

Modelo Integrado para la Formación en Tecnologías de Fabricación para Estudiantes de Grado en el Ámbito de la Ingeniería Industrial. Caso práctico.

M. SAN JUAN ⁽¹⁾, M.P. DE TIEDRA, O. MARTÍN, F.J. SANTOS, R. LÓPEZ,
R. SUÁREZ, R. MAHILLO-ISLA

⁽¹⁾ *Departamento CMeIM/EGI/ICGM/IM/IPF, Universidad de Valladolid,
Escuela de Ingenierías Industriales, Paseo del Cauce nº 59, 47011, Valladolid (Spain)
Ph: +34 983 423 385, e-mail: mansan@eii.uva.es*

Resumen. El desarrollo de las competencias específicas en el ámbito de la ingeniería industrial ha de considerar la transversalidad de los contenidos adquiridos en cada área de conocimiento. Por ello, el presente trabajo muestra el modo en que se integran los contenidos provenientes de diferentes campos (tales como materiales, procesos de fabricación, diseño, etc.) para la obtención del producto final.

En el ámbito de la ingeniería, un análisis, donde confluyan todos estos aspectos, permite evaluar la viabilidad técnica y económica del producto final y esto a su vez, optimizar el proceso de fabricación.

Este artículo muestra el análisis del entorno de trabajo y la metodología de trabajo seguida por un grupo interdisciplinar de profesores de diferentes áreas -materiales, procesos de fabricación, diseño- que aportan su conocimiento en torno a un problema de ingeniería de fabricación.

Palabras Clave: Interdisciplinaridad, Ingeniería Industrial, Catenaria Rígida, Ingeniería de Fabricación.

Abstract. The development of specific skills in the field of industrial engineering must consider the transversality of the contents acquired in each knowledge area. Therefore, this paper shows the way in which the contents from different fields (such as materials, manufacturing processes, design, etc.) are integrated for obtaining the final product.

In the field of engineering, an analysis, where all these aspects converge, allows to evaluate the technical and economic feasibility of the final product and this in turn, to optimize the manufacturing process.

This paper shows the analysis of the work environment and the work methodology followed by an interdisciplinary group of university teachers from different areas-materials, manufacturing processes, design-who contribute their knowledge about a problem of manufacturing engineering.

Keywords: Interdisciplinarity, Industrial Engineering, Rigid Catenary, Manufacturing Engineering.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la ingeniería, en general, y las grandes investigaciones, en particular, se proyectan y no se pueden concebir sin un enfoque multidisciplinar donde se integran diferentes materias. La formación universitaria no debería escapar a la integración como concepción, puesto que los departamentos recursos humanos de las empresas reconocen la enseñanza integrada como un valor añadido en el CV del titulado (Yustos, 2006) (Cañizares, 2006).

Sin embargo en el contexto de la educación superior tradicionalmente se ha desarrollado la enseñanza de las ciencias y tecnología del ámbito industrial como disciplinas independientes en las que los Departamentos universitarios incluso, en algunos casos, llegan a luchar por encontrar su ámbito de actuación. Unas mismas competencias del estudiante se tratan de desarrollar por distintas Áreas de Conocimiento y con distintos enfoques, por ser diferente Grado, diferente Universidad o por puras necesidades de disponibilidad de profesorado (Bengu,1996) (Orjuela,2013).

Este trabajo surge en el marco del Proyecto de Innovación Docente “Hacia un modelo de formación integrado para las tecnologías de fabricación en alumnos del ámbito de la Ingeniería Industrial”, de la Convocatoria de la Universidad de Valladolid para el periodo 2013-2014. Entre los objetivos del mismo se encontraban poner las bases de un grupo de trabajo interdisciplinar entre profesores de distintas áreas de conocimiento, en torno a las tecnologías de fabricación, fomentando el desarrollo de habilidades o destrezas docentes transversales entre los miembros del grupo.

El éxito de estos objetivos se fraguaron en el interés mostrado en el grupo desde la misma propuesta del proyecto: se pasó del “tenemos que hacer” al “hacemos”, fomentando las reuniones de discusión y de puesta en común de problemas de interés tecnológico para los estudiantes y de interés formativo para el profesorado.



Figura 1. Catenaria rígida y características técnicas. De KLK Electro Materiales, (KLK, 2014)

Para recoger el trabajo desarrollado y poder llevar la experiencia a los estudiantes se definieron los objetos de aprendizaje (Aguirre, 2009) sobre los que cada profesor aportaría su visión, que tendrían la forma de proyectos o casos:

- Pistón de un motor.
- Catenaria rígida y su matriz de extrusión.
- Tapa de chapa y su troquel de embutición.

Estos casos recogen los procesos de conformado fundamentales, como son moldeo, deformación (extrusión y embutición) y arranque de viruta (convencional y no convencional), así como tratamientos térmicos de aceros y aluminios. Para el último de los casos incluso se construye el troquel de embutición para que el estudiante pueda visualizar el conjunto, así como la pieza de chapa obtenida.

En el presente trabajo se muestra la técnica empleada y el carácter del objeto de aprendizaje del segundo de los casos sobre el que se ha trabajado: una catenaria rígida y su matriz de extrusión.

2. METODOLOGÍA Y RECURSOS UTILIZADOS

Las técnicas de trabajo que se han empleado fundamentalmente dentro del grupo han sido la “tormenta de ideas” y el “método del caso”, lo que ha propiciado la toma de decisiones e interdisciplinaridad de las soluciones. Previamente al arranque de las reuniones de trabajo, se propició el trabajo en grupo a través de la organización de jornadas de presentación de líneas de investigación, visitas conjuntas a laboratorios y

empresas, así como la organización de cursos de formación específicos (fundamentalmente sobre herramientas CAD/CAM/CAE/CAQ) que favorecieron compartir los diferentes puntos de vista.

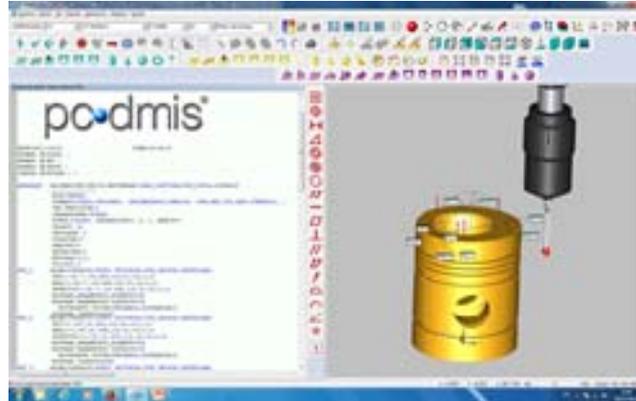


Figura 2. Formación específica y herramientas. Integración CATIA y PC-DMIS CAD++.

En la siguiente fase se definieron los temas en torno a los que se iba a trabajar, buscando elementos comunes y particulares en cada caso, definiéndose el “pliego de condiciones” de los aspectos que debería contribuir a conocer a los estudiantes

Por ejemplo se plantea, como problema que implica diferentes áreas del ámbito de la ingeniería industrial, la fabricación -a partir de una aleación de aluminio- de una catenaria rígida (Figura 1) que presenta frente a una catenaria convencional, entre otras ventajas, una mejora en términos de eficiencia (López-López, 2014) y una reducción del gálibo necesario en los túneles. El perfil sustenta un hilo de cobre con el que hará contacto el pantógrafo ferroviario.

Proyecto: catenaria rígida

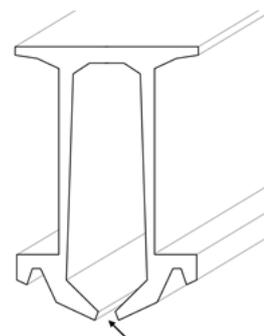


Figura 3. Perfil de catenaria rígida de aleación de aluminio. La flecha indica el lugar donde se posiciona el hilo de cobre que hace contacto con el pantógrafo.

La resolución del proyecto propuesto tendrá en este caso dos objetivos fundamentales: la fabricación de la catenaria fija como un perfil de aluminio y la fabricación de la matriz de extrusión. Para cada uno de ellos, como problemas tipo, nos marcamos resolver y documentar aquello relacionado con:

- Denominación del material (en función de la composición química y los tratamientos del material)
- Dimensiones y tolerancias.
- Propiedades y/o características fundamentales.
- Planos y modelos 3D: viendo cómo se refleja toda la información anterior.
- Proceso de fabricación.

Objetivo: fabricación de un perfil de aluminio.

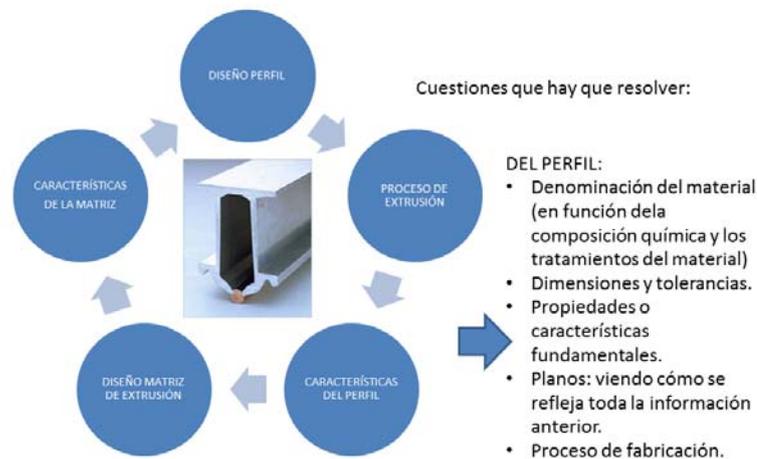


Figura 4. Definición de objetivos y cuestiones que resolver.

3. OBJETO DE APRENDIZAJE: CASO

La integración de las soluciones propuestas, desde el punto de vista de la ciencia de materiales y los procesos de fabricación, tienen en el caso de la fabricación de la catenaria rígida una inmediata significación para los estudiantes. No se pueden concebir unas sin la implicación de las otras. Veamos de manera resumida algunos de los aspectos.

3.1 Catenaria rígida

3.1.1. Material.

Es una aleación de aluminio 6063 equivalente en norma ISO a Al Mg 0.5 Si, cuya composición química se recoge en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química de la aleación de aluminio 6063 (% peso).

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0.20–0.60	0.35	0.10	0.10	0.45–0.90	0.10	0.10	0.10	resto

La catenaria rígida se conforma por extrusión en caliente a una temperatura de 520°C a la que el material experimenta también un solubilizado. Después de este proceso se mejoran las características mecánicas mediante un tratamiento de envejecimiento artificial; dicho tratamiento consiste en calentar a 205°C durante 1 hora y a continuación enfriar al aire. Por tanto, se puede designar el estado de la aleación como T5 (Henry, 1993).

3.1.2. Proceso de fabricación.

El conformado del perfil se lleva a cabo según las siguientes etapas, que se presentan de forma secuencializada y en las que se alternan etapas de conformado y de tratamiento térmico: 1. Extrusión de la aleación de aluminio; 2. Corte; 3. Estirado; 4. Tratamiento de envejecimiento; 5. Acabado.

3.1.2.1. Extrusión

La forja se lleva a cabo a temperatura de 1000°C y tras ella se realiza un enfriamiento lento en horno. Se recomienda precalentar la prensa a 720°C, evitando así el fuerte contraste térmico a que es sometida ésta y minimizando así el desgaste experimentado por la misma. La aleación de aluminio en lingotes se calienta previamente hasta una temperatura entre 400-460°C. Se aplica nitruro de boro (BN) en superficie para que no se pegue a la cámara de extrusión, aplicando la presión mediante una prensa donde se controla la velocidad de extrusión y la presión. Se facilita la salida del material aplicando una ligera tracción en el carro de salida, estando la temperatura de salida en torno a los 510-550°C. El enfriamiento suele ser del orden de 50°C/min.

3.1.2.2. Corte

Mediante una sierra de disco para adaptar el perfil a la medida necesaria para el transporte.

3.1.2.3. Estirado

Se aplica un estirado en un banco tratando de eliminar los defectos de curvado del perfil en la extrusión, al mismo tiempo que se le da cierta acritud al material.

3.1.2.4. Envejecimiento

Dicho tratamiento consiste en calentar a 205°C durante 1 hora y a continuación enfriar al aire.

3.1.2.5. Acabado

Mediante el anodizado se puede por procedimientos electroquímicos generar una capa de óxido superficial que proporciona una mayor resistencia y durabilidad en condiciones ambientales agresivas.

3.2 Matriz de extrusión

3.2.1. Material.

El material seleccionado para la fabricación de la matriz de extrusión es un acero de herramientas para trabajos en caliente (Henry, 1993) designado como F.5318 (norma UNE-EN), H13 (SAE/AISI) ó 1.2344 (DIN).

El acero H-13, cuya composición química se adjunta en la Tabla 2, es utilizado ampliamente, en estado de bonificado, para la fabricación de herramientas de conformado: dados de extrusión para aleaciones ligeras, punzones y matrices para prensas, insertos para dados, mandriles, pernos eyectores etc. El uso del acero H-13 proporciona un buen balance de tenacidad, alta resistencia a la formación de grietas causadas por el choque térmico y resistencia al revenido, junto con una resistencia moderada al desgaste.

Tras el temple al aire se obtienen durezas entre 44 y 52 HRC y el revenido a altas temperaturas (>540°C) permite mantener la dureza conseguida en el temple y su resistencia al ser utilizado a temperaturas elevadas. Las herramientas fabricadas con el acero H-13 pueden ser usadas a temperaturas de hasta 540°C, con exposiciones breves

de hasta 595°C, resultando ideal para la fabricación de dados para extrusión en caliente de aleaciones ligeras como la que nos ocupa (aleación 6063). Además resulta apropiado para nitrurar, incrementando con ello la resistencia al desgaste superficial.

Tabla 2. Composición química del acero (H-13) de la matriz de extrusión (% peso).

C	Si	Cr	Mo	V
0.40	1.00	5.20	1.30	0.95

3.2.2. *Proceso de fabricación.*

El conformado de la matriz se lleva a cabo según las siguientes etapas, que se presentan de forma secuencializada y en las que se alternan etapas de conformado y de tratamiento térmico: 1. Forjado; 2. Recocido; 3. Mecanizado; 4. Tratamiento de alivio de tensiones; 5. Temple; 6. Revenido; 7. Electroerosión; 8. Nitruración.

3.2.2.1. *Forjado*

La forja se lleva a cabo a temperatura de 1000°C y tras ella se realiza un enfriamiento lento en horno. Se recomienda precalentar la prensa a 720°C, evitando así el fuerte contraste térmico a que es sometida ésta y minimizando así el desgaste experimentado por la misma.

3.2.2.2. *Tratamiento de recocido*

Tras la forja se realiza un tratamiento de recocido consistente en calentar a 870°C y mantener durante 2 horas, enfriamiento a 760°C y mantener esa temperatura durante 6 horas y posterior enfriamiento al aire. Tras dicho recocido se obtiene un material, de dureza HBN comprendida entre 192 y 235, susceptible de ser mecanizado con facilidad.

3.2.2.3. *Mecanizado*

Mediante mecanizado por arranque de viruta se puede lograr el conformado general de las matrices, empleando tanto torneado como fresado para lograr los bebederos y contenedores. Se controla el espesor de la matriz en la zona de salida del perfil para reducir la torsión o una incompleta extrusión. Se debe realizar el taladrado para introducir el hilo de la electroerosión.

3.2.2.4. Tratamiento de alivio de tensiones

No obstante y tras el intenso mecanizado resulta necesario un tratamiento de recocido que permita la eliminación de tensiones internas, sobre todo como es el caso, cuando posteriormente va a ser sometido a un tratamiento de temple y revenido. Dichas tensiones puede ser el origen de defectos cuando se superponen a las contracciones y dilataciones localmente diferentes que experimenta el material durante el tratamiento de bonificado. Este recocido consiste en calentar a 520°C y cuando se ha alcanzado esa temperatura mantenerla durante 2 horas. Tras dicho mantenimiento se enfría a velocidad lenta, dentro del horno.

3.2.2.5. Tratamiento de temple

El temple se lleva a cabo calentando a temperatura comprendidas entre 995 y 1025°C. Temperaturas que se mantienen durante 30 a 45 minutos y posteriormente se enfría en aceite. Dicho enfriamiento puede ser interrumpido por debajo de los 65°C. Se prescriben velocidades de enfriamiento de aproximadamente 25°C por minuto hasta alcanzar los 650°C a fin de lograr máxima resistencia al impacto. Utilizar en el temple las temperaturas altas del rango permite obtener mayores resistencias en el revenido, pero una leve disminución de la tenacidad.

3.2.2.6. Tratamiento de revenido

Después del temple es necesario un revenido calentando a 540°C durante 1 hora por cada 25 mm de espesor y enfriando al aire hasta temperatura ambiente. La dureza alcanzada por el material después del bonificado es de 52 HRC y su resiliencia estimada con un ensayo Charpy de 14 joules. El bonificado puede inducir un ligero incremento dimensional en la matriz que se estima en un +0.06% (0.0006 pulg/pulg). Variaciones en el tratamiento térmico afectan a estos resultados.

Para mejorar dimensionalmente la matriz se podría tener un pulido y rectificado.

3.2.2.7. Electroerosión por hilo

Se trata de un proceso de electroerosión en el que electrodo es un hilo metálico; se conoce como WEDM (Wire Electrical Discharge Machining). Empleado en la fabricación de estas matrices al permitir obtener perfiles complejos y obtención de

aristas “vivas”. Se puede emplear en el mecanizado de materiales templados (ya que no influye la dureza del material) evitando las deformaciones producidas por el temple sobre la pieza terminada. Se logra una alta precisión aunque podría tenerse que aplicar alguna operación de retoque manual (Ho, 2004).

2.2.8. *Nitruración*

La nitruración posterior supone un calentamiento en torno a 500°C en horno alimentado con una corriente de amoníaco y posterior enfriamiento al aire. Dimensionalmente no tiene efecto debido que a esas temperaturas no tienen lugar transformaciones estructurales en la masa del acero (Bombac, 2013). Se podría dar alguna modificación dimensional debido a las tensiones acumuladas ó la acumulación de nitrógeno en la superficie de la matriz.

4. CONCLUSIONES

El trabajo entre diferentes áreas sobre un mismo problema sobre el que se va a trabajar en diferentes asignaturas puede mejorar la comunicación de la transversalidad de los problemas de ingeniería, especialmente en torno al ámbito de la ingeniería de fabricación.

Esta experiencia ha permitido consolidar un grupo de trabajo e iniciar la creación de lo que se ha venido a denominar como “objeto de aprendizaje”, como un instrumento para el uso de los profesores en sus diferentes asignaturas, en los que la interrelación de las soluciones está siempre presente incluso con otras especialidades diferentes a los del grupo de trabajo (SEAP, 2008). El material está enfocado fundamentalmente a clases de seminarios y/o prácticas en las que se pueda fomentar la discusión en grupos de estudiantes.

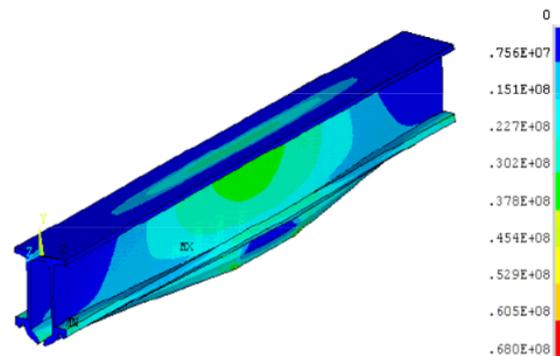


Figura 5. Integración de los proyectos con otras disciplinas. Análisis estático mediante el empleo de elementos finitos (SEAP, 2008).

Aunque la experiencia y valoración del profesorado sea muy positiva, este tipo de proyectos de innovación tienen la dificultad de poder emplear alguna herramienta con algún retorno sobre lo que supone realmente para los estudiantes. Son receptivos a este tipo de proyecto-caso pero no hemos sido capaces de cuantificar la mejora que, como se espera, se haya podido producir en su formación transversal y multidisciplinar.

4. AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a: Antonio Alonso Moreno, Colaborador Honorífico de la Universidad de Valladolid, que falleció recientemente; Ismael de la Cruz, de la empresa SAFRAN Engineering y a la empresa Hexagon Metrology.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. S. AGUIRRE, C. Fuqueme, G. Zambrano. Desarrollo De un sistema de manufactura virtual y su Integración con un sistema ERP para la educación. En Tecnología Informática. ,(2009).
2. G. BENGU, W. Swart, W. "A computer-aided, total quality approach to manufacturing education in engineering". IEEE Transactions on Education. (1996). vol 39, nº. 3, p. 415-422. ISSN 00189359. DOI 10.1109/13.538767.

3. D. BOMBAČ, et al. The Progress of Degradation on the Bearing Surfaces of Nitrided Dies for Aluminium Hot Extrusion with Two Different Relative Lengths of Bearing Surface. *Wear*, 9/30, (2013), vol. 307, no. 1–2. pp. 10-21. ISSN 0043-1648.
4. C.O. CAÑIZARES LUNA, C. Sarasa Muñoz, C. Labrada Salvat. Enseñanza integrada de las Ciencias Básicas Biomédicas en Medicina Integral Comunitaria. *Educación Médica Superior*, (2006), vol. 20, no. 1. pp. 0-0.
5. S.D. HENRY, S.E. Frueh, R. Boring, D. Levicki, L. Harrison, ASM Specialty Handbook. Aluminium and Aluminium Alloys, ASM International, Materials Park, OH, (1993)
6. K. H. HO, et al. State of the Art in Wire Electrical Discharge Machining (WEDM). *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 10, (2004), vol. 44, no. 12–13. pp. 1247-1259. ISSN 0890-6955.
7. KKK Electro Materiales. (2014) <http://www.kkk.es/> [última consulta 26/05/14]
- R.R. LÓPEZ-LÓPEZ, A. Pecharromán, A. Fernández-Cardador, Paloma Cucala, *Transportation Research Part C Vol.(38)* (2014) 85.
8. J.D. ORJUELA-MÉNDEZ, J.M. Arroyo-Osorio, R. Rodríguez-Barakaldo. Actualidad y Perspectivas En La Enseñanza Del Área De Manufactura a Estudiantes De Ingeniería. *Ingeniería Mecánica*, (2013), vol. 16, no. 1. pp. 59-71.
9. SEAP “Proyecto de instalación de catenaria rígida y actuaciones complementarias en los túneles urbanos de cercanías de Barcelona”. Secretaría de Estado de Administraciones Públicas. Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas. (2008) http://www.seap.minhap.gob.es/dms/es/ministerio/delegaciones_gobierno/delegaciones/catalunya/actualidad/notas_de_prensa/notas/2008/12/2008_12_15a/parrafo/00/PRESENTACION-CATENARIAR-GIDA-definitiva-.pdf [última consulta 26/05/14]

10. SEVILLA, L., et al. Analysis of the Integrated Implementation of the Manufacturing Engineering Subject in Engineering Degrees at the Malaga University. Trans Tech Publ, (2013).
11. YUSTOS, Héctor Lorenzo, et al. Enseñanza Integrada de “Diseño y fabricación con materiales plásticos”. Primeras Jornadas de Innovación Educativa de la Escuela Politécnica Superior de Zamora. (2006). I.S.B.N.: 84-689-9304-2.