

## Resolver el rompecabezas adquiriendo cada pieza cuando se necesita

Pedro Ortiz Morón (1), Anna Rodríguez Pérez (2)

*(1) Departament d'ENGINYERIA MECÀNICA*

*(2) Departament de MATEMÀTICA APLICADA III*

*Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica Industrial de Barcelona*

*Universitat POLITÈCNICA DE CATALUNYA*

*C/Urgell, 187, 08036 Barcelona, Tel.934137363, Fax 934137401*

*pedro.ortiz@upc.edu*

### Resumen

En las asignaturas orientadas al aprendizaje mediante la resolución de problemas, se suceden un elevado número de horas de clase en las que se van ofreciendo una serie de fundamentos y herramientas que serán de aplicación cuando se llegue al planteamiento de las cuestiones reales a resolver.

Dicha organización impide equilibrar en el tiempo la carga de trabajo fuera de clase sobre el estudiante y le llena la caja con unas herramientas que todavía no sabe para qué va a necesitar.

Se propone comenzar con una presentación de los fundamentos y herramientas mínimos necesarios para poder abordar la resolución algún problema sencillo.

Se seleccionan cuidadosamente los problemas a resolver y la sucesión en que se proponen, para que en su dificultad creciente, vayan justificando la utilización del nivel avanzado de cada herramienta.

De esta manera, se plantea primero la necesidad y después se presenta la herramienta que la soluciona.

**Palabras Clave:** Innovación docente, Ingeniería Mecánica, Diseño de Máquinas.

### 1. Introducción

La comunicación que se presenta se refiere a la asignatura troncal Diseño de Máquinas, que forma parte de la titulación de Ingeniería técnica industrial, especialidad mecánica.

Esta asignatura resulta muy atractiva para la mayoría de los estudiantes porque su contenido es netamente de la especialidad y porque al estar situada relativamente alta en la carrera (cuatrimestre cuarto), y ser aplicada, comienza a integrar los conocimientos básicos provenientes de otras asignaturas anteriores que le han servido de base.

En este nivel, el estudiante siente que empieza a saber hacer algo útil, de aplicación más o menos directa en lo que será su futura profesión de ingeniero técnico industrial.

Quizás paradójicamente, aún resultando atractiva, esta materia resulta difícil. Probablemente sean las mismas razones las que explican ambos caracteres que podrían parecer contradictorios.

La necesidad de utilizar los conocimientos anteriores, hace que, en el caso de que no se hayan aprendido bien, se evidencien aquí las carencias del pasado, siguiendo el esquema de formación y crecimiento de las bolas de nieve.

Por otra parte, el intento de que la asignatura sea lo más aplicada posible, hace que exista una gran variabilidad en la propuesta que pueda recibir el estudiante para resolver durante la evaluación. Posiblemente esta dispersión es mayor que en otras asignaturas donde existe una mayor similitud entre los casos presentados en las sesiones de aprendizaje en el aula y los potenciales casos de examen.

## **2. La carrera en relación a la asignatura**

Como se ha comentado, la asignatura Diseño de Máquinas, se encuentra situada en el cuatrimestre cuarto, de los seis que componen la titulación de ingeniería técnica industrial.

Es obvio que, dado el carácter acumulativo de los estudios universitarios, y más aún en las carreras técnicas, la mayoría de asignaturas anteriores a la nuestra aportan conocimientos y capacidades útiles y necesarias.

De todas formas, conviene destacar tres asignaturas clave para el seguimiento adecuado de la que nos ocupa, que son:

- Mecánica y Teoría de Mecanismos 1.
- Mecánica y Teoría de Mecanismos 2.
- Elasticidad y Resistencia de Materiales.

En MTM1, el estudiante aprende, entre otras cosas útiles, a resolver el equilibrio del sólido rígido y a conocer las solicitaciones que se podrán dar sobre un elemento resistente, posibilidades que se amplían en MTM2 mediante el estudio de la cinemática y la dinámica de máquinas y mecanismos. En Resistencia de Materiales, aprende a traducir las solicitaciones exteriores a tensiones, y a relacionar dichas tensiones con las propiedades mecánicas de los materiales y con las distintas formas que pueden conformar la sección de los elementos resistentes.

Se debe insistir en la idea de que otras muchas asignaturas no citadas expresamente aportan también competencias claves para el seguimiento de Diseño de Máquinas.

### **3. La asignatura Diseño de Máquinas**

#### **3.1. Programa**

A grandes rasgos, y a modo de bloques, el programa de la asignatura se ajusta a la siguiente estructura:

- Repaso rápido y aplicado de MTM1
- Repaso rápido y aplicado de Resistencia de Materiales
- Teorías de rotura
- Fatiga
- Problemas
- Examen parcial
- Transmisiones mecánicas: poleas, cadenas y ruedas dentadas. Diseño de árboles.
- Problemas
- Examen final



### **3.2. Organización**

La asignatura se imparte mediante el método de clase magistral, en las que se exponen los contenidos teóricos, y sesiones de problemas, de carácter principalmente expositivo, pero en las que se intenta involucrar en lo posible al estudiante, lo que no siempre es posible, pues son también clases a aula completa, con un número de alumnos que generalmente oscila entre 70 y 110 personas.

Los exámenes se resuelven mediante problemas, que intentan ser lo más parecidos posibles a partes de máquina reales.

Existen también unas sesiones prácticas evaluables, cuya descripción no procede de cara a la presente comunicación.

### **3.3. Esquema temporal**

La docencia de la asignatura ocupa al estudiante 3,5 horas por semana de teoría y problemas en el aula, durante las 15 semanas del cuatrimestre (más 0,5 horas/semana para las sesiones prácticas).

Durante esas semanas, existen dos periodos relativamente largos, en los que es necesario dedicar todo el tiempo a contenidos teóricos, que son el primer periodo, desde el inicio del curso hasta completar la fatiga (aproximadamente cinco semanas), y la presentación del tema de transmisiones (unas tres semanas incluyendo el examen parcial).

En la exposición del motivo de innovación de la presente comunicación, se verá, que la solución propuesta, además de intentar resolver el problema principal que se plantea, también tendrá una incidencia positiva en estos dos periodos en los que no hay sesiones de problemas, principalmente sobre el primero de ellos.

### 3.4. Objetivos

Se pretende, en la asignatura Diseño de Máquinas, dotar al futuro ingeniero mecánico de competencias reales para el ejercicio de su futura profesión, poniendo a su alcance los conocimientos teóricos oportunos, pero también intentando aportar y fomentar una cierta amplitud de miras, una buena capacidad de análisis de las soluciones de ingeniería cuya observación esté a su alcance.

Por ejemplo, se insiste en el hecho de que, habitualmente, los proyectos de ingeniería suelen tener más "incógnitas" que "ecuaciones", y que se deben establecer hipótesis provisionales para poder iniciar métodos iterativos que conduzcan a una solución óptima.

Y, desde luego, se muestra lo empírico de algunos métodos, como todo lo que tiene que ver con el diseño a fatiga.

En resumen, se intenta concienciar al estudiante de que la ingeniería no es una disciplina tan cartesiana como a veces piensan, y que a una  $X$  concreta, pueden corresponder distintas  $Y$  igualmente correctas.

### 4. El rompecabezas

La asignatura Diseño de Máquinas, como otras muchas dentro de las enseñanzas técnicas, está orientada al aprendizaje mediante la resolución de problemas, no en el contexto del conocido método PBL, sino en la concepción clásica del problema como elemento de estudio.

En el desarrollo del temario necesario para la comprensión y resolución de los problemas que se plantean, se suceden un elevado número de horas de clase en las que se van ofreciendo, de manera ordenada y con el rigor necesario, una serie de fundamentos y herramientas que serán de aplicación cuando se llegue al planteamiento de las cuestiones reales a resolver.

Dicha organización tiene dos implicaciones, una temporal, por la que se hace difícil equilibrar la carga de trabajo fuera de clase para el estudiante, siendo ésta muy baja

durante los periodos en que se progresa en la teoría, y otra implicación, más difícil de clasificar, que consiste en que se van presentando una serie de herramientas que servirán para resolver unas cuestiones que aún no se han planteado, por lo que el estudiante no siente que las necesite, y tampoco acaba de entender, hasta que se planteen los problemas completos, qué cuestiones resuelven y qué nuevas cuestiones plantean.

### **La fábrica de piezas**

Se parte de la hipótesis de que el tiempo de cada asignatura dentro de los estudios universitarios es siempre escaso frente a las capacidades que se pretenden ayudar a adquirir a los estudiantes, siempre pensando en el beneficio futuro de ellos, bien sea frente a las asignaturas posteriores dentro del mismo plan de estudios, bien sea, y principalmente, durante el desarrollo de su futura vida profesional.

Ante la "escasez" de tiempo, es necesario, en una asignatura orientada al aprendizaje mediante la resolución de problemas, que éstos sean suficientemente significativos. Tanto es así, que resulta especialmente útil basar el aprendizaje en los problemas que en años anteriores han formado parte de los exámenes, y ello, a pesar de que justamente la asignatura Diseño de Máquinas no busca preparar al estudiante para superar el examen, sino que intenta ponerlo en la mejor situación posible frente a la casi infinita casuística de situaciones que se presentarán al estudiante que tenga la oportunidad de dedicar su vida profesional al ámbito del diseño de maquinaria.

Precisamente, la razón que hace enriquecedora la utilización de los problemas de examen de cursos anteriores es la alta variabilidad de cuestiones que éstos plantean.

La idea a la que se pretende llegar con toda esta justificación es que como el tiempo es escaso, se deben seleccionar los problemas que se resuelven en el aula, porque no se pueden hacer demasiados, y que esta situación tiene la característica, o mejor dicho: el inconveniente, en el contexto de la presente comunicación, de que es necesario un buen conocimiento de todos los fundamentos teóricos implicados para poder abordar la tarea de resolver dichos problemas.

Ello conduce a la ordenación temporal clásica de la asignatura de largo periodo de contenidos teóricos, resolución de algunos problemas, examen parcial, nuevo periodo de contenidos teóricos, resolución de nuevos problemas y examen final.

El inconveniente, en términos de tiempo, de esta ordenación es que impide equilibrar la carga de trabajo sobre el estudiante fuera de clase. En los periodos de teoría, pocos estudiantes sienten que deberían ir realizando un trabajo continuado, y algunos de los que lo desearían hacerlo tampoco saben qué hacer, más allá de ir releendo la teoría que se va acumulando.

El otro inconveniente achacable a la ordenación temporal clásica de la asignatura, es algo más difícil de identificar con una palabra o con un concepto. Consiste en que durante un buen número sucesivo de horas de clase se van presentando a los estudiantes una serie de herramientas, que aún no saben que necesitan, pues resuelven unas cuestiones que todavía no se han planteado, y su utilización generará otra serie de cuestiones que también habrá que resolver.

Se intenta ilustrar la desorientación que puede sentir un estudiante mediante el siguiente escenario mental:

*Entendido: el diagrama de Soderberg permite representar en un plano las combinaciones de solicitaciones con componente estática y componente puramente variable. **¿Pero, qué interés puedo tener yo ahora para querer representar una cosa así? Suponiendo que eso sea útil, ¿deberé hacerlo siempre, o sólo en algunos casos? ¿Por qué a veces acabaré en el cuadrante segundo de dicho diagrama? Me han dicho que lo más habitual, sin embargo es estar en el cuadrante primero. ¿Por qué? No voy a ser capaz de aprenderlo nunca. ¡No se pueden tener tantas cosas en cuenta a la vez!***

El temario de la asignatura Diseño de Máquinas contiene varias de estas herramientas en su primera parte: *Círculo de Mohr, Teoría de la máxima energía de distorsión de Von Mises*, etc. Cada una de ellas con su justificación teórica y su casuística de aplicación propia.

Además de éstas, existen otra serie de cuestiones también importantes aunque carezcan de “nombre propio”, como por ejemplo, la necesidad de establecer el ciclo de carga sobre la pieza, o reconocer si existe punto crítico o sólo posición crítica, etc.

Particularizando, como ejemplo, para la tensión normal, y según el estadio de resolución del problema, y de qué se esté hablando en cada momento se tienen:

$$\sigma_F ; \sigma_R ; \sigma_{\max} ; \sigma_{\min} ; \sigma_a ; \sigma_m ; \sigma_1 ; \sigma_2 ; \sigma_{eq} ; \sigma_{eq}^a$$
$$\sigma_{eq}^m ; \sigma_m^S ; \sigma_a^S ; \sigma_f' ; \sigma_{1000}' ; \sigma_N' ; \sigma_f ; \sigma_{1000} ; \sigma_N$$

y eso resulta asfixiante para un estudiante que, a causa de no haber empezado a hacer los problemas en los que irán saliendo ordenadamente algunas de esas tensiones, se ve incapacitado para distinguir las.

Lo importante no es tanto reconocer cada tensión, sino que cada una de ellas pertenece a una etapa de la cadena de herramientas sucesivas que permiten resolver un problema, por lo que al no sentirse seguros sobre cuál es cuál, tampoco pueden asimilar óptimamente el contenido teórico asociada a cada una de ellas cuando les van siendo presentadas en las sesiones teóricas.

La visión global sobre las diferentes herramientas disponibles, sobre cuándo pueden o no, o sobre cuándo deben ser utilizadas necesariamente, sobre cuáles son los datos de entrada y los de salida de cada una de ellas, y el resto de las cuestiones significativas, sólo puede alcanzarse y consolidarse mediante la resolución de problemas, cuántos más se hagan y más variados y representativos sean, mejor.

## 5. Metodología

Se propone, en lo posible, dividir los temas en dos, o incluso más, niveles, uno básico y otro/s avanzado/s.

Se comienza con una presentación de los fundamentos y herramientas necesarias para la resolución de problemas sólo al nivel mínimo imprescindible, lo que permite empezar a plantear problemas más pronto.



Se seleccionan cuidadosamente los problemas y la sucesión en que se presentan, para que en su dificultad creciente, vayan necesitando de un mayor soporte teórico, lo que se utiliza para ir presentando el nivel avanzado de cada herramienta.

El inconveniente de este proceder consiste en que los primeros problemas van siendo entrecortados frecuentemente para ir introduciendo la teoría conforme va siendo necesaria, y la teoría va siendo entrecortada a su vez por el avance en el problema a medio resolver posibilitado por el último concepto explicado.

Se debe prevenir al estudiante para que tome apuntes en hojas separadas de los problemas, y el profesor debe ser consciente de que para optimizar, cuando se haya completado cada tema teórico, es necesario que los apuntes presenten una unidad que los haga útiles para el estudio, aún cuando hayan sido formados a partir de los contenidos fraccionados en dos o más clases no consecutivas.

El método expuesto, llevado al extremo, permite comenzar por proponer un problema desde el mismo principio, el primer día de clase y en el primer minuto, si bien realmente lo único que se consiga sea plantear el enunciado, para acto seguido interrumpir la "resolución" para adquirir los primeros temas, aunque sea a modo de rápido repaso de contenidos de asignaturas anteriores.

Una ventaja adicional para el estudiante, es que se acostumbra a dicho proceder consistente en avanzar lo que se puede en la resolución del problema, y cuando surge la siguiente cuestión se busca la herramienta que la soluciona, y se continúa resolviendo hasta la siguiente "parada".

Durante el periodo de clases, cada "parada" es sinónimo de nueva adquisición teórica, fuera de ahí, la parada significará la necesaria reflexión de por dónde continuar después de cada etapa.

Si continúa trabajando de la misma manera, entonces el flujo natural del devenir del problema que esté resolviendo le llevará en cada momento a saber qué herramienta necesita utilizar en ese instante y de qué manera, y qué datos conformarán la entrada y qué obtendrá después de su aplicación.

No necesitará largos algoritmos de decisión que prevean todas las situaciones posibles, variantes incluidas, en las que debe o no usar cada una de las herramientas estudiadas durante el curso, simplemente aprenderá a dejarse llevar por la resolución del problema y yendo por dónde ésta le conduzca.

Dicha flexibilidad es imprescindible en la mayoría de los proyectos de ingeniería, en los que la única oportunidad de tener una visión global completa previa al desarrollo del propio proyecto sólo es posible para los profesionales con mucha experiencia en el tipo concreto de proyecto del que se trate.

## 6. Conclusiones

Sin modificar los objetivos de la asignatura, ni la asignación horaria, lo que se hace es reordenar el trabajo a realizar, consiguiéndose, en el ámbito temporal, homogeneizar la carga del estudiante fuera del aula, y en el ámbito docente, crear la necesidad de cada herramienta antes de presentarla, lo que por un lado justifica la propia presentación y por otro genera un cierto deseo previo en el estudiante por adquirir esas nuevas habilidades que acaba de comprender que no tiene y que necesita.

Relacionando el contenido de la presente comunicación con su título, frente al planteamiento clásico de ir dando al estudiante todas las piezas del rompecabezas, y pedirle al final del periodo, cuando ya las tiene todas, que las utilice en sus construcciones, se propone, plantear las mínimas piezas, empezar a montar y conforme se van necesitando nuevas piezas, ir adquiriéndolas.

La experiencia, se puso en marcha en el cuatrimestre de primavera 2007/2008, por lo que en la actualidad lleva ya cinco cuatrimestres de puesta en marcha, rodaje, y optimización.

Al principio, durante los tres primeros cuatrimestres, se procuró al máximo cumplir con el principio de que no introducir ninguna explicación teórica en clase si no ha venido suscitada por una necesidad evidenciada mediante un ejemplo previo.

La utilidad del periodo de rodaje se demostró al constatar, por ejemplo, en alguna clase que de haber dado un dato adicional en alguna de las sesiones previas, se hubiera podido introducir alguna explicación suplementaria, o incluso que de haber permutado el orden de dos problemas, alguna cuestión adicional habría quedado mejor justificada.

De todo ello se ha ido tomando nota, al final de cada sesión para ir introduciendo las mejoras posibles en los siguientes cuatrimestres.

No resulta difícil extraer conclusiones positivas sobre la metodología propuesta, por cuánto resulta ser a "coste cero". No se trata de eliminar temas para introducir otros, ni de variar sustancialmente cualquier otro parámetro del programa, sino de reordenar la secuencia de actividades.

Lo único que aparentemente cambia es que cuando se retoma el contenido teórico de algún tema, previamente presentado en su nivel básico, se debe hacer un resumen de lo que ya se había dado, pero eso también era necesario en la ordenación clásica de la asignatura. Ahora se hacen bastantes más resúmenes de menor duración, y antes se hacían menos repeticiones pero de mayor duración y entidad, puesto que afectaban a cuestiones más profundas o más extensas y que podían haber sido expuestas bastantes días antes.

En cuanto a la carga de trabajo sobre el estudiante fuera de horas de clase, se logra que tenga tareas que pueda hacer desde el segundo día de clase, cuando en la ordenación clásica se sucedían hasta diez jornadas de clase en las que no se generaba gran posibilidad de ir trabajando.

En el lado negativo, se puede señalar que la utilización de algunos problemas como excusa para ir introduciendo los diferentes conceptos teóricos, con sus correspondientes lapsos temporales, provoca una sensación de pesadez por la sensación de que "llevamos un mes con el mismo problema".

Para evitar en lo posible dicho efecto, se ha ido relajando, en los últimos dos cuatrimestres, la exigencia de que todo contenido teórico ha de venir precedido de su

necesidad, y en ocasiones se anticipa una herramienta a su necesidad, de manera que en un parón del problema se presentan la que toca, y la siguiente.

La constatación objetiva de las eventuales mejoras obtenidas resultará cuando menos complicada, sino imposible, porque en buena parte, ese dominio adicional que se desea que el estudiante obtenga de la mejor comprensión de las cuestiones tratadas dará sus frutos durante el progreso profesional del ingeniero ya formado.

Con esa ilusión trabajamos la mayor parte de los docentes.

## 7. Agradecimientos

A la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona, por su decidida apuesta por la innovación y mejora en el sistema educativo.

Al profesor y amigo, Pablo Buenestado, por su soporte en este y otros muchos temas.

## 8. Referencias

1. Díaz Barriga, F, y Hernández Rojas, G. (1999). "Estrategias docentes para un aprendizaje significativo". McGraw Hill, México.
2. Carrasco, J. B. (2004). "Estrategias de aprendizaje. Para aprender más y mejor." Rialp, S.A. Ed., Madrid.
3. Sánchez, A. A. (2009). "Estrategias didácticas para el aprendizaje de los contenidos de trigonometría empleando las TICs" [artículo en línea]. Edutec-e, Revista Electrónica de Tecnología Educativa. Núm. 31/ Febrero 2010. [Fecha de consulta: 02/06/2010]. <http://edutec.rediris.es/revelec2/revelec31>. ISSN 1135-9250.