



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI



innovaci3n + docencia + t3cnica



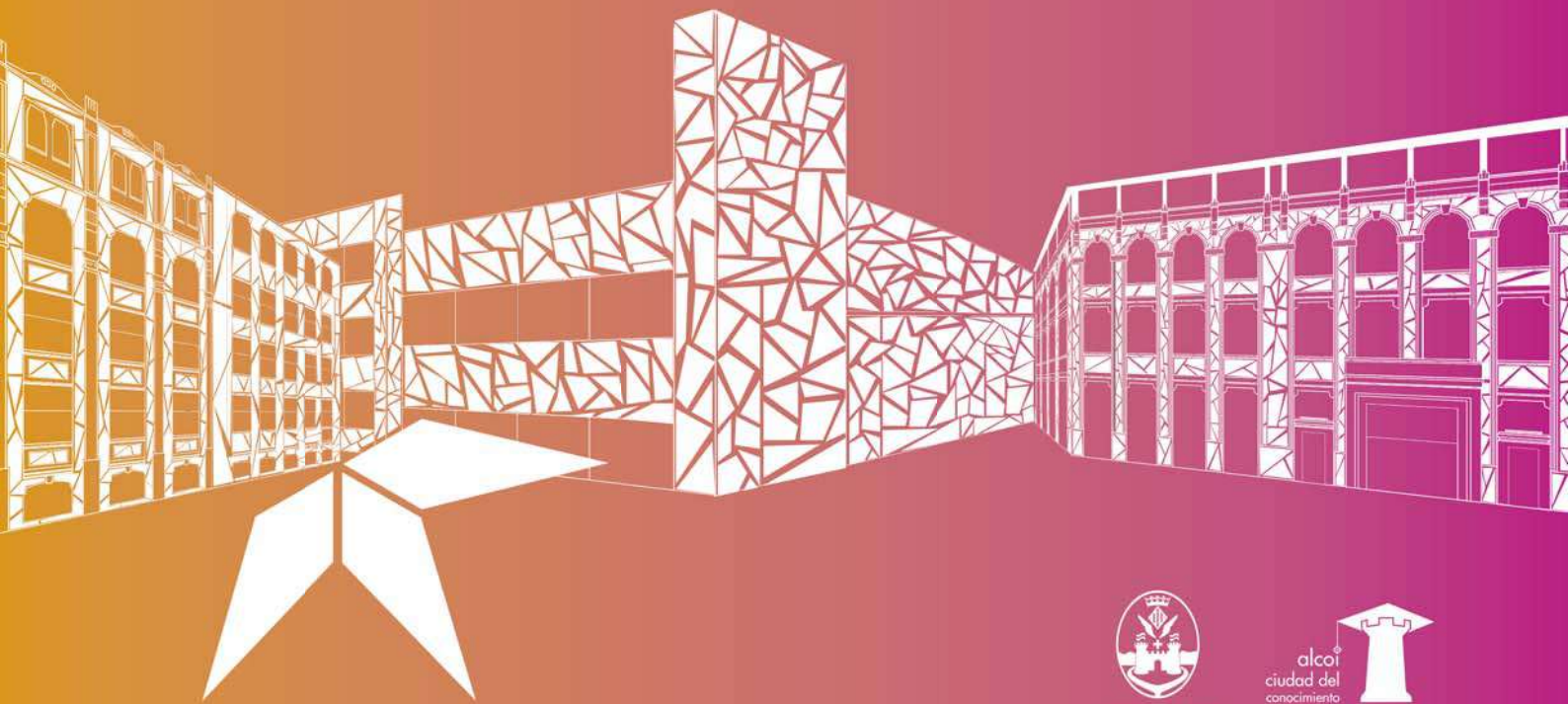
CONFERENCIA DE DIRECTORES  
DE ESCUELAS DE INGENIERIA  
DE AMBIENTE INDUSTRIAL

ALCOI

# CUIEET

XXVII congreso nacional

innovaci3n + docencia + t3cnica



Ajuntament d'Alcoi



alcoi  
ciudad del  
conocimiento



avis budget group



INSTRUMENTO DE CALIDAD Y PRODUCCI3N



# Libro de Actas



Título

XXVII Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas

Editores:

Josefa Mula<sup>1</sup>

Manuel Díaz-Madroño<sup>1</sup>

Raquel Sanchis<sup>1</sup>

M<sup>a</sup> Ángeles Bonet<sup>2</sup>

Anna Aguilar<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Organización de Empresas

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Textil y Papelera

<sup>3</sup>Instituto de Ciencias de la Educación

Universitat Politècnica de València  
Escuela Politécnica Superior de Alcoy  
Plaza Ferrándiz y Carbonell  
03801 Alcoy (Alicante) – España

ISBN: 978-84-09-02970-9

Esta obra se encuentra bajo una Licencia Creative Commons  
Atribución – NoComercial - SinObraDerivada 4.0 Internacional.

Julio, 2019



## Diseño de un Kit Modular para Mejorar el Aprendizaje de los Conceptos de Diseño para Ensamblaje (DFA)

**J. Serrano-Mira, G.M. Bruscas-Bellido, J.V. Abellán-Nebot, P. Rosado-Castellano, F. Romero-Subirón**

jserrano@uji.es; bruscas@uji.es; abellan@uji.es; rosado@uji.es; fromero@uji.es

Dep. Ingeniería de Sistemas Industriales y Diseño, Universitat Jaume I, Avda. Vicent Sos Baynat, s/n, 12071- Castellón (España)

---

### ***Abstract***

*Students show significant difficulties when having to acquire and take in certain concepts present in some courses in the field of Manufacturing Engineering. Generally, theoretical concepts taught in class are supported by the use of visuals and graphic material. In addition, application cases are solved in practical sessions to complete the acquisition of related skills. However, it has been proved that a considerable amount of students still misunderstands some concepts and finds their application troublesome. In particular, this is the case of some concepts related to the application of Design for Assembly (DFA). In order to enhance the understanding of the concepts and the acquisition of the required skills for their right application, in this work, the design of several DFA modular kits to be experimentally used by students is proposed. The kits will allow students to practise with various product configurations, each of them including different functional inconsistencies. Product features will be modified by replacing portions of the same component (modular kits) rather than by using a large number of different components with the purpose of simplifying the process and illustrating the idea of modifying a component feature instead of replacing it.*

**Keywords:** *Design for assembly (DFA), modular kits for learning, learning by doing, conceptual understanding.*

---

### ***Resumen***

*Los estudiantes presentan dificultades significativas en la adquisición y asimilación de ciertos conceptos presentes en algunas asignaturas del ámbito de la Ingeniería de Fabricación. Generalmente los conceptos teóricos explicados en clase se complementan con material gráfico. Además, la adquisi-*

*ción de las destrezas relacionadas se completa con la resolución de casos de aplicación en sesiones prácticas. Sin embargo, se ha comprobado que una cantidad considerable de estudiantes sigue mostrando dificultades en la comprensión de algunos conceptos y encuentra su aplicación problemática. Este el caso de algunos conceptos relacionados con la aplicación del Diseño para Ensamblaje (Design for Assembly, DFA). Con el fin de mejorar la comprensión de los conceptos y la adquisición de las destrezas necesarias para su correcta aplicación, en este trabajo se propone el diseño de kit modular de DFA para ser usado por los estudiantes de forma experimental. Los kits permiten a los estudiantes practicar con varias configuraciones del producto, cada una de ellas con diferentes anomalías funcionales. Se modificarán algunos rasgos característicos del producto sustituyendo partes de un mismo componente (kits modulares) en lugar de utilizando un elevado número de componentes diferentes con el propósito de simplificar el proceso y de inculcar la idea de modificar un rasgo de un componente en lugar de sustituirlo.*

**Palabras clave:** *Diseño para ensamblaje, kits reconfigurables para aprendizaje, aprendizaje basado en experimentación, asimilación de conocimientos.*

## **1. Introducción**

Por regla general, las asignaturas del ámbito de Ingeniería de los Procesos Fabricación resultan de cierta complejidad para un número significativo de estudiantes de los diferentes estudios de ingeniería en las que se imparten. Esto en parte es debido a que la mayoría de los temas tratados resultan novedosos. Así, por ejemplo, en el caso de las asignaturas del ámbito de ingeniería eléctrica y de ingeniería mecánica, la práctica totalidad de estudiantes han recibido docencia previa relacionada con parte de los contenidos, complementada con algunas sesiones prácticas, y además una cantidad relevante de los mismos han experimentado en mayor o menor medida con muchos de sus contenidos, ya sea por curiosidad o por afición. Sin embargo, los temas del ámbito de la fabricación no son tratados de forma reglada salvo en raras ocasiones y, además, es difícil que un estudiante haya llevado a cabo aplicaciones relacionadas con estas materias. Por otra parte, en estas asignaturas se tratan una gran diversidad de temas (metrología, moldeo, mecanizado, deformación plástica, automatización de procesos de fabricación, procesos de soldadura, conformado de plásticos, procesos ensamblaje y de unión, etc.), que provoca que las asignaturas, si se abordan con un mínimo de rigor, sean densas en contenidos y que una parte importante de sus contenidos se aborden de forma descriptiva. Asimismo, en cierta cantidad de aspectos tratados en las sesiones prácticas los estudiantes no pueden participar de un modo activo dados los riesgos que se pueden correr en el uso de determinados equipos.

Con todo ello, se ha observado que no todos los temas tratados presentan la misma dificultad de asimilación. Precisamente, algunos de los contenidos que aparentemente son de más

fácil comprensión, es donde se encuentran dificultades mayores. Ocurre que los estudiantes aprenden los conceptos, pero no adquieren las destrezas suficientes para su correcta aplicación. Dentro de este grupo de materias se encuentran los relativos al Diseño para Ensamblaje (DFA: *Design For Assembly*).

En otras materias, tales como mecánica/mecanismos, electricidad, electrónica, neumática, y algunas otras, es fácil encontrar en el mercado conjuntos para montajes o demostraciones de contenidos de estas materias, que además suelen ser reconfigurables, y permiten experimentar con ellos y comprender y asimilar mejor los conocimientos. En el ámbito de fabricación hay escasos, y suelen ser demostrativos, y sobre el DFA no se ha encontrado ninguno. Por ello, desde el área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación se ha decidido abordar el desarrollo de conjuntos o kits que sobre un mismo ejemplo de conjunto funcional permitan intercambiar parte de los elementos de modo que resulten en variantes que muestren las diferentes casuísticas y permitan de forma experimental comprobar o practicar los conceptos vistos en las clases de teoría y problemas, facilitando la comprensión y asimilación de los conocimientos y favoreciendo la adquisición de destrezas en su utilización. El interés en adquirir conocimientos mediante la experimentación práctica se ve reforzado, por otra parte, por los resultados obtenidos por los autores en trabajos previos (Serrano *et al*, 2013; Serrano-Mira *et al*, 2014) en los que se concluye que los conceptos asimilados mediante experimentación en sesiones prácticas son más perdurables en el tiempo.

En el presente trabajo se expone el diseño de un kit modular orientado al aprendizaje y comprensión de los conceptos sobre DFA para el caso de ensamblaje manual, el cual está compuesto de pocas piezas, y que permite obtener, mediante la modificación de algunos rasgos característicos que influyen en la ensamblabilidad, un conjunto de múltiples casos que muestren diferentes alternativas de problemáticas y soluciones. La modificación de estos rasgos se consigue mayoritariamente sustituyendo partes de una misma pieza.

## **2. Metodología actualmente utilizada para la enseñanza del DFA**

El DFA es a la vez una filosofía, un proceso y una herramienta de diseño, cuyo objetivo es disminuir el coste total del producto teniendo en cuenta los tiempos de ensamblaje, el coste de las piezas y el proceso de ensamblaje, todo ello en la etapa de desarrollo del producto. El DFA utilizado como técnica por el equipo de desarrollo del producto, permite a éste aprender las ventajas e inconvenientes de varios diseños alternativos, valorando determinadas características, como el número de piezas, la dificultad de manipulación e inserción o el tiempo de ensamblaje.

Para conseguir este objetivo, la aplicación del DFA se aborda desde dos puntos de vista. El primero busca la reducción del número de piezas del ensamblaje; el segundo la simplificación del proceso de ensamblaje aplicando consideraciones de diseño que lo faciliten centradas en los tres grupos de operaciones básicas de ensamblaje: la manipulación de las piezas, su inserción, y su fijación. Existen diversas metodologías para abordar la mejora del en-

samblaje, casi todas centradas en la propuesta de reglas o recomendaciones de diseño. En la mayor parte de textos en los que el diseño sobre fabricación y ensamblaje es tratado, existen apartados en los que se proponen estas recomendaciones de diseño (Bakerjian, 1985; Bralla, 1999; Boothroyd *et al.*, 2011)

Boothroyd *et al.* (2011) propusieron una metodología para cuantificar la eficiencia de un diseño desde el punto de vista de su ensamblaje, basada en evaluar la dificultad de manipulación (asir y orientar una pieza que se va a ensamblar), su inserción (colocación en su ubicación final en el producto) y la fijación (operación de fijar la pieza en su lugar si procede). Para ello establecen un conjunto de características de las piezas y procesos que influyen en su dificultad de ensamblaje, y posteriormente realizan una clasificación de las piezas y operaciones en función de estas características y les asignan un tiempo tipo. Ello permite estimar el tiempo necesario de ensamblaje de un diseño sin necesidad de un prototipo, y además permite comparar de un modo cuantitativo varios diseños alternativos. Esta metodología de cuantificación se complementa con la propuesta de recomendaciones a aplicar para mejorar el ensamblaje.

En las asignaturas impartidas desde el Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación de la Universitat Jaume I en las que se trata el DFA, se utiliza la metodología citada anteriormente. La impartición de los contenidos relativos al DFA se lleva a cabo mediante los siguientes tipos de actividades:

- Clases de teoría en las que se imparten los conceptos básicos sobre DFA y se exponen y justifican un conjunto de reglas o recomendaciones de diseño.
- Clases de problemas en las que se resuelven supuestos prácticos de análisis de piezas para analizar su ensamblabilidad, así como problemas de cálculo de la eficiencia de ensamblaje de un producto evaluando diferentes alternativas de diseño. Todo ello resuelto de forma gráfica. En la Figura 1 se muestra uno de los supuestos resueltos en las clases de problemas.
- Sesiones prácticas en las que se lleva a cabo, por parte de los estudiantes, el desmontaje de un producto, y su posterior montaje, evaluando las dificultades de ensamblaje.
- La realización de un trabajo en grupo en el que los estudiantes deben de realizar el rediseño de un producto desde el punto de vista de su ensamblaje aplicando la metodología del DFA vista durante el curso y, teóricamente, comprendidas y asimiladas con las tres actividades anteriores.

Sin embargo, a pesar de emplear esta diversidad de actividades (clases teóricas, sesiones de problemas, sesiones prácticas, aprendizaje basado en proyectos), los resultados de aprendizaje no son los apropiados. Si bien el aprendizaje de los conceptos teóricos sí se logra, la comprensión de los mismos y, sobre todo, la destreza en aplicarlos no se alcanza según lo esperado, apareciendo lagunas importantes en la detección e interpretación de dificultades de ensamblaje, y una frecuente confusión entre aspectos relacionados con las tareas de manipulación y aquellos otros aspectos relacionados con las de inserción. Según los auto-

res, esta problemática es debida a la falta de hábito en realizar estas tareas de ensamblaje. Esto se intenta corregir en las sesiones prácticas, en las cuales se lleva a cabo el desmontaje y posterior montaje de dos productos: uno industrial sencillo para los estudiantes de Ingeniería Mecánica, y un pequeño electrodoméstico para los estudiantes de Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto. Al realizarlo sobre un único producto, es difícil que se puedan abordar diferentes casuísticas que influyen en el ensamblaje, además de que en su diseño ya se han tenido en cuenta muchas de estas consideraciones, particularmente en el caso del pequeño electrodoméstico. Como resultado de estas sesiones, los principales logros obtenidos son la experiencia adquirida por ciertos estudiantes en desmontar y volver a montar un producto, y ver de qué elementos está compuesto, y no tanto el analizar la ensamblabilidad. Además, no se puede evaluar la evolución de un diseño con diferentes alternativas.

Una solución para paliar esto sería realizar el desmontaje de más productos, o la de productos complejos. Sin embargo, esto no es viable y, además, se duda de que se consiguiese el objetivo ya que lo importante es, sobre todo, experimentar con la evolución de un mismo diseño. Por ello, los profesores de estas asignaturas se plantearon la posibilidad de utilizar como herramienta de aprendizaje la utilización de un producto reconfigurable, constituido por componentes fijas y otras intercambiables que permitiesen experimentar con diferentes alternativas de un mismo producto.

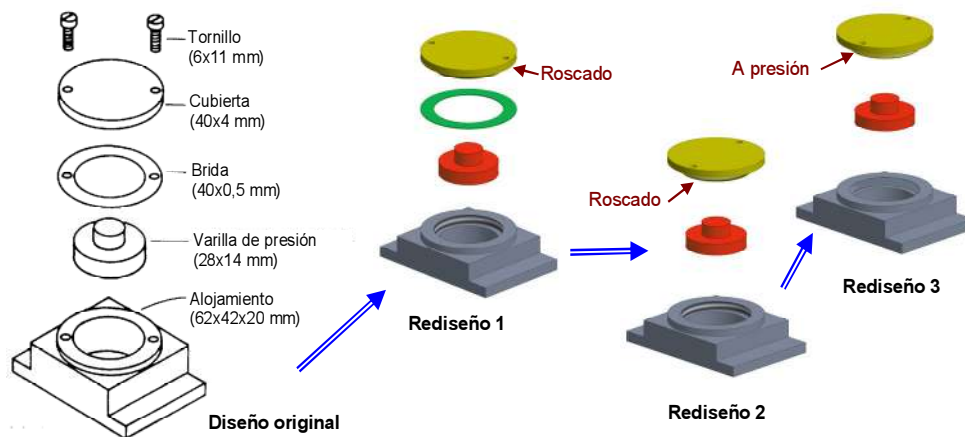


Figura 1. Uno de los supuestos resueltos en las clases de problemas en donde se muestra el diseño original (Boothroyd *et al.*, 2011), y la evolución de diseños mejorados aplicando el DFA.

### 3. Bases para el diseño del kit modular para la enseñanza del DFA

Para abordar el proceso de diseño del kit modular reconfigurable ha sido necesario realizar un estudio previo que ha permitido establecer el ámbito de aplicación, los conceptos más relevantes a analizar mediante el kit, y el tipo de objeto o producto sobre el que trabajar.

En cuanto al ámbito de aplicación o utilización, se ha debido determinar el tipo de actividad en el que se utilizaría. Las alternativas para realizarlo eran: sesiones de problemas (que se

realizan en grupos grandes como las sesiones de teoría), sesiones de laboratorio/taller (prácticas), o bien sesiones de seminario desarrolladas en aula, estas dos últimas en grupos reducidos. La idea era que los estudiantes experimentasen alternativas con guiado del profesor y apoyo de pizarra para aclarar y asentar conceptos, y además que pudiesen trabajar en subgrupos para interactuar entre varios estudiantes. Por ello, la alternativa seleccionada fue realizarlo en sesiones de seminario, sustituyendo por este seminario la sesión de problemas sobre DFA que se realizaba, y manteniendo la sesión de laboratorio sobre montaje/desmontaje y el trabajo en grupo sobre aplicación del DFA a un diseño existente.

La siguiente tarea llevada a cabo fue determinar cuáles eran los conceptos y habilidades que se deseaban reforzar con esta nueva actividad. Para ello se llevó a cabo un análisis de cuáles eran los errores de concepto y aplicación más habituales, para lo que se revisaron las respuestas en los exámenes sobre cuestiones prácticas del DFA y en el trabajo de rediseño de producto. Así, se determinó que los errores más comunes eran, entre otros, los siguientes:

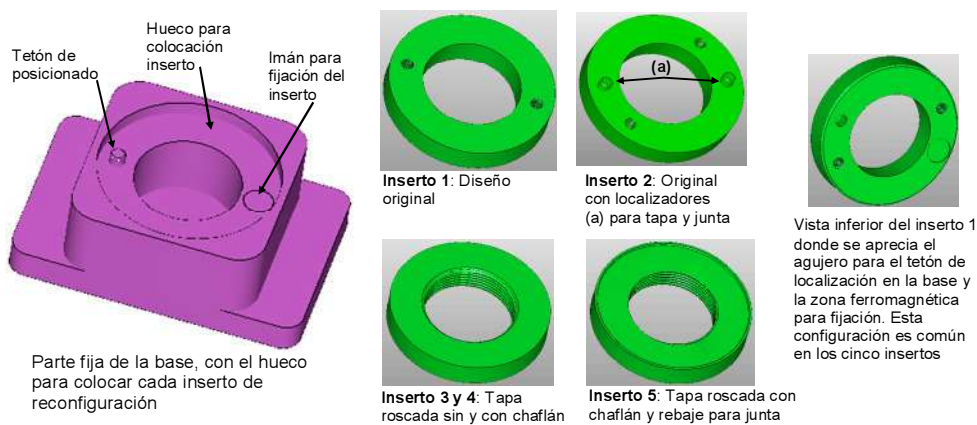
- En ensamblaje, las tareas relativas a “manipulación” engloban la acción de “asir la pieza” y la de “orientarla en la posición en la que se insertará”. Sin embargo, muchos estudiantes entendían la dificultad de orientación como un problema de “inserción”.
- No descubrir o intuir dificultades de alineación de piezas a partir de la información gráfica de un diseño, así como las dificultades de insertar piezas originadas por pequeñas holguras y/o entradas sin chaflanes.
- Influencia del espesor de una pieza en la dificultad de manipulación. A pesar de que se indicaba que a partir de unos 2 mm no suelen presentar problemas, era habitual que le asignasen este problema a una pieza delgada aunque su espesor fuera de 5 u 8 mm.
- Enormes problemas en comprender la dificultad de orientación que presentan las piezas que externamente son simétricas e internamente asimétricas.

Finalmente, en cuanto al producto de aplicación, dado que se iba a eliminar la sesión de problemas y que uno de los supuestos resueltos en dichas sesiones era bastante interesante, el mostrado en la Figura 1, se decidió tomar como base el mismo, lo que permitía a la vez resolver un problema, pero experimentando para evaluar las dificultades de ensamblaje. En dicho supuesto, además del exceso de piezas (los tornillos), las piezas más problemáticas son la junta (que presenta dificultad de asir por su delgadez y flexibilidad, y dificultades de orientación y alineación), y la tapa que presenta la dificultad de orientación, alineación. A ello hay que sumar que se han de alinear simultáneamente tres agujeros: el roscado de la base, el de la junta y el de la tapa; y además a la vez para los dos tornillos. Por ello, se propusieron como alternativas: facilitar el asir la junta (aumentando el grosor), alinear la junta y la tapa (con dos tetones de localización), eliminar piezas sustituyendo los tornillos por una tapa roscada, facilitar o no el roscado de la tapa con chaflanes y sin ellos, y en el caso de la tapa roscada, facilitar o no su localización realizado un rebaje. De este modo, el número resultante de alternativas sería de cinco.

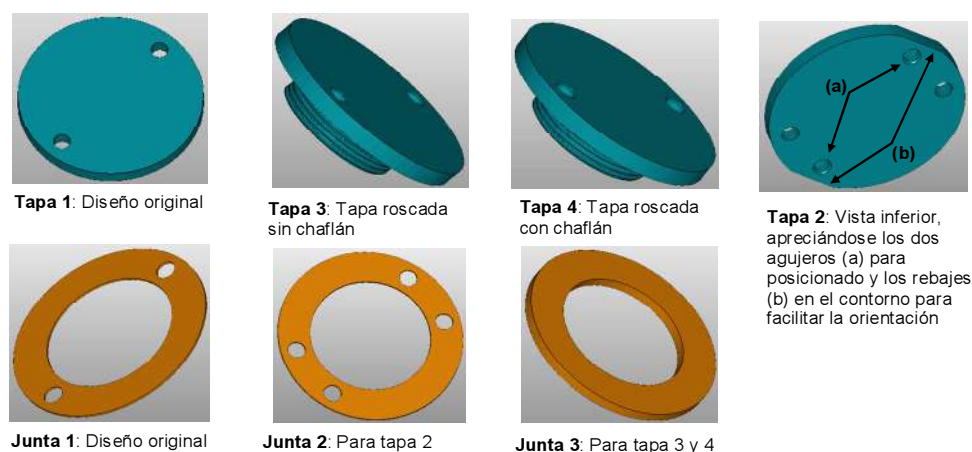


#### 4. Diseño resultante

Para la materialización de los cinco casos definidos, serían necesarios: cuatro tapas, tres juntas, cinco bases, además de los dos tornillos. Para simplificar el número de piezas necesarias, se analizaron todas ellas para ver cuáles presentaban posibilidades de reconfigurabilidad, concluyéndose que la única era la base, la cual sólo modificaba la parte superior donde se colocaba la junta y la tapa. Así, se decidió diseñar la base como dos piezas: una fija que suponía la casi totalidad de la misma, y un anillo superior intercambiable para obtener diferentes configuraciones, tal como muestra la Figura 2. Por su parte, en la Figura 3 se muestran las cuatro tapas y las tres juntas diseñadas. Estos kits se fabricarán en aluminio (la base fija, los insertos y las tapas), en goma (las juntas), y en silicona y resina de fenol-formaldehído (la varilla de presión). Finalmente, la Figura 4 muestra el prototipo fabricado para el caso del diseño original, y las combinaciones para los cinco casos posibles.



**Figura 2.** Pieza base reconfigurable, compuesta de la base fija y los cinco insertos intercambiables.



**Figura 3.** Diseños de las cuatro tapas resultantes y las tres juntas. Los agujeros de las tapas 3 y 4 son ciegos y su función es la de inserción de la herramienta de apriete al roscar.

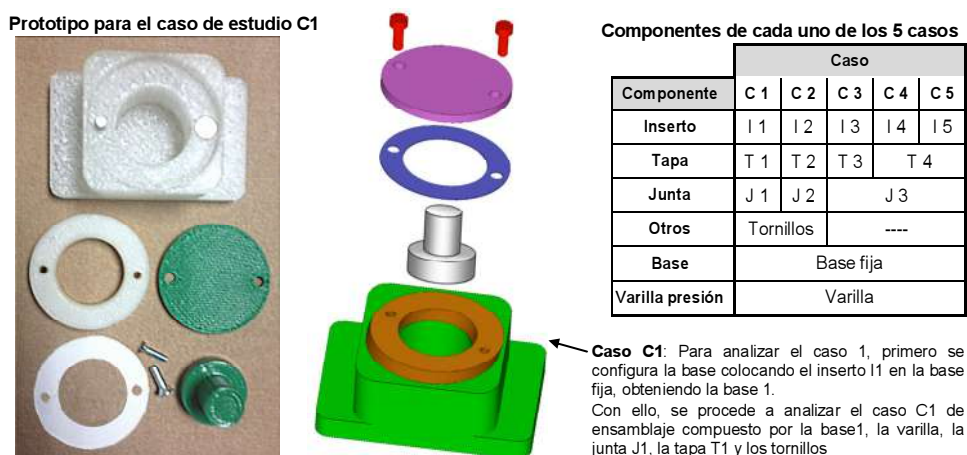


Figura 4. Prototipo realizado por técnicas de fabricación aditiva mediante FDM para el caso del diseño original (C1); ejemplo de configuración y secuencia ensamble para el caso C1; y combinaciones de elementos para la configuración de cada uno de los cinco casos de estudio posibles.

## 5. Conclusiones

En el presente trabajo se ha justificado la necesidad de aplicar metodologías docentes basadas en la experimentación mediante el trabajo con diferentes supuestos para mejorar el aprendizaje y asimilación de conocimientos sobre la aplicación del DFA. Para ello se ha diseñado un kit reconfigurable que permite analizar diferentes casos sobre un mismo producto, elaborándose un prototipo para la validación de uno de los casos. Actualmente se está llevando a cabo la fabricación de un conjunto de unidades de este kit que será utilizado en los próximos cursos, analizándose la mejora de los resultados obtenidos en comprensión y adquisición de destrezas en la aplicación del DFA. Asimismo, en breve se va a iniciar el desarrollo de otro kit sobre el uso de tolerancias geométricas en el acotado funcional.

Finalmente, indicar que el desarrollo del trabajo ha contado con la ayuda procedente del proyecto 3574 concedido por la Unidad de Soporte Educativo de la Universitat Jaume I.

## Referencias

- Bakerjian, R. (1985). *Tool and Manufacturing Engineers Handbook. Vol. 6. Design for Manufacturability*. Society of Manufacturing Engineers, Dearbon, Michigan (EE.UU.)
- Boothroyd, G., Dewhurst, P. & Knight, W. (2011). *Product design for Manufacture and Assembly*. CRC Press - Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, (EE.UU.)
- Bralla, J.G. (1999). *Handbook of product design for manufacturing: A practical guide to low-cost production*. McGraw-Hill, New York, (EE.UU.)
- Serrano J., Prades L., Bruscas G.M., Abellán-Nebot J.V. (2013). *An Investigation into Alternative Conceptions and Knowledge Retention of Manufacturing Concepts in Undergraduate/Graduate Engineering Students*. Procedia Engineering, Elsevier. 63, 261-269.
- Serrano-Mira J., Abellán-Nebot J.V., Bruscas-Bellido G.M. (2014). *Knowledge Retention of Manufacturing Concepts in Short and Medium Term in Engineering Degrees*. Key Engineering Materials - Advances in Manufacturing Systems. Trans Tech Publications. 615, 183-188.