

PROPUESTA DE INNOVACIÓN DOCENTE EN LA ASIGNATURA DE AMPLIACIÓN DE DISEÑO INDUSTRIAL: DE LA METODOLOGIA TRADICIONAL A LA APLICACIÓN EN UN PROYECTO REAL.

Resumen: Teniendo en cuenta que la misión de la universidad es crear personas conscientes y sensibles a lo que ocurre en su entorno, en este trabajo se presenta una propuesta de innovación docente, su implementación y los resultados obtenidos como consecuencia de la misma. Se pretende mostrar la importancia del feedback de observar el producto final para mejorar el diseño y estudiar el ciclo de vida completo, desde la idea conceptual hasta la fabricación final. Las limitaciones en la docencia universitaria para mostrar el producto final aplicado a un producto real, puede tener fin con la introducción de un nuevo proceso de fabricación, la fabricación aditiva, aplicado a un proyecto real.

Palabras clave: Prototipado, Fabricación aditiva, Impresión 3D, Equipo Multidisciplinar, Prototipo funcional.

ESCUELA DE INGENIERIA DE GIPUZKOA

UPV/EHU

Autores: Eneritz Onaindia¹ (eneritz.onaindia@ehu.eus), Xabier Garikano² (xabier.garikano@ehu.eus), Iñaki Martín² (inaki.martin@ehu.eus), Ángel Pérez² (angel.perez@ehu.eus), Jose Antonio Oriozabala Brit² (joseantonio.oriozabala@ehu.eus), Cristina Peña Rodríguez³ (cristina.pr@ehu.eus), Florencio Fernández Marzo³ (florencio.fernandez@ehu.eus), Francisco Javier Asensio De Miguel⁴ (franciscojavier.asensio@ehu.eus).

¹Dpto. Organización de Empresas, ²Dpto. Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería, ³Dpto. Ingeniería Química y del Medio Ambiente, ⁴Dpto. Ingeniería Eléctrica.

1.- Introducción.

Desde la declaración de Bolonia de 1999, las Instituciones de Educación Superior y entre ellas las Universidades, están inmersas en un profundo proceso de cambio que les ha llevado al desarrollo e implantación de iniciativas innovadoras en la mejora del proceso de enseñanza – aprendizaje.

La UPV/EHU consciente de la necesidad de dar respuesta a las necesidades planteadas por la sociedad, ha desarrollado el modelo educativo IKD, *Ikaskuntza Kooperatibo eta Dinamikoa- Aprendizaje Cooperativo y Dinámico*, modelo que tiene su centro en el **aprendizaje del alumnado** a través de metodologías activas y con el apoyo de las tecnologías de la información y comunicación.

En el caso concreto de las ingenierías, en el marco de las metodologías activas, se trata de desarrollar proyectos que abarquen todo el proceso completo, reproduciendo de la manera más cercana posible la realidad a la que en un futuro próximo deberán enfrentarse las y los estudiantes en las empresas.

En este sentido, el avance significativo en los últimos años de la tecnología de fabricación por adición, que ha favorecido que el prototipo se haya convertido en muchas ocasiones en producto final, ha posibilitado utilizar esta tecnología en el aula permitiendo completar el ciclo completo de desarrollo de un proyecto en la propia aula. Así, a través de ejemplos de aplicaciones concretas, las y los estudiantes de ingeniería pueden ser conscientes del valor añadido que puede aportar esta nueva tecnología, mientras que el personal docente la utiliza para la mejora de la comprensión de muchos otros procesos.

2.- Fabricación aditiva (FA)

El desarrollo de las tecnologías de prototipado rápido desde los años 80 del siglo pasado ha propiciado la posibilidad de obtener productos funcionales directamente a partir del modelo tridimensional, dando lugar a la fabricación aditiva (FA). Así, la FA permite la obtención de estos prototipos a un bajo coste y en plazos mucho más reducidos ^{[1][2]}.

Es necesario considerar que los prototipos obtenidos pueden ser totalmente funcionales. Esto implica que pueden sustituir a la pieza original. En ocasiones, considerando los requisitos de esfuerzo a los que deberá hacer frente durante el servicio, podría ser necesaria la selección de un material diferente ^[3], o incluso optar por la fabricación tradicional ^[4]. La fabricación aditiva elimina muchas de las restricciones que imponen los sistemas de fabricación tradicionales, incrementando la libertad del diseñador en cuanto a geometrías, estructuras internas y funcionalidad.

El prototipado rápido es un proceso de fabricación aditivo, generalmente capa a capa. Los primeros sistemas comerciales tenían unas limitaciones en cuanto a materiales, tolerancias, dimensiones y acabados que los hacían adecuados para la fabricación de prototipos con fines de visualización, principalmente en los ámbitos del diseño de productos.

El desarrollo de las diversas tecnologías de prototipado rápido ha permitido la fabricación aditiva de productos funcionales. El particular sistema de FA elimina muchas de las

restricciones que introducen los sistemas tradicionales de fabricación al diseño, incrementando la libertad geométrica, topológica y funcional del diseño.

Las implicaciones de una mayor extensión en la utilización de esta tecnología pasan por el cambio de paradigma desde una producción en masa, en puntos geográficos concretos, a una fabricación personalizada y geográficamente distribuida. Esto puede implicar ahorros económicos y medioambientales por la disminución de las necesidades de transporte y generación de puestos de trabajo cercanos al consumidor final.

La posibilidad de fabricar los objetos de forma local favorece el emprendizaje y la interacción con el usuario final. Se reduce la necesidad de inventarios de materias primas y productos finales que quizá no se vendan, en vez de esto se fabrica bajo pedido.

Las principales ventajas de la fabricación aditiva son:

- Posibilidad de reproducir **cualquier geometría**. Supone liberar el proceso de diseño de las restricciones de la fabricación tradicional (mecanizado, troquelado, inyección,...).
- La **complejidad geométrica no encarece el proceso**.
- Posibilita la **diferenciación y personalización** de los productos por parte de los consumidores. La **personalización no encarece el proceso** porque permite fabricar productos, sin penalizar el coste, independientemente de si se tiene que fabricar un determinado número de piezas iguales o todas distintas.
- No depender de utillaje o moldes permite ofrecer una **respuesta inmediata** a las cambiantes necesidades del mercado (reducir time to market).
- Fabricación competitiva de **series cortas** de productos, donde se añade la ventaja de poder realizar modificaciones durante la vida del producto sin apenas coste adicional o parametrizar el producto y fabricarlo según necesidad, sin estar atado a un costoso molde (coste inicial, mantenimiento, almacenamiento,...).
- Posibilidad de integrar **distintas geometrías y materiales en un mismo objeto**. De esta manera podemos integrar un mecanismo en la pieza en la que deberá trabajar, sin necesidad de montajes y ajustes posteriores.

Y como desventajas, se pueden mencionar las siguientes:

- Tiempo de impresión altos comparando con la fabricación tradicional, lo que supone un problema para la fabricación en serie.
- Variedad de material limitado.
- Acabado superficial, existen posteriores tratamientos que permiten mejorar su aspecto final.

En cualquier caso, es de considerar las aportaciones que el conocimiento de este sistema de fabricación tiene en la formación de las y los estudiantes de ingeniería, ampliando positivamente el concepto de diseño y fabricación en ingeniería, y abriendo nuevas posibilidades de desarrollo profesional y emprendizaje.

3.- Propuesta docente innovadora

Esta propuesta docente innovadora consiste en un cambio en la metodología aplicada en la asignatura **Ampliación de Diseño Industrial**, que se imparte en la Escuela de Ingeniería de Gipuzkoa en **tercer curso** del Grado en Ingeniería Mecánica.

El proceso de generación de cualquier elemento mecánico comienza con la fase de diseño y finaliza con la fase de fabricación del mismo. Con la metodología tradicional, el trabajo de los estudiantes llega hasta el desarrollo de diferentes diseños, y todos los planos asociados a los mismos (conjuntos y despieces). Esto se debe principalmente a que la fase de fabricación asociada a procesos tradicionales no tiene fácil cabida en el espacio físico y tiempo disponible para el desarrollo de la asignatura.

De esta forma, el proceso de generación se ve interrumpido, provocando algunas deficiencias en el proceso de aprendizaje de los estudiantes, puesto que evita que los estudiantes puedan visualizar el producto finalizado, se impide la detección de los posibles fallos en la fase de diseño, y obstaculiza el desarrollo de un proceso de mejora continua en el diseño industrial.

Se propone cambiar la metodología tradicional por otra basada en dos pilares básicos. Por una parte, la introducción de un nuevo proceso de fabricación, **la fabricación aditiva**, y por otra, **la aplicación en un proyecto real**.

Hay que indicar que la fabricación aditiva presenta importantes ventajas frente a los procesos de fabricación tradicionales: el tiempo de fabricación se reduce enormemente, especialmente en piezas de geometrías complejas; el espacio requerido para la maquinaria es mucho menor, lo que permite incluir este proceso en las aulas; y en general el coste de producción se reduce significativamente.

En lo que respecta a la introducción del proceso de fabricación por adición en el proceso de enseñanza-aprendizaje, las ventajas que se obtienen también son evidentes. El proceso de generación de cualquier elemento mecánico se puede completar, pasando del diseño a la fabricación inmediata del producto, creándose un enlace directo entre el diseño conceptual y el elemento final a obtener. Además, se libera el proceso de mejora continua, puesto que se permite detectar en la fase de fabricación los posibles errores cometidos en la fase de diseño, dando opción a su corrección en un tiempo mucho menor. Así mismo, se desarrolla más la competencia de abstracción conceptual.

Por otra parte, la posibilidad de que el producto diseñado y fabricado en clase pueda formar parte de un proyecto real, es decir, que tenga una aplicación directa permite que los estudiantes tengan una visión más completa del proceso, fomentando además la motivación por la asignatura.

El desarrollo del proyecto se realiza en equipos de dos personas que, a través de diferentes actividades cooperativas, elaboran un diseño. Este diseño está asociado a una mejora, una solución a un problema concreto o una innovación propuesta por el equipo de estudiantes.

Este Proyecto de Innovación Educativa consiste en formar equipos de trabajos multidisciplinares, de alumnos que cursan estudios en la Escuela de Ingeniería de Gipuzkoa, basados en el aprendizaje cooperativo colaborativo y activo. Es por ello que la clave es formar

equipos formados por estudiantes de las diferentes disciplinas para que puedan compartir y complementar sus conocimientos.

El tocar, mirar, observar, realizar experimentos siempre ha sido base para un mayor entendimiento de conceptos y procesos. Para ello la simulación ha ayudado a obtener aproximaciones reales de funcionamientos teóricos para realizar proyectos, pero dichas simulaciones adquieren un valor añadido si adjuntamos un experimento real del mismo. La aportación de la fabricación aditiva permite obtener estos prototipos de una forma económica y rápida para realizar experimentos e incluso realizar los prototipos funcionales. Por otra, la necesidad de observar el acople en el conjunto sin usar los materiales metálicos disminuye el costo del mismo.

La propuesta desarrollada permite observar todo el proceso que va desde el diseño 3D de una pieza, su fabricación e integrarlo en el conjunto de la moto para ver la funcionalidad de la misma. La facilidad y rapidez de la fabricación aditiva permite realizar cambios a partir del prototipo, optimizar y mejorar el diseño con una perspectiva de producto final. A su vez, es posible utilizar una pieza, fabricada por FA para ver si encaja en el conjunto y posteriormente fabricarlo en su material correspondiente disminuyendo los costes.

Esto permite desarrollar la abstracción mental del alumno, observar el proceso completo de diseño, fabricación y montaje. Lo que permite conseguir los siguientes retos:

- a) Mejorar la eficiencia en la adquisición de los resultados de aprendizaje por parte de los estudiantes.
- b) Reforzar la orientación práctica de nuestras enseñanzas.
- c) Aprovechar las nuevas oportunidades que ofrece las nuevas tecnologías para el aprendizaje práctico.

4.- Planteamiento de la experiencia y resultados

La experiencia se lleva a cabo durante el primer cuatrimestre del curso 2015/16, en la asignatura **Ampliación de Diseño Industrial**, que se imparte en la Escuela de Ingeniería de Gipuzkoa en **tercer curso** del Grado en Ingeniería Mecánica.

De acuerdo a la planificación diseñada, el total de estudiantes se organizan en equipos de dos personas, asignando a cada equipo el encargo de elaborar un diseño asociado a una mejora, una solución a un problema o alguna innovación concreta. Además, se trata de que todos los encargos propuestos respondan a necesidades existentes, de forma que el resultado de los diferentes diseños tenga una aplicación real. En el presente artículo se describen dos de los ejemplos realizados durante el periodo indicado.

Se aprovecha la participación de un grupo de alumnos de la Escuela en la competición internacional MotoStudent (Figura 1), en la que el objetivo principal es el diseño y fabricación de un prototipo de moto de competición ^[5]. Con la intención de aprovechar al máximo las ventajas de la fabricación aditiva, se proponen dos encargos asociados al diseño y fabricación del prototipo de moto, de forma que las aplicaciones del procedimiento de fabricación aditiva tenga objetivos diferentes. En uno de los casos, la fabricación aditiva se utiliza como sistema

de prototipado rápido, mientras que en el segundo caso, el sistema de fabricación sirve para producir un elemento final.



Figura 1. Prototipo de moto de competición fabricado por alumnos de la Escuela de Ingeniería de Gipuzkoa en su participación en la competición MotoStudent 2016.

Durante el proceso de diseño y fabricación del chasis del prototipo de moto, es necesario verificar que las diferentes partes de las que se compone ajustan con la precisión necesaria para asegurar que el motor, que debe ir alojado en su interior, queda finalmente situado en la posición correcta.

Con el objetivo de verificar la correcta geometría de las piezas antes de proceder a su fabricación definitiva en aluminio mediante procesos de arranque de viruta, uno de los equipos de estudiantes, diseña y fabrica dos prototipos de brazos del chasis para el soporte del motor (Figuras 2 y 3).



Figura 2. Prototipos de brazos para el chasis de la moto, generados por fabricación por adición.



Figura 3. Piezas definitivas fabricadas en aluminio y soldadas al chasis.

En todo momento el equipo de diseño debe trabajar en colaboración con los integrantes del equipo MotoStudent, siguiendo un proceso para el desarrollo del proyecto que asegure el éxito del mismo, tal y como se describe en la Figura 4.

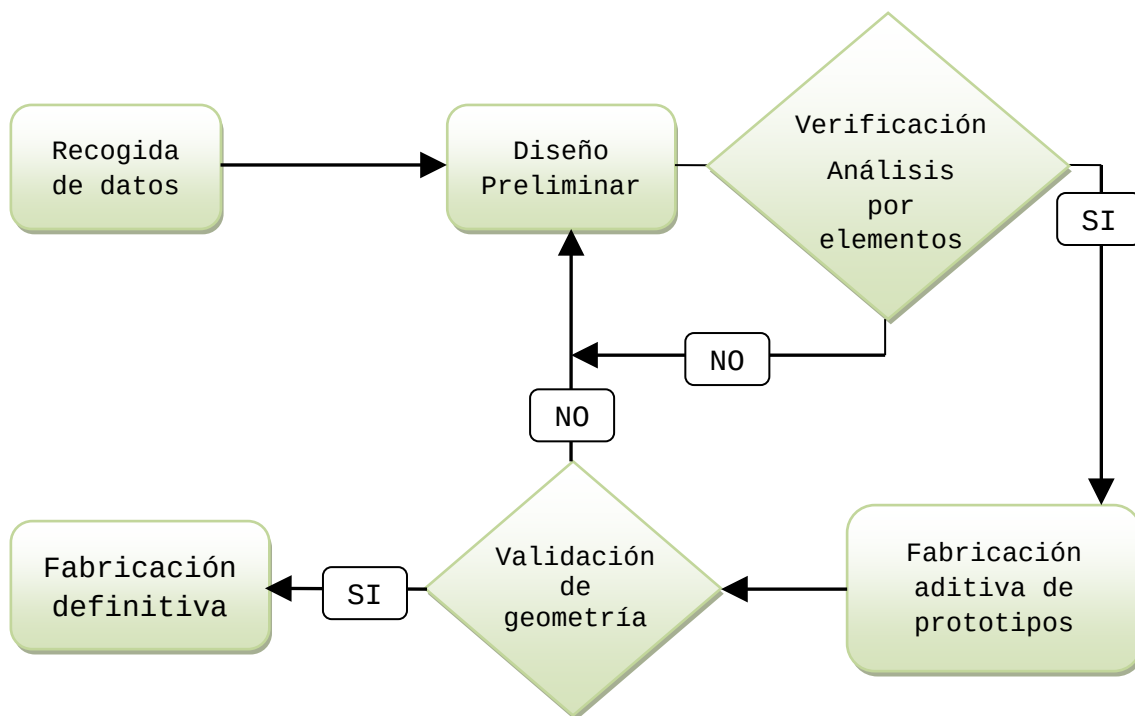


Figura 4. Proceso para el desarrollo del proyecto.

La segunda aplicación consiste en el diseño de unos protectores que eviten que los pies del piloto entren en contacto con la rueda trasera de la moto (Figuras 5 y 6).

En este caso, un primer diseño de dichos elementos no resulta satisfactorio, ya que durante el montaje no soportan la presión de los tornillos de sujeción y se rompen. En esta situación, se

aprovecha la ventaja de la fabricación aditiva para, en un corto espacio de tiempo, rediseñar y fabricar nuevamente los protectores.



Figura 5. Protectores.



Figura 6. Montaje de uno de los protectores definitivos.

5.- Conclusiones.

La fabricación aditiva de prototipos dentro de un contexto próximo al desempeño profesional, implica que las y los estudiantes profundicen en mayor medida en los aspectos fundamentales del proceso de diseño. Es decir, no es suficiente que diseñen piezas que sean geoméricamente correctas, sino que éstas deben diseñarse en base a una intención concreta de diseño, que sean válidas para un montaje real y, en el caso de necesitar modificaciones, puedan alterarse rápidamente y sean fácilmente reutilizables.

Las y los estudiantes participantes en el proyecto han conseguido mediante un trabajo en equipo transdisciplinar, una mejora de la capacidad de abstracción mental, han sido dueños y responsables de su aprendizaje, han sido capaces de visualizar mejoras de sus propios diseños en un trabajo práctico en el que han aplicado nuevos conocimientos técnicos y nuevas tecnologías de fabricación.

En cuanto a los resultados obtenidos en esta experiencia, quedan al descubierto dos aspectos principales. El primero es la **mejora de la media de las calificaciones** obtenidas por las y los estudiantes con referencia a cursos anteriores. El segundo es la **mejora del nivel de satisfacción** por parte de las personas participantes en estos proyectos, según indican las encuestas realizadas.

Tras la experiencia, se puede subrayar la importancia que va a tener la FA en la docencia. Se observan nuevas líneas de trabajo, nuevas líneas de desarrollo. En un futuro próximo, la fabricación aditiva será el complemento ideal para realizar experimentos y obtener datos que puedan ser cotejados con los resultados obtenidos en la simulación, un valor a considerar para superar la barrera teórica de las simulaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

[1] BAK, D., 2003. Rapid prototyping or rapid production 3D printing processes move industry towards the latter. *Assembly Automation*, **23**(4), pp. 340-345.

[2] HUANG, S.H., LIU, P., MOKASDAR, A. and HOU, L., 2013. Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **67**(5-8), pp. 1191-1203.

[3] HUANG, Y., LEU, M.C., MAZUMDER, J. and DONMEZ, A., 2015. Additive manufacturing: current state, future potential, gaps and needs, and recommendations. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, **137**(1), pp. 014001.

[4] HAI, Y., LADOS, D.A. and LAGOY, J.L., 2014. Additive Manufacturing: Making Imagination the Major Limitation. *JOM*, **66**(5), pp. 808-816.

[5] MOTO ENGINEERING FOUNDATION. <http://www.motostudent.com/>