

La experiencia docente del Laboratorio de Diseño Avanzado y Monitorizado de Máquinas

José Antonio Lozano Ruiz, Irene Martín Rubio, Juan Manuel Rodríguez Nuevo y Miguel Berzal Rubio

The teaching experience of the Laboratory of Advanced Design and Monitored Machine

RESUMEN

En este artículo se presentan los trabajos realizados en el Laboratorio de Diseño Avanzado y Monitorizado de Máquinas (DISAMM), de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial (ETSIDI) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Este Laboratorio pone a disposición de estudiantes, profesores y ciudadanos de la UPM y de otras universidades nacionales e internacionales herramientas y recursos docentes aplicables al diseño avanzado de máquinas y mecanismos. Estas herramientas docentes están disponibles a través de la web mediante el acceso remoto, aprovechando la potencia de las nuevas tecnologías de la información y comunicación, y alcanza ratios de utilización muy elevados con unos recursos humanos y materiales muy reducidos. Una característica destacable de las actividades de laboratorio es la modularidad, concepto similar al de "plataforma modular", que ya se emplea en la industria. Las prácticas y actividades de laboratorio son modulables y escalables en función de a quienes van destinadas: estudiantes de grado, máster o doctorado. A través de las actividades y recursos docentes puestos en marcha, los estudiantes y usuarios pueden adquirir conocimientos, capacidades, habilidades y competencias específicas de diseño de máquinas eficaz, seguro y eficiente, así como competencias transversales relacionadas con la eficiencia, sostenibilidad y respeto al medio ambiente.

Recibido: 21 de julio de 2014
Aceptado: 13 de agosto de 2014

Palabras clave

Diseño industrial, TIC, educación, Universidad, empresas

ABSTRACT

This paper presents the work carried out in the Laboratory of Advanced Design and Motorized Machines, DISAMM, of the School of Engineering and Industrial Design, ETSIDI of the Technical University of Madrid, UPM. This laboratory provides students, teachers and citizens of UPM and other universities, national and international, educational tools and resources applicable to the advanced design of machines and mechanisms. These training tools are available via web allowing remote access, leveraging the power of new technologies of information and communication; and reaching high rates with a very limited human and material resources. A remarkable feature of laboratory activities is modularity. This is a similar concept to "modular platform", already used in industry. Laboratory activities are modular and scalable depending on to whom they are intended: students of Bachelor, Master or PhD. Training activities and resources allow students and users to acquire knowledge, skills, abilities and specific competencies on machine design, safe and efficient, as well as generic skills related to efficiency, sustainability and environmental friendliness.

Received: July 21, 2014
Accepted: August 13, 2014

Keywords

Industrial design, ICT, education, University, companies

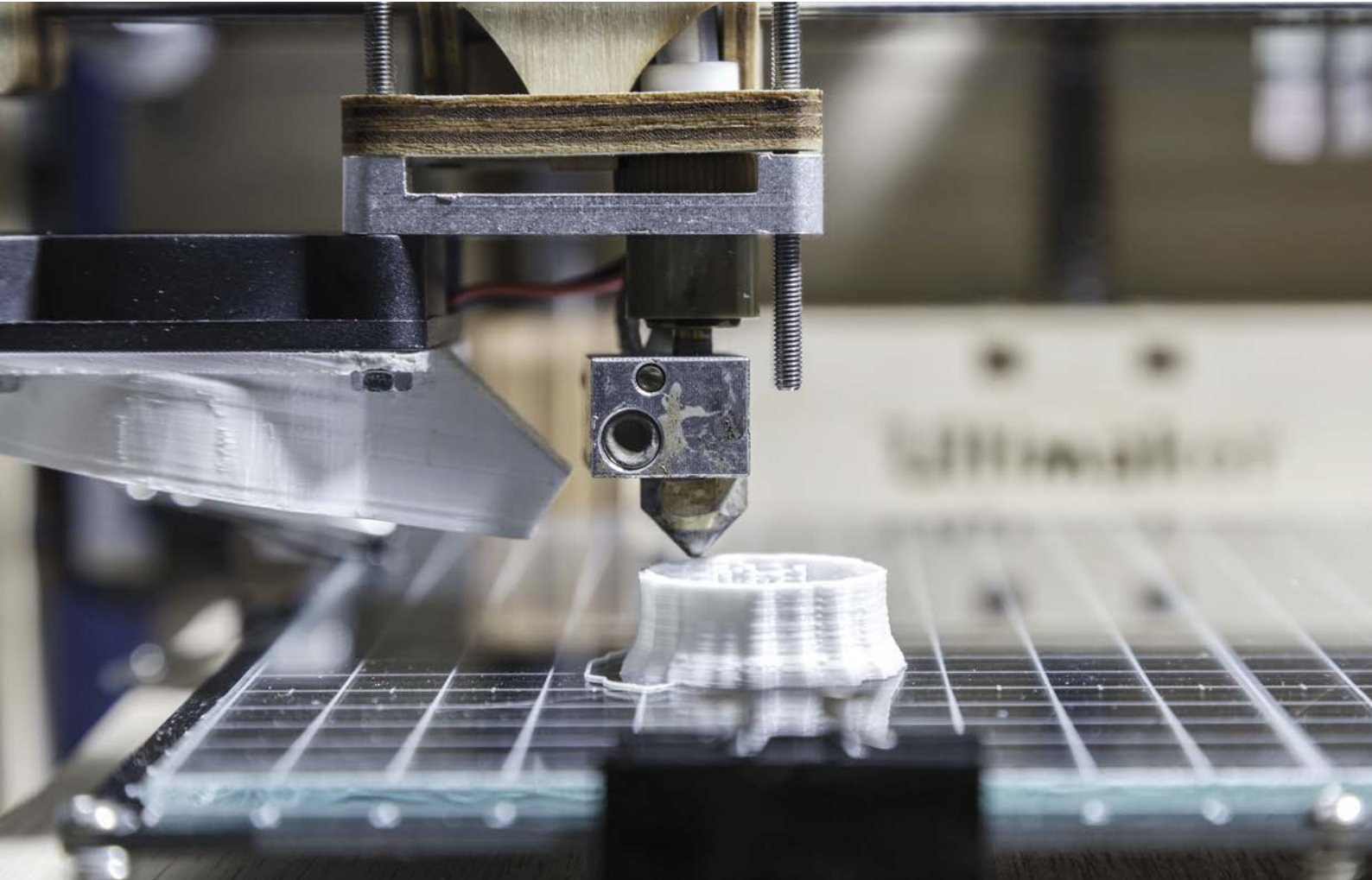


Foto: Sergi Lopez Roig / Shutterstock

Introducción

Hasta hace un año la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial (ETSIyDI) se denominaba Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial (EUITI). Este no es un simple cambio de nombre, sino que muestra el trabajo y evolución de la escuela hacia los nuevos cambios tecnológicos y su adaptación al espacio europeo de educación superior, también conocido como Proceso de Bolonia.

La escuela tradicionalmente ha impartido titulaciones de Ingeniería Técnica Industrial en sus cuatro especialidades fundamentales: mecánica, química, eléctrica y electrónica. Con la adaptación al Proceso de Bolonia, estas titulaciones se modifican en cuatro grados universitarios denominados respectivamente en ingeniería mecánica, ingeniería química, ingeniería eléctrica y electrónica industrial y automática. Además, se incorpora una nueva titulación tremendamente emergente: Grado Universitario en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto. Esta nueva titulación ha propiciado el cambio de nombre de la escuela y es el resultado de la inquietud y esfuerzo por adaptar su oferta formativa a las nuevas tecnologías industriales y educativas. Esta inquietud y esfuerzo no

solamente se ciñen a esta titulación, sino que impregna también al resto.

El área de Diseño de Máquinas es heredera de materias fundamentales como Cinemática y Dinámica de Máquinas y Cálculo, Construcción y Ensayo de Máquinas. Estas materias han evolucionado a otras con nueva denominación: Teoría de Máquinas y Mecanismos, Análisis y Síntesis de Mecanismos, Diseño de Máquinas I y II, Diseño Mecánico, Elementos Finitos y Vibraciones Mecánicas. Todas ellas parten de sus contenidos fundamentales programados para ir incorporando nuevas tecnologías y metodologías basadas en el análisis, cálculo y simulación por ordenador. Actualmente, la enorme evolución que han experimentado las tecnologías de la informática está haciendo viable en tiempo y costes la incorporación de tecnologías de prototipado y monitorización de las máquinas en el proceso de enseñanza-aprendizaje del diseño de las máquinas (Fidán, 2012; Forrester, 1969).

Por los motivos que se acaban de exponer, el laboratorio de Diseño Avanzado y Monitorización de Máquinas (DISAMM) es heredero del Laboratorio de Cinemática y Dinámica de Máquinas y nace con un objetivo claro de evolución hacia las nuevas tecnologías de diseño

avanzado en ingeniería. Se apoya en las nuevas tecnologías de la información y comunicación y de la informática. Apuesta claramente por la innovación tecnológica y de la educación (Meadows, 1972; Morecroft, 2007). Se emplean nuevas tecnologías de diseño, cálculo y simulación por ordenador, aplicando metodologías basadas en elementos finitos y modelado de sólidos y sistemas mecánicos multicuerpo (Sterman, 2000; Schaffernicht, 2008). Se incorporan herramientas informáticas de acceso remoto y tecnologías de prototipado y monitorizado de máquinas de bajo coste. Y aplicando algoritmos de optimización, se consigue completar el ciclo del diseño, cálculo mecánico y ensayo de máquinas de forma sostenible y eficiente (Poli, R. et al, 2008; Senge, 1990).

En este trabajo se presenta el proceso de puesta en marcha, organización y funcionamiento del DISAMM, en el proceso de evolución y adaptación de la ETSIDI al Proceso de Bolonia, empleando las nuevas tecnologías industriales y de innovación educativa. Se justifica cómo ha sido posible la incorporación de tecnologías avanzadas del diseño, monitorizado de máquinas, acceso remoto y de innovación educativa. Estas acciones están dirigidas a la consecución de los

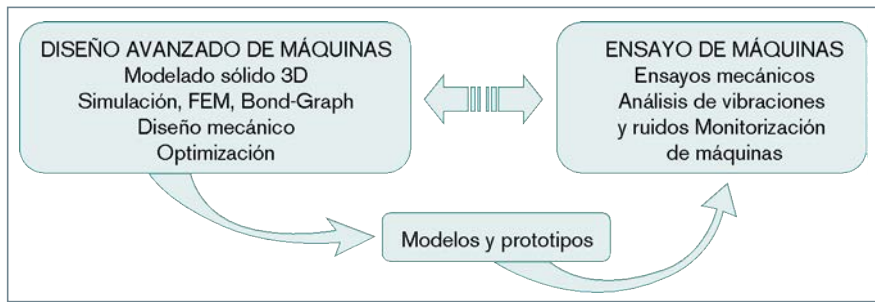


Figura 1. Áreas de actividad de DISAMM

objetivos fundamentales de eficiencia en el diseño, eficiencia energética, reducción de costes a lo largo del ciclo de vida del producto, sostenibilidad y respeto al medio ambiente. Para alcanzar todos estos objetivos resulta fundamental que las actividades de investigación, innovación, generación y transferencia del conocimiento se desarrollen en un ámbito de colaboración Universidad-empresa de plena confianza, basado en un comportamiento ético de los partícipes (Martín Rubio y Peligros Espada, 2009). Finalmente, se relacionan las conclusiones y líneas de trabajo futuras.

Laboratorio de Diseño Avanzado y Monitorizado de Máquinas

El objetivo fundamental de este laboratorio es completar el proceso de aprendizaje del estudiante de diseño de máquinas para que se habitúe al manejo de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, con una nueva mentalidad capaz de conectarse a una base de conocimientos, con las nuevas tecnologías emergentes y seleccionar las que son más competitivas, seguras, fiables, sostenibles, eficientes y respetuosas con el medio ambiente. Incluso después del ciclo de aprendizaje, es capaz de hacer mejoras en las tecnologías aprendidas.

Tres son las áreas o unidades principales que constituyen el DISAMM (figura 1):

1. Análisis cinemático y dinámico de mecanismos, aplicando técnicas de modelado de sólidos, modelado de sistemas multicuerpo, Bond-Graph, etc. En esta primera etapa los estudiantes adquieren los conocimientos fundamentales necesarios para comprender el funcionamiento y comportamiento de los mecanismos empleados habitualmente en la industria.

2. Diseño avanzado de máquinas y sus elementos, basado en el uso de las tecnologías de la informática, simulación, elementos finitos, etc. En esta fase es posible obtener datos teóricos sobre el comportamiento cinemático, dinámico de la máquina y el comportamiento mecánico de los elementos modela-

dos y simulados, así como de sus materiales. También se aplican técnicas de optimización de los diseños desarrollados, optimización topológica, redes neuronales o algoritmos genéticos, etc. Estas adquieren relevancia en los trabajos fin de grado y fin de máster, así como en los trabajos de diseño y optimización de los chasis, suspensiones, carenado y aerodinámica que desarrollan los propios estudiantes que realizan sus trabajos dentro de la asociación de MotoStudent, la cual goza de un gran apoyo de la ETSIDI y empresas del sector.

3. Ensayo de prototipos. Empleando tecnologías de prototipado rápido, se construyen modelos o prototipos a escala de los mecanismos y máquinas diseñados. Seguidamente, estos prototipos se someten a dos tipos de pruebas:

a) Ensayos mecánicos no destructivos de sus elementos.

b) Monitorización del funcionamiento de la máquina. Mediante el análisis de las vibraciones medidas durante el funcionamiento, se obtienen datos experimentales que pueden ser comparados con el comportamiento simulado en la fase de diseño.

Cuatro son las características fundamentales de DISAMM (figura 2):

1. Acceso remoto a los equipos e instalaciones. Aprovechando las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, los estudiantes y socios o empresas colaboradores pueden acceder a las instalaciones de laboratorio y herramientas desde cualquier punto en red y en cualquier momento. El uso remoto de las instalaciones gestionadas por software proporciona un alto rendimiento en el uso de los equipos de laboratorio, se alcanza una alta eficiencia en el consumo de energía, se emplea un espacio mínimo optimizado y se necesita una reducida inversión en infraestructura.

2. Eficacia y seguridad en el diseño. Después del diseño avanzado y simulación de las máquinas, la etapa de ensayo de los prototipos permite comprobar que se cumplen los requerimientos de seguridad en el diseño y en el comportamiento de los diseños.



Figura 2. Características fundamentales de DISAMM

3. Modularidad. Este es un concepto novedoso, ya empleado en la industria, especialmente del automóvil (Lampón, 2014). El concepto de modularidad aplicado al DISAMM significa que cada actividad o práctica de laboratorio se puede escalar o adaptar a los conocimientos, habilidades y competencias que deben adquirir diferentes estudiantes de diferentes niveles académicos: grado, máster o doctorado. El laboratorio está dotado de una serie de equipos básicos. Estos pueden organizarse y combinarse para generar diferentes prácticas con diferentes objetivos de conocimiento, habilidades y competencias del estudiante. De esta manera, unos mismos equipos se pueden emplear en los tres niveles académicos universitarios establecidos por el Proceso de Bolonia. De este modo, se obtiene un grado elevado de utilización de los equipos e instalaciones, reduciendo los costes de infraestructura y aumentando su rentabilidad.

4. Eficiencia energética y de costes. El empleo de técnicas de optimización del diseño por ordenador, junto con las tecnologías de prototipado rápido de bajo coste, permite realizar el diseño de máquinas y componentes con un reducido coste en energía, materiales e infraestructura.

Ahondando en el concepto de modularidad, en las figuras 3 y 4 se muestra un ejemplo de configuración de diferentes prácticas de laboratorio a diferentes niveles académicos, empleando un conjunto de equipos básicos. En la figura 3, se toman por ejemplo 4 de los equipos básicos disponibles en el laboratorio DISAMM (entre otros muchos):

a) Una máquina de demostración del funcionamiento de elementos de máquinas.

b) Una bancada para ensayo de vibraciones en elementos de máquinas.

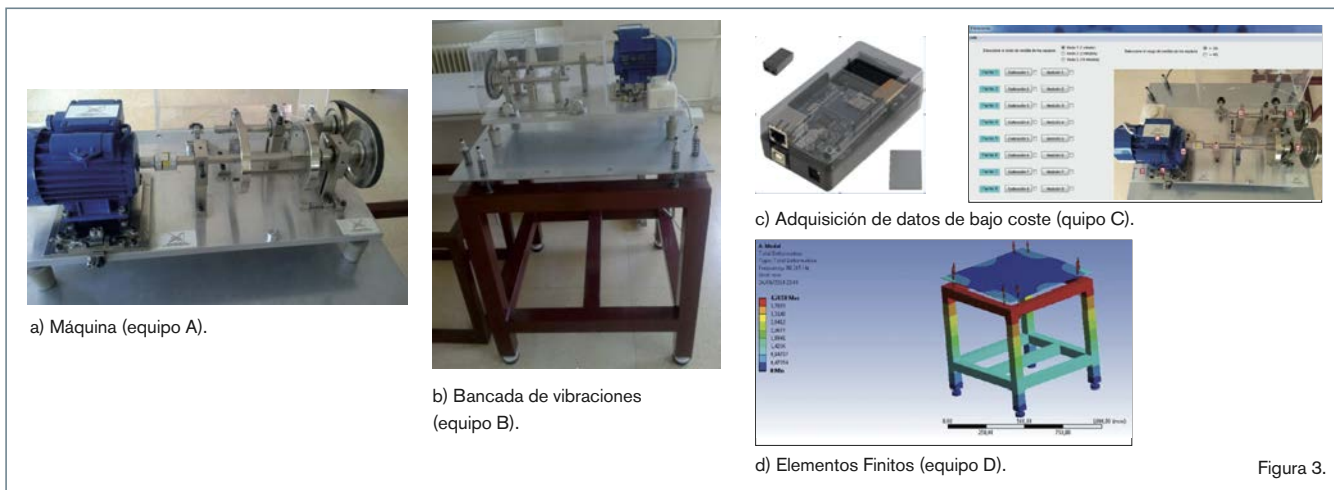


Figura 3.

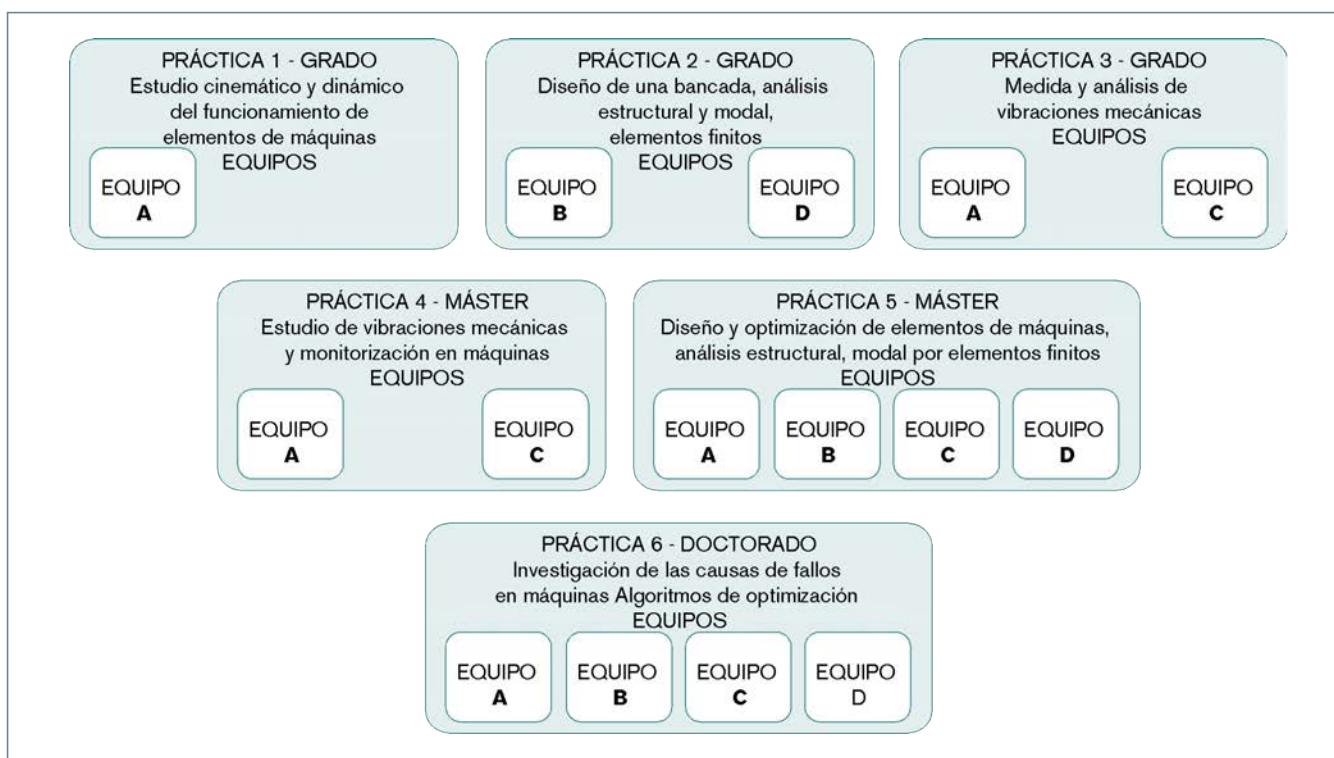


Figura 4. Prácticas de laboratorio configurables, partiendo de los equipos básicos mostrados en la figura 3.

c) Una adquisición de datos de bajo coste, diseñada y construida en el DISAMM.

d) Aplicaciones informáticas para el diseño, análisis estructural y modal, aplicando técnicas de elementos finitos.

En la figura 4 se muestran de forma esquemática seis posibles prácticas realizables a diferentes niveles de conocimientos y competencias de grado, máster y doctorado:

a) Estudio cinemático y dinámico del funcionamiento de elementos de máquinas (práctica 1, figura 4). Los estudiantes de grado pueden visualizar y comprender el funcionamiento de los elementos fundamentales que constituyen las máquinas.

b) Diseño de una bancada, análisis estructural y modal, aplicando técnicas de elemen-

tos finitos. (práctica 2, figura 4). El alumno de grado podrá contrastar los resultados de los análisis teóricos con los datos experimentales obtenidos en ensayos.

c) Medida de vibraciones mecánicas (práctica 3, figura 4). Los estudiantes de grado, tras estudiar la teoría de vibraciones, estudian las causas y los sistemas de medición de vibraciones en máquinas. A través de esta práctica asocian los defectos más comunes en el funcionamiento de diferentes elementos de máquinas y los tipos de vibraciones que se generan. También se desarrollan conocimientos y habilidades en el manejo de los captores, sistemas y tecnologías actuales para medición de vibraciones en máquinas.

d) Estudio de vibraciones mecánicas y

monitorización en máquinas (práctica 4, figura 4). Se estudian los diferentes fallos habituales en las máquinas y las metodologías para la medición de vibraciones mecánicas. El estudiante debe diseñar un sistema de monitorización de la máquina, realizar mediciones de vibraciones y estudiar las causas de estas. El análisis de los resultados obtenidos debe aplicarlos para el diseño de un plan de mantenimiento predictivo o preventivo. Esta práctica se desarrolla por estudiantes de máster.

e) Diseño y optimización de elementos de máquinas, aplicando técnicas de análisis estructural, modal mediante técnicas de elementos finitos (práctica 5, figura 4). Los alumnos de máster aplican algoritmos de optimización para reducir el nivel de vibraciones en

Asignaturas de grado			
Asignatura	Nº de alumnos		ECTS
	2012-13	2013-14	
Teoría de Máquinas y Mecanismos (5º c)	340	518	4,5
Diseño de Máquinas I (5º c)	117	144	3,0
EE FF y Vibraciones Mec. (7º c)	-	67	6,0
Diseño Mecánico (7º c)	36	59	4,5
Diseño de Máquinas II (6º c)	90	110	4,5
Análisis y Síntesis de Mecanismos (6º/8º c)	70	80	4,5
Ingeniería de los Transportes (8º c)	17	38	4,5
Proyecto fin de carrera	27	35	6,0
Asignaturas de máster			
Asignatura	Nº de alumnos		ECTS
	2012-13	2013-14	
Análisis por EE FF	17	15	4
Modelado y Simulación	8	10	4
Simulación de Sist. Mec. Elc.	11	9	6
Sistemas Mecatrónicos (2º c)	8	10	3
Técnicas Aplic. Mant. Industrial (2º c)	8	10	4

Tabla 1. Nivel de utilización docente de DISAMM

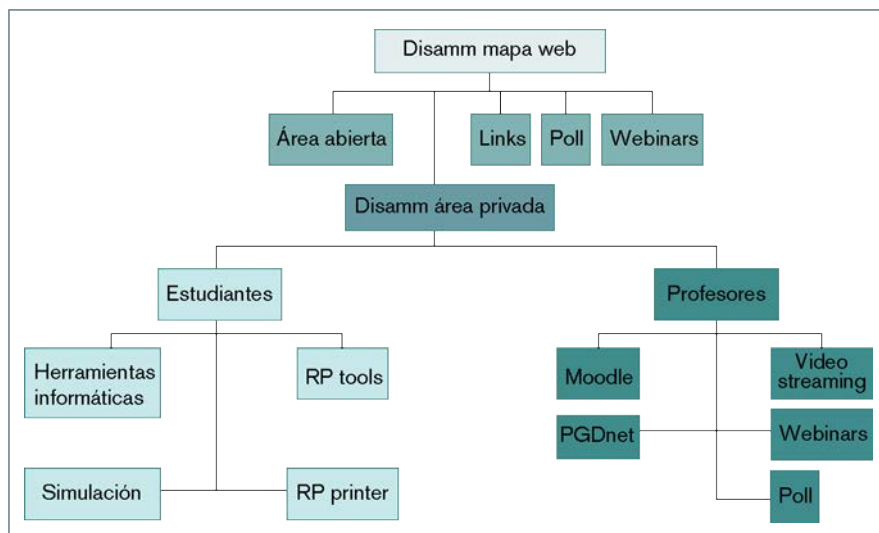


Figura 5. Mapa de recursos TIC que DISAMM pone a disposición de los estudiantes.

los elementos de máquinas diseñados y pueden contrastar los resultados teóricos con datos experimentales obtenidos en ensayos de laboratorio.

f) Investigación de las causas de fallos en máquinas, monitorización y detección, empleando técnicas de análisis de vibraciones mecánicas (práctica 6, figura 4). Desarrollo de algoritmos de optimización del diseño de elementos de máquinas, reducción del nivel de vibración, prevención de averías, optimización del ciclo de vida y la eficiencia energética. Esta práctica es desarrollada por estudiantes de doctorado, quienes pueden contrastar los resultados teóricos con ensayos de laboratorio.

El grado de utilización del laboratorio DISAMM por parte de los alumnos es muy elevado (tabla 1). Este laboratorio da servicio

a ocho asignaturas de grado y cinco de máster profesional e investigador, con un equipo de profesorado muy reducido (cuatro profesores y medio a tiempo completo).

Optimización, eficiencia y sostenibilidad en el proceso de diseño

Dentro del largo y complejo proceso de enseñanza-aprendizaje, es responsabilidad de la Universidad poner los medios para que los estudiantes adquieran los conocimientos, capacidades y habilidades necesarios para enfrentarse con problemas reales y sean capaces de resolverlos con éxito. Este éxito implica valores éticos, sociales, eficiencia y eficacia en sus logros, sostenibilidad y respeto por el medio ambiente.

Para alcanzar dichos fines, en concreto en las materias de diseño de máquinas, el obje-

tivo es conseguir un diseño mecánico optimizado y eficiente. Los parámetros de optimización suelen ser muy diversos, comúnmente la reducción de peso y mejora del rendimiento de funcionamiento de la máquina. Estos redundan en un menor consumo de materiales y de energía y en reducción del impacto ambiental y de costes y, por tanto, mayor sostenibilidad del ciclo de vida del producto y mayor respeto con el medio ambiente.

El proceso de diseño avanzado de máquinas se fundamenta en dos metodologías:

- **Diseño asistido por ordenador** aplicando técnicas de **elementos finitos** y de simulación por ordenador, como **Bond-Graph**. Gracias a la potencia actual de los ordenadores es posible simular en tiempo real el comportamiento cinemático y dinámico de los elementos que constituyen las máquinas, así como el comportamiento mecánico de los materiales.

- **Optimización del diseño** aplicando **optimización topológica, redes neuronales y algoritmos genéticos**. No basta con obtener una solución aceptable del problema de diseño. Es necesario ir más allá, consiguiendo diseños que optimicen las funciones de las máquinas haciéndolas más seguras, eficaces, eficientes y respetuosas con el medio ambiente. Así, resultan en un bajo coste global durante el ciclo de vida: desarrollo, producción, mantenimiento y de funcionamiento. La optimización y eficiencia del diseño debe incluir el ciclo completo de vida del producto, desde su concepción, diseño mecánico, ensayo de prototipos, hasta su producción y vida útil, incluyendo los procesos de reciclado o reutilización del producto al agotar su ciclo de vida.

A través de las diferentes asignaturas, adecuadamente coordinadas, el alumno adquiere conocimientos y habilidades para el diseño de máquinas, y concluye con el trabajo de fin de carrera. Conforme se va avanzando en los contenidos, se plantean casos prácticos que el alumno debe resolver ofreciendo soluciones creativas, a la vez que eficaces y eficientes. En todo momento se insiste en los criterios de eficiencia energética y respeto al medio ambiente.

Para cada caso práctico, el alumno debe partir de la búsqueda bibliográfica y estudio del estado del arte. Seguidamente, debe proponer diferentes soluciones que someterá a un análisis aplicando diferentes técnicas de optimización, dinámica de sistemas, algoritmos genéticos, redes neuronales, etc., que le permite proponer soluciones de diseño más avanzadas e innovadoras, de acuerdo con los criterios de optimización establecidos a priori. De esta manera partiendo del conocimiento explícito adquirido a partir de las diferentes

actividades docentes, el alumno también va configurando un conocimiento implícito a través de los casos prácticos, trabajos individuales, cooperativos y en grupo.

El alumno realiza diferentes actividades empleando las herramientas docentes que DISAMM pone a su disposición a través de la web (figura 5). Estas herramientas están a disposición de todos los estudiantes y de cualquier usuario autorizado. Existe una zona privada para los primeros en la que pueden realizar sus experiencias docentes de forma segura. El profesor interactúa con los estudiantes a través de diferentes recursos y aplicaciones informáticas: Moodle, PGDnet, Webinars, etc. Y existe un área abierta en la que cualquier persona puede acceder a toda la información pública acerca de las actividades de DISAMM. Dado que los usuarios (estudiantes, profesores y diferentes socios) no necesitan acceder al espacio físico de la instalación, se puede beneficiar un mayor número de estudiantes de la ETS de Ingeniería y Diseño Industrial, así como de otros centros de la Universidad Politécnica de Madrid y otras Universidades, centros de I + D + i y empresas.

Investigación e innovación educativa. La confianza en la relación Universidad-empresa

La investigación y la innovación educativa en el ámbito de actividad de DISAMM resultan relevantes. Y estas tan solo se pueden realizar satisfactoriamente en un entorno de trabajo de colaboración Universidad-empresa. Para alcanzar plenamente los beneficios de esta colaboración deben fomentarse unas relaciones de plena confianza, basadas en un comportamiento ético de las partes, (Martín Rubio, I; Peligros Espada, C., 2009; Martín Rubio et al., 2013). Esto resulta de vital importancia para evitar la presencia de comportamientos oportunistas no éticos.

Para que las relaciones Universidad-empresa den los frutos deseados, es de vital necesidad la adaptación a los cambios que rápidamente se suceden en el entorno empresarial, lo cual provoca que las empresas formen alianzas y colaboren entre sí. Un aspecto fundamental en los convenios de colaboración es agilizar los mecanismos que permiten compartir recursos y conocimiento. Sin una gestión adecuada de la confianza, el proceso de generación y transferencia del conocimiento se hace estéril. En las relaciones Universidad-empresa debe prevalecer la confianza como base para crear, compartir y fomentar el conocimiento. La plena confianza entre las partes limita los comportamientos oportunistas, ya que el conocimiento que se comparte se utiliza para el beneficio, desarrollo y fortalecimiento de la alianza.

La confianza permite compartir el conocimiento adquirido por las partes colaboradoras y explorar las diferencias encontradas, para generar nuevo conocimiento, innovar de forma más ágil e identificar nuevas tecnologías emergentes. Cuando la confianza se sitúa en el corazón del intercambio de conocimiento, se refuerza el trabajo en equipo, se facilita el debate, el aprendizaje y la innovación y la comunicación se hace más efectiva, (Dodgson, 1993). Todo ello redundará en una mejora de las relaciones entre las partes colaboradoras, en este caso de la Universidad con la Empresa.

Conclusiones

Varios son los logros ya alcanzados por el laboratorio de DISAMM:

- Las actividades docentes programadas permiten desarrollar en los estudiantes las competencias específicas relacionadas con el diseño avanzado de máquinas: eficacia, diseño seguro, optimización del diseño, trabajo por objetivos y en equipo.
- En combinación con lo anterior, DISAMM hace también posible que los estudiantes sean capaces de trabajar las competencias genéricas o transversales relacionadas con la optimización, eficiencia, reducción de costes, sostenibilidad y respeto al medio ambiente.
- La modularidad de los equipos y actividades de laboratorio permite que puedan ser empleados por estudiantes de diferentes niveles académicos de grado, máster y doctorado. Se aumenta enormemente los ratios de utilización, lo cual redundará en la alta rentabilidad de los equipos empleados.
- El empleo de herramientas TIC con acceso remoto a través de la web, junto con el citado concepto de modularidad, hacen posible alcanzar una alta eficiencia en el funcionamiento del laboratorio. Se alcanzan altos ratios de utilización de las herramientas y recursos disponibles en el DISAMM. Estos recursos van dirigidos a estudiantes, profesores y público en general, tanto de la ETSIDI, como de la UPM, de otras Universidades, nacionales e internacionales, de empresas, como cualquier ciudadano. Y todo ello se consigue con unos costes de personal, recursos e infraestructura muy reducidos.
- Para alcanzar los objetivos de eficiencia y sostenibilidad, es fundamental trabajar en un entorno de trabajo realista, de colaboración Universidad-empresa, basado en la plena confianza, lo cual fomenta la investigación, innovación, generación y transferencia de conocimiento.

No obstante, DISAMM no se conforma con los citados logros. Sigue trabajando en la mejora continua de sus medios y recursos. Por ello, nuevas líneas de trabajo se están poniendo en marcha:

- Adaptación de las herramientas web a nuevas tecnologías de la información y comunicación, para alcanzar más capacidad y velocidad.
- Identificación de nuevas tecnologías innovadoras aplicables al diseño de máquinas.
- Innovación docente continuada, para seguir mejorando y optimizando el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Bibliografía

- Dodgson, M. (1993). "Learning, trust and technological collaboration" *Human Relations*, 46, 1, pp. 77-95.
- Fidan, I. (2012). "Remotely Accessible Rapid Prototyping Laboratory: design and implementation framework". *Rapid Prototyping Journal*. 18/5 (2012) 544-352. Emerald Group Publishing Limited. ISSN 1355-2546. DOI 10.1108/13552541211250328.
- Forrester, Jay W. (1961). *Industrial Dynamics*. Pegasus Communications. ISBN 1883823366.
- Forrester, Jay W. (1969). *Urban Dynamics*. Pegasus Communications. ISBN 1883823390.
- Lampón, J.F.; Cabanelas, P., (2014). The modular platform strategy: A new revolution in the production's organization in the automobile sector? *Universia Business Review*, 2º trimestre 2014. ISSN: 1698-5117.
- Martín Rubio, I., Peligros Espada, C. (2009). "Análisis de evolución de la confianza en la industria del automóvil. ¿Hemos llegado a la confianza identificativa?" *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*. Vol. 15, Nº 2, pp. 143-158, ISSN: 1135-2523.
- Martín Rubio, I., Nogueira Goriba, J., Llach Pagés, J. (2013) "Innovación abierta: Liderazgo y valores" *Dyna*, Vol. 88, Nº 6, págs. 679-684
- Meadows, Donella H. (1972). *Limits to Growth*. New York: University books. ISBN 0-87663-165-0.
- Morecroft, John (2007). *Strategic Modelling and Business Dynamics: A Feedback Systems Approach*. John Wiley & Sons. ISBN 0470012862.
- Poli, R., Langdon, W. B., McPhee, N. F. (2008). *A Field Guide to Genetic Programming*, freely available via Lulu.com. ISBN 978-1-4092-0073-4.
- Senge, Peter (1990). *The Fifth Discipline*. Currency. ISBN 0-385-26095-4.
- Sterman, John D. (2000). *Business Dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. McGraw Hill. ISBN 0-07-231135-5.
- Schaffernicht, Martin (2008). *Indagación de situaciones complejas mediante la dinámica de sistemas*. Editorial Universidad de Talca. ISBN 978-956-7059-93-5.

José Antonio Lozano Ruiz

joseantonio.lozano@upm.es
Departamento de Ingeniería Mecánica, Química y Diseño Industrial, Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial, Universidad Politécnica de Madrid.

Irene Martín Rubio

irene.mrubio@upm.es
Departamento de Ingeniería de Organización, Administración de Empresas y Estadística, Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial, Universidad Politécnica de Madrid.

Juan Manuel Rodríguez Nuevo

juanmanuel.rodriguez@upm.es
Departamento de Ingeniería Mecánica, Química y Diseño Industrial, Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial, Universidad Politécnica de Madrid.

Miguel Berzal Rubio

m.berzal@upm.es
Departamento de Ingeniería Mecánica, Química y Diseño Industrial, Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial, Universidad Politécnica de Madrid.