metodología tradicional de trabajo, era necesario, por una parte disponer de operarios especializados que conocieran el proceso, y por otra parte se empleaba demasiado tiempo en la preparación del montaje. Además era necesaria la intervención de dos operarios para fijar la plantilla en la superficie del avión.
- Tiempo de mantenimiento de la instrucción de trabajo. El tiempo de mantenimiento también se redujo en más de un 90%. Esta ganancia se justifica por dos motivos. Primero, en la adaptación automática a las modificaciones de pequeño alcance que afectan sólo al diseño de las piezas. En segundo lugar la adaptación a las modificaciones provocadas por un cambio en la configuración reduce considerablemente la intervención humana. Mediante el sistema tradicional era necesario crear nuevas plantillas e imprimirlas cuando aparecía cualquiera de las dos situaciones mencionadas con anterioridad.
- Otros ahorros difícilmente cuantificables. Mejora de la trazabilidad de los procesos. Utilizando información digital, la calidad de la información utilizada queda garantizada por los sistemas PLM. Ahorro del espacio de almacenaje de las plantillas y en el mantenimiento de las plantillas.

6. PROBLEMAS DETECTADOS Y SOLUCIONES ADOPTADAS

Durante el desarrollo del proyecto se detectaron problemas de distinta índole que se relacionan a continuación.

- Problemas de oclusión. Es el principal problema encontrado en la utilización de los sistemas de proyección y se encuentra reportado en la literatura [8]. La oclusión puede darse tanto por parte del propio operario que realiza la operación, por la geometría de la zona donde se proyecta o por el propio utillaje necesario para realizar el proceso.
- Capacidad de proyección. Durante el caso de uso, el sistema de proyección presentó carencias a la hora de proyectar gran cantidad de información. A medida que la cantidad de información a proyectar iba creciendo el sistema mostraba tendencia al parpadeo, sobre todo con gran cantidad de información de texto.

- Dimensiones y peso de los equipos. Para el caso de uso, debido a que en el mercado no hay equipos de proyección pensados para realizar procesos de montaje, se utilizaron equipos de proyección láser estándar. Estos equipos están pensados principalmente para realizar tareas de apilado manual de telas de fibra de carbono, donde suelen estar anclados a la estación de trabajo y su dimensión y peso no son determinantes.
- Calibración. La calibración del sistema se hace mediante el uso de pegatinas reflectantes. Las pegatinas o puntos de calibración deben ser colocadas antes del proceso, el operador debe conocer previamente su posición, y desmontadas una vez finalizado el mismo.

Para resolver los problemas de oclusión y capacidad de proyección se optó por la utilización de un sistema de dos proyectores láser. El control de dicho sistema, gestiona los problemas de oclusión y la cantidad de información a proyectar por cada uno de los equipos láser. En cuanto al resto de los problemas enumerados anteriormente, aún no se dispone de soluciones factibles por lo que serán objeto de futuros trabajos.

7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Los trabajos futuros están encaminados a dar respuesta a los problemas apuntados anteriormente.

- Desarrollo de sistemas de proyección de dimensiones más reducidas, incluso portátiles, adaptables a las zonas de trabajo.
- Búsqueda de soluciones combinadas, en las cuales el proyector láser proyectará la información relativa al posicionamiento, mientras que otros sistemas proporcionarán información acerca del elemento a montar.
- Desarrollo de iconografía asociada al sistema de proyección de tal manera que la información de texto a proyectar sea mínima.
- Aplicación de sistemas basados en visión artificial o geo-localización como solución para evitar el uso de elementos de calibración.

8. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su más sincera gratitud a sus colegas de la Universidad de Sevilla, T-Systems Iberia, Virtek, Universidad Politécnica de Madrid y AIRBUS Military por su colaboración en este Proyecto.

9. REFERENCIAS

- [1] D.W.F. van Krevelen, R. Poelman. *A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations*, International Journal of Virtual Reality, 2010, 9(2):1-20.
- [2] R. Azuma, *A survey of augmented reality*, Presence: Teleoperators and Virtual Environments, vol. 6, (1997), pp 355-385.
- [3] S. Henderson, *Exploring the benefits of Augmented Reality Documentation for maintenance and repair*, IEEE Transactions on visualization and computer graphics, vol. 17, n.10, (2011).
- [4] R. Burmeister, et al., *SNOW - A Multimodal Approach for Mobile Maintenance Applications*, IEEE Intl. Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, 2006. WETICE '06, pp.131-136, (2006).
- [5] Makri, A., et al., *ULTRA Light Augmented Reality Mobile System*, in Proceedings of the ISMAR 2005, Vienna.
- [6] W. Friedrich, *ARVIKA - Augmented Reality for Development, Production and Service*, Proceedings of the IEEE/ACM Intl. Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2002.

-
- [7] 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 International Conference: MESIC11, 2011. AIP Conf. Proc. 1431, pp 633-640. September 2011. Cadiz, Spain.
 - [8] Björn Schwerdtfeger, Daniel Pustka, Andreas Hofhauser, Gudrun Klinker, *Using Laser Projectors for Augmented Reality*, VRST'08 Proceedings of the 2008 ACM Symposium on Virtual reality software and technology, pp. 134-137, (2008).
 - [9] Björn Schwerdtfeger, Andreas Hofhauser, Gudrun Klinker, *An Augmented Reality Laser Projector using Marker-less Tracking*, VRST'08 Proceedings of the 2008 ACM symposium on Virtual reality software and technology, pp. 27-29, (2008).
 - [10] J.L. Menendez, F. Mas Morate, J. Servan, J. Rios, *Virtual verification of the AIRBUS A400M FAL industrialization*, The 4th Manufacturing Engineering Society International Conference: MESIC11, 2011. AIP Conf. Proc. 1431, pp 641-648. September 2011. Cadiz, Spain.