



**UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**  
***Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial***

---

*Proyecto*

**Una aproximación innovadora a la enseñanza de la  
Ingeniería Gráfica basada en las aplicaciones  
CAD/CAM/CAE a sistemas mecánicos**

**(Código ID2013/148)**

**MEMORIA DE RESULTADOS**

*Coordinador*

**J.C. Pérez-Cerdán**

*Participantes*

**M. Lorenzo Fernández, A. Reveriego Martín, P. Moreno Pedraz y C.  
Blanco Herrera**

*Departamento de Ingeniería Mecánica*

Béjar, 30 de Junio de 2014

## 1. Presentación de la asignatura

En el marco de la adaptación de la Universidad española al EEES, una nueva materia designada Ingeniería Gráfica ha sido incluida en el plan docente del Grado de Ingeniería Mecánica. En la ETSII de la Universidad de Salamanca (USAL), la Ingeniería Gráfica se imparte, desde al año académico 12-13, durante el segundo cuatrimestre del tercer curso, siendo responsable de su docencia el Departamento de Ingeniería Mecánica. Se trata de una asignatura específica de la titulación. Dispone 6 créditos ECTS. Al final del cuatrimestre se espera que los estudiantes hayan adquirido la siguiente competencia: *conocimientos y capacidades para aplicar las técnicas de ingeniería gráfica*. Dado su uso, hoy en día muy extendido en el ámbito industrial [1], aquí proponemos una nueva aproximación a la enseñanza de la Ingeniería Gráfica basada en el conjunto de etapas que constituyen un proceso CAD/CAM/CAE (también conocido por el acrónimo CAx). De esta manera, se incorpora el potencial didáctico de estas aplicaciones a la educación en las enseñanzas técnicas [2-4]. Un primer resumen del proyecto de innovación docente ha sido ya publicado (ref. [5]).

## 2. Metodología

Tradicionalmente, la Ingeniería Gráfica se ha centrado en la mera descripción de las opciones disponibles de software en el campo de la Ingeniería Mecánica, y ha sido impartida por áreas afines al dibujo técnico y a la expresión gráfica. Este enfoque, como es obvio, contempla sobre todo el aspecto gráfico de la materia. La propuesta que defendemos entiende que, sin olvidar su carácter gráfico, la materia debe acentuar en sus contenidos aquellas cualidades específicas más directamente relacionadas con la práctica de la ingeniería. Por tanto, en este trabajo se propone que, utilizando procedimientos gráficos, sea objetivo de la enseñanza de la Ingeniería Gráfica resolver problemas reales de la Ingeniería Mecánica usando herramientas informáticas CAD/CAM/CAE desde el comienzo del proceso de diseño hasta su finalización. Así, en las clases prácticas los estudiantes tendrán que enfrentarse a distintos problemas reales que incluyen todas las etapas del proceso de diseño, lo que exigirá de los estudiantes la aplicación de los conocimientos y conceptos adquiridos previamente en el Grado, en materias como Teoría de Mecanismos y Resistencia de Materiales.

El contenido de la materia se dividirá en dos partes. Una parte estructural, en la que se llevará a cabo el análisis de tensiones y deformaciones en componentes estructurales, considerando distintas condiciones de contorno y tipos de carga, y otra mecánica, donde se efectuará el análisis de posición, cinemático y dinámico de sistemas mecánicos de creciente complejidad. En ambos casos se utilizará el software Autodesk Inventor. Debido al carácter eminentemente práctico de la materia, la mayoría del trabajo de los estudiantes se desarrollará delante del ordenador en el aula de informática. En consonancia con este planteamiento, la evaluación será fundamentalmente continua, basada en la resolución de distintos ejercicios prácticos.

## 3. Contenidos

Entre el software comercial CAE disponible hoy en día, hemos decidido usar el paquete Autodesk Inventor por dos razones. En primer lugar, porque éste permite cubrir todas las etapas de un proceso CAD/CAE, desde el modelado inicial CAD hasta las opciones más avanzadas de diseño CAE. De esta forma, los alumnos sólo tienen que aprender a manejar un único software. La segunda razón se basa en cuestiones económicas. Autodesk ofrece tanto a estudiantes como profesores la posibilidad de usar una licencia sin limitaciones de tres años a través de la website <http://students.autodesk.com>. Así, los estudiantes pueden descargarse directamente este software en su propio ordenador, lo que facilita el auto-aprendizaje en el uso de esta herramienta.

Como se ha señalado, el proyecto formula para la enseñanza de la Ingeniería Gráfica una metodología docente eminentemente práctica. A partir de esta premisa, se desarrollarán distintas actividades que implican resolver cuestiones de diseño mecánico o estructural, con el propósito de que los estudiantes adquieran las correspondientes competencias.

Así, en las clases prácticas los estudiantes tendrán que enfrentarse a distintos problemas reales que incluyen todas las etapas del proceso de diseño y que deberán resolver haciendo uso de Autodesk Inventor como herramienta CAD/CAE. La mayoría de las clases se llevarán a cabo en el aula de informática del centro.

En primer lugar, serán explicadas las nociones básicas para el manejo rápido del software elegido, introduciendo conceptos clave tales como el diseño adaptativo o el paramétrico, el modelado de las piezas y su ensamblaje en un sistema mecánico, las operaciones 3D más comunes, etc.

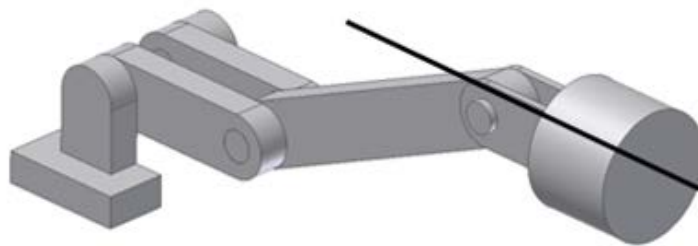
A continuación, tras una breve descripción de las mismas en clase, los estudiantes encontrarán los guiones de las actividades propuestas en la plataforma moodle de la USAL. Tanto la dificultad del sistema mecánico a analizar como la libertad para tomar decisiones acerca de las características del diseño se incrementarán progresivamente

conforme avance el curso. Los guiones de los trabajos prácticos no sólo contendrán indicaciones sobre las instrucciones en el software que deben emplearse en cada caso, sino que también exigirán al estudiante la comparación de los resultados obtenidos de la simulación con los correspondientes del análisis teórico. En otros casos, los datos del problema podrán extraerse en parte o totalmente de un modelo didáctico o de un sistema mecánico real.

En los cursos 12-13 y 13-14 (en los que hasta ahora se ha impartido Ingeniería Gráfica) se han desarrollado y propuesto los trabajos que se describen brevemente a continuación.

### 3.1. *Diseño y análisis de un mecanismo excéntrico de biela manivela*

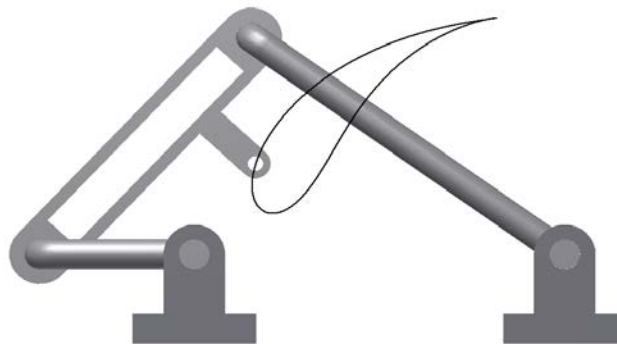
Este mecanismo sencillo (ver figura 1) se emplea para enseñar los conceptos más básicos del modelado y ensamblaje y del módulo de simulación dinámica de Autodesk Inventor. Los estudiantes deben analizar las variables de posición y cinemáticas del mecanismo cuando la manivela es accionada con velocidad angular constante, y efectuar el análisis dinámico cuando es un par motriz constante el que origina el movimiento. Con el objeto de validar los resultados de la simulación, deben comparar éstos con lo obtenidos de la solución analítica tras la aplicación de la Teoría de Mecanismos. Los modelos y gráficas mostradas a continuación han sido creados por estudiantes que han cursado la asignatura.



**Figura 1:** Modelo de mecanismo excéntrico biela-manivela.

### 3.2. *Diseño y análisis de un mecanismo 4R. Tren de engranajes*

Como en el anterior, los estudiantes deben modelar y ensamblar el mecanismo a partir de los datos proporcionados en el guión de la actividad. A partir de su simulación y análisis, se proponen otras cuestiones como, por ejemplo, modificar la geometría del acoplador con el objeto de incluir un punto cuya trayectoria venga dada en el atlas de Hrones–Nelson [6] (ver figura 2) o activar el movimiento del sistema mediante un tren de engranajes usando las herramientas de diseño CAE.



**Figura 2:** Modelo de mecanismo 4R. Curva de acoplador

### 3.3. *Diseño y análisis de un mecanismo de retorno rápido. Razón de tiempos*

Se propone estudiar aquí el mecanismo de retorno rápido de Whitworth (figura 3) u otros mecanismos análogos que se encuentran en colecciones clásicas [7] (ver figura 4). En este caso, la libertad para tomar decisiones de diseño es máxima. Los estudiantes deben efectuar el análisis teórico y comparar el cálculo de distintos parámetros, como la carrera de trabajo o la razón de tiempos, con los resultados de la simulación.

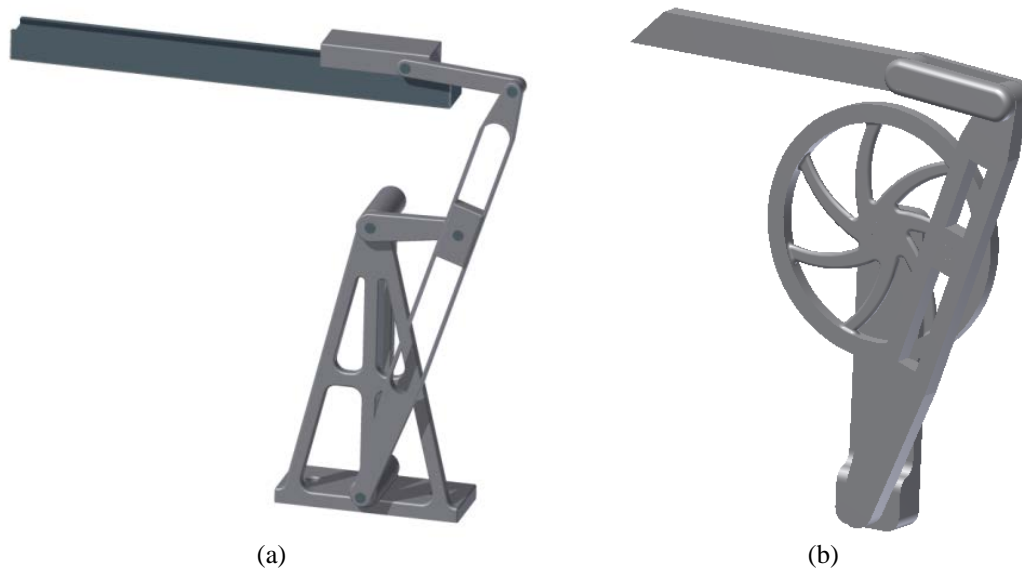


Figura 3: Distintos modelos del mecanismo de Whitworth.



Figura 4: Modelo de mecanismo de la ref [7].

### 3.4. Diseño estructural

El objetivo en esta práctica es que los estudiantes aprendan a modelar estructuras (ver figura 5) o elementos estructurales, como las cartelas que sirven de unión entre las barras que llegan a un nudo, utilizando las herramientas CAE disponibles en Autodesk Inventor. Modificando las condiciones de contorno, las cargas, o los perfiles, una vez construidas las estructuras, los estudiantes deben efectuar un análisis estático de las tensiones y deformaciones usando el módulo de elementos finitos.

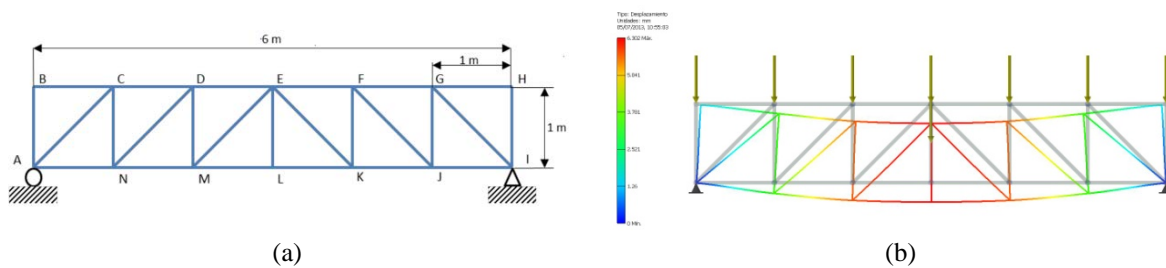


Figura 5: (a) Modelo de una viga tipo Howe. (b) Tensiones en la viga.

## 4. Evaluación

Lógicamente, el cambio metodológico debe abarcar también los procesos de evaluación. Para ello, habrá que introducir componentes en la evaluación que pongan de relieve el trabajo y logros del estudiante en relación con las actividades proyectadas (dentro de un sistema de evaluación continua), y que contribuyan a motivar e incentivar su participación activa.

La evaluación tendrá carácter continuo a través de la valoración de los trabajos realizados por cada estudiante sobre cada una de las actividades. Se tendrán en cuenta la exactitud de los resultados numéricos, su validación con los modelos teóricos, la optimización y originalidad del diseño, el grado de dificultad, etc. Se valorará también la exposición de las distintas propuestas de diseño, lo que permitirá a los estudiantes mostrar y defender los resultados de su trabajo autónomo mediante el intercambio de opiniones y la discusión.

## 5. Encuestas

La valoración de los diversos tipos de actividades y el grado de aceptación de la metodología propuesta se cuantifican a través de encuestas realizadas al final del curso. Consta de dos partes: una primera de carácter general y otra específica sobre cuestiones relativas a los trabajos prácticos y los criterios de evaluación. Se adjunta un Anexo con las preguntas que configuran la encuesta. Aquí destacaremos (Tabla 1) los resultados más significativos que pueden extraerse de las respuestas dadas.

Tabla 1. Algunas de las preguntas de la encuesta final y resultados de la repuestas en %.

pregunta	respuestas (%)					
	0	1	2	3	4	5
La metodología docente utilizada ha servido para seguir y comprender mejor la asignatura			4.8	19.0	57.1	19.0
Es preferible una metodología convencional	66.7	23.8	4.8		4.8	
La organización temporal es la adecuada	19.0	19.0	9.5	28.6	14.3	9.5
El desarrollo de los trabajos prácticos ha permitido entender en mejor medida el uso de los sistemas CAD/CAE			4.8	4.8	28.6	61.9
Los conocimientos adquiridos en esta asignatura capacitan para modelar/simular/analizar un sistema mecánico o estructura utilizando Autodesk Inventor			4.8	9.5	52.4	33.3
Recomendarías cursar esta asignatura					57.1	42.9

Las respuestas reflejan el alto grado de satisfacción de los estudiantes con la metodología seguida y, en este sentido, avalan la propuesta docente y los trabajos que la concretan. Es de destacar que el 100% de los estudiantes recomendaría de forma notable o muy notable cursar esta asignatura. Sin embargo, no hay una mayoría de estudiantes que esté de acuerdo con la organización temporal de la asignatura de modo que, de cara a los próximos cursos, se introducirán cambios en la programación semanal de los trabajos propuestos.

En otro tipo de cuestiones, más de un 70% de los estudiantes creen que el número de trabajos es el adecuado y el 100% de los mismos considera que su calificación debe constituir el 80% o el 100% de la calificación final.

## 6. Conclusiones

En este proyecto se ha presentado un nuevo enfoque metodológico para la docencia de la asignatura de Ingeniería Gráfica. Mediante el mismo, los estudiantes estarán en condiciones de aplicar los conocimientos, conceptos y métodos adquiridos previamente en otras materias del Grado a través de la resolución de una serie de problemas de diseño mecánico haciendo uso de las técnicas más modernas basadas en el software CAx. Entre las mejoras esperadas como resultado de esta nueva aproximación a la docencia de la Ingeniería Gráfica cabe destacar:

- Dinamizar y hacer más participativa la docencia en la asignatura de Ingeniería Gráfica al incorporar en la misma la resolución de casos prácticos propios de la Ingeniería Mecánica.
- Reforzar y relacionar directamente los conceptos y conocimientos adquiridos en otras materias del Grado en Ingeniería Mecánica, como pueden ser, el análisis de mecanismos, el cálculo de estructuras, etc.
- Iniciar al estudiante en las técnicas modernas de diseño asistido por ordenador propias de la Ingeniería actual.
- Facilitar la adquisición de las competencias tanto específicas como transversales propias de la asignatura de Ingeniería Gráfica.
- Ajustar mejor la distribución de los créditos ECTS, al cuantificar las horas de trabajo personal de los estudiantes que requieren las tareas de nuevo diseño.
- Establecer nuevos procedimientos de evaluación continua.
- Tratar de cuantificar el grado de satisfacción, aceptación y valoración de actividades y otros parámetros a través de encuestas.

El grado de satisfacción que muestran las repuestas de los estudiantes a las encuestas llevadas a cabo al final de curso respaldan las innovaciones introducidas en la enseñanza de la Ingeniería Gráfica.

Señalar, por último, que los 250 € con los que está dotado el proyecto se han invertido en la adquisición de un mecanismo de leva que puede ser útil tanto en las prácticas de Ingeniería Gráfica como en las de la asignatura de Teoría de Mecanismos. El importe total del mismo asciende a 3061.74 € (IVA incluido), por lo que la compra ha sido cofinanciada por el Departamento de Ingeniería Mecánica.

## 7. Referencias

- [1] D. A. Field. Education and training for CAD in the auto industry. *Computer-Aided Design*, 36, (2004), 1431-1437.
- [2] Y. C. Nee, C. C. Hang. CAE/CAD/CAM curricula implementation-experience at the National University of Singapore. *Computer-Aided Design*, 21:10, (1989), 649-653.
- [3] C. Wemer, R. Weidlian, B. Greker. Engineers' CAx education—it's not only CAD. *Computer-Aided Design*, 36:14, (2004), 1439-1450.
- [4] K. Dvořák, J. Šedivý. CAx application in the teaching of engineering subjects, *Proceedings of the 9th WSEAS International Conference on Engineering Education*, Cambridge, UK, (2012), 115-119.
- [5] J. C. Pérez-Cerdán, M. Lorenzo, A. Reveriego, C. Blanco. Innovative Approach for Teaching Graphical Engineering Focused on CAD/CAM/CAE Systems. *Key Engineering Materials*, 572, (2014), 311-314.
- [6] J. A. Hrones, G. L. Nelson. *Analysis of the Four-Bar Linkage*, Ed. MIT Press and Wiley, 1951. ISBN: 9780262080033.
- [7] I. I. Artobolevski. *Mecanismos en la Técnica Moderna*. Ed. Mir (Moscú), 1976-82. ISBN: no consta.

## Anexo

### Ingeniería Gráfica. Encuesta final de curso.

Valora de 0 a 5 si estás de acuerdo (5) o en desacuerdo (0) con las siguientes afirmaciones:

	0	1	2	3	4	5
La metodología docente utilizada (clases + trabajos) ha servido para seguir y comprender mejor la asignatura						
Es preferible una metodología docente convencional (clases magistrales + examen de evaluación) a la metodología empleada (clases + trabajos prácticos)						
Las clases han sido útiles para el desarrollo de los trabajos de la asignatura						
Las clases impartidas han sido suficientes						
La organización temporal propuesta para el desarrollo de los trabajos es adecuada						
El desarrollo los trabajos ha permitido entender en mejor medida el uso de los sistemas CAD/CAE						
El programa Autodesk Inventor es adecuado para realizar los trabajos propuestos						
Los conocimientos adquiridos en esta asignatura capacitan para modelar/simular/analizar un sistema mecánico o estructura utilizando Autodesk Inventor						
Recomendaría cursar esta asignatura						
He colaborado con otros compañeros en la realización de los trabajos						
Las tutorías han sido útiles para resolver las dudas de la asignatura						

