



# Metodología para la aplicación de herramientas flexibles de cálculo para el análisis paramétrico enfocada a la docencia en ingeniería

V.M. Camañes Vera<sup>1</sup>, P. Orquín Granada<sup>1</sup>, D. Elduque Viñuales<sup>1</sup>, I. Clavería Ambroj<sup>1</sup>, A. Fernández Cuello<sup>1</sup>, C. Javierre Lardiés<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA), Universidad de Zaragoza  
[vcamanes@unizar.es](mailto:vcamanes@unizar.es), [orquingr@unizar.es](mailto:orquingr@unizar.es), [delduque@unizar.es](mailto:delduque@unizar.es), [iclaver@unizar.es](mailto:iclaver@unizar.es), [afernan@unizar.es](mailto:afernan@unizar.es), [sabicil@unizar.es](mailto:sabicil@unizar.es)

*Tradicionalmente, los métodos de enseñanza en asignaturas de ingeniería mecánica, ponen especial énfasis en el cálculo matemático de los modelos con los que se analizan los distintos sistemas mecánicos, cuya solución puede depender de varias variables de diseño. En muchas asignaturas, profesorado y estudiantado resuelven casos prácticos a mano, en los que la resolución matemática de los mismos supone un alto coste de tiempo, y el aprendizaje acaba centrándose más en la resolución matemática, que en interpretar los resultados sobre el efecto de cambios en las variables de diseño.*

*Esto trae como consecuencia la dificultad por parte del estudiantado en adquirir competencias en el análisis crítico de la influencia de parámetros de diseño en cada sistema mecánico. Al no dedicar tiempo para hacer diversos casos variando dichos parámetros, debido al alto coste de tiempo en rehacer los cálculos para cada iteración, no pueden analizar resultados en función de dichos parámetros, y, por lo tanto, no pueden interiorizar cualitativamente el efecto de los mismos.*

*Con el objetivo de mejorar la adquisición de esta competencia, se propone a continuación una metodología de trabajo con la que el estudiantado podrá resolver, de forma ágil, y a través de herramientas basadas en hojas de cálculo, problemas donde podrán monitorizar los parámetros mecánicos de diseño que consideren, e iterar obteniendo resultados inmediatamente para ver la influencia de éstos sobre el resultado final.*

*De esta forma, se optimiza el esfuerzo necesario en la resolución matemática del problema y en las iteraciones de cálculo, permitiendo dedicar más tiempo al análisis crítico de la influencia de los parámetros de diseño sobre cada sistema mecánico, e interiorizar desde un punto de vista cualitativo, y cuantitativo, cómo afectan estos parámetros, mejorando, no solo la competencia anteriormente citada, sino también adquiriendo competencias digitales, con herramientas de bajo coste que aportan agilidad a la hora de analizar los problemas, no recurriendo únicamente a complejos y costosos softwares de simulación.*

*La metodología está estructurada en los siguientes pasos: Elaboración de videos tutoriales en el manejo avanzado de hojas de cálculo, con foco en la resolución de los problemas planteados; Visualización en Moodle por parte del estudiantado de los videos tutoriales; Resolución y parametrización en la hoja de cálculo del problema propuesto; Monitorización de los resultados en función de la variación de los distintos parámetros de diseño; Análisis de resultados y extracción de conclusiones.*

*Esta metodología se está aplicando en la asignatura de Criterios de Diseño de Máquinas, dentro del Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales, en la Universidad de Zaragoza. Al final del artículo, se muestra un ejemplo de aplicación real en el cálculo de un sistema de transmisión para la expulsión de piezas roscadas en moldes de inyección de plástico.*

## 1. Introducción

Las carreras universitarias en el ámbito de la ingeniería han supuesto siempre un gran reto de aprendizaje para el estudiantado que se adentran en estas titulaciones. Los conceptos que se manejan son complejos, e involucran múltiples áreas de conocimiento, como pueden ser matemáticas o física, siendo necesario un gran trabajo de estudio y razonamiento sobre los conceptos para su comprensión, y, por lo tanto, su aprendizaje.

El objetivo formativo de las enseñanzas superiores, según el Real Decreto 822/2021 [1], no se queda únicamente en aunar unos conocimientos generales básicos y transversales, sino que hay que permitir que el estudiantado adquiera habilidades profesionales que les permitan integrarse en el ámbito laboral y en la sociedad. Este enfoque tiene mucha relación con la formación a lo largo de toda la vida, por lo que es importante que el estudiantado aprenda a aprender, adquiriendo habilidades que fomenten una formación profesional continua [2]. Unido a esto, buscamos que los alumnos sean competentes, que se puede definir como, entre otras capacidades, que sean capaces de resolver problemas y retos aplicando los conceptos aprendidos a través de un razonamiento crítico [3].

Adquirir estas competencias implica que el nivel de aprendizaje requerido en este tipo de titulaciones técnicas no se limite simplemente a la memorización, que conduce a un aprendizaje reproductivo, donde se resuelven problemas buscando su similitud con otros ya realizados. Los problemas a los que nuestros estudiantes se van a enfrentar, y no solo en la carrera, sino también en su futuro profesional, pueden ser muy diferentes, y el poder resolverlos exigirá de ellos haber comprendido e interiorizado los conceptos adquiridos en la carrera.

Lograr este nivel de aprendizaje, implica trabajar sobre los conceptos aplicando un pensamiento crítico, a través de un proceso de razonamiento, en el que el estudiante se haga preguntas sobre los conceptos, lo que traerá como resultado un aprendizaje profundo, entendiendo la teoría y su aplicación, lo que les permitirá poder extrapolar su uso a cualquier problema, y desarrollar la capacidad de pensamiento crítico, importante tanto para su aprendizaje como para su futuro profesional [4]. El problema, es que este tipo de aprendizaje implica tiempo para que el estudiantado pueda pararse a pensar y razonar sobre un problema, y entender la aplicación de los conceptos teóricos impartidos en clase.

Este tiempo necesario es el principal problema al que se enfrentan el estudiantado, y el profesorado, en estas titulaciones. La gran cantidad de asignaturas a las que se enfrentan al mismo tiempo, en las que tienen que llevar a cabo diversas tareas como trabajos, sesiones prácticas, exámenes parciales según la modalidad de la asignatura, y por supuesto, la asistencia a las sesiones presenciales, hace que el tiempo disponible para el estudiantado sea muy limitado para todas las tareas, lo que no les da el espacio temporal necesario para poder llevar a cabo estos procesos de razonamiento claves para un aprendizaje profundo de las materias, lo que trae como consecuencia un aprendizaje superficial y reproductivo, que no garantiza la adquisición de las competencias buscadas en el estudiantado.

Esta situación ha sido comprobada por el equipo docente de este trabajo, detectando en las evaluaciones de los últimos cursos, un menor rendimiento en la realización de problemas por parte del estudiantado, haciendo necesario reforzar el aprendizaje relacionado con los conceptos de la asignatura, y aumentar la motivación del estudiantado para la realización de un estudio continuo de la asignatura, que les permita adquirir las competencias buscadas.

Para abordar estos problemas, existen actualmente diversas tendencias en la enseñanza que buscan atacar cada uno de estos problemas. Uno de los grandes pilares para mejorar el rendimiento del estudiantado y aumentar su involucración, es el uso de metodologías de aprendizaje activo, donde el estudiantado sean partícipes de su proceso de aprendizaje, y fomente también una mayor interacción entre docentes y estudiantado [5-7]. Desde hace años, el Espacio Europeo de Educación Superior busca la utilización de metodologías activas, que permitan a el estudiantado mejorar la adquisición de competencias [8], al igual que la Universidad de Zaragoza también fomenta la aplicación de este tipo de metodologías [9]. Siguiendo estas recomendaciones, se han realizado proyectos de innovación docente por parte del equipo docente de este trabajo, donde se han puesto a prueba metodologías de aprendizaje activo como la gamificación, obteniendo buenos resultados en la mejora del rendimiento del estudiantado [10].

Otro aspecto a tener en cuenta para un buen aprendizaje, según el principio N°6 y N°9 del listado de 20 principios fundamentales de la psicología para la enseñanza, de la American Psychological Association [11], es la importancia de una retroalimentación al estudiantado clara, explicativa y a tiempo, gracias a la cual el estudiantado tienden a disfrutar del aprendizaje y del proceso de razonamiento sobre la comparación de resultados de problemas diversos, obteniéndose mejores resultados cuando su motivación es intrínseca que extrínseca.

Adicionalmente al problema del aprendizaje profundo, la adquisición de competencias digitales es otro de los retos a los que las titulaciones superiores se enfrentan a día de hoy, existiendo en muchas ocasiones un desajuste entre las capacidades que los graduados han adquirido durante sus estudios, y aquellas que necesitan en su puesto de trabajo [12]. Cada vez más, tanto las empresas que contratan a nuestros estudiantes a la salida de sus estudios, como los propios estudiantes durante la carrera, demandan la adquisición de competencias digitales en el aula,

siendo un factor muy valorado hacia los docentes que incluyen actividades que impulsan la adquisición de estas competencias [13-15]. Por lo tanto, es necesario reenfocar las actividades de aprendizaje desarrolladas en las titulaciones superiores, garantizando que tanto sus contenidos, como las metodologías y herramientas de trabajo, estén alineadas con la adquisición de competencias digitales.

Para alcanzar estos objetivos, en este artículo se presenta una metodología docente basada en la realización de problemas de cálculo de sistemas mecánicos en sesiones prácticas, a través de unas hojas de cálculo Excel programadas por los mismos alumnos, con el objetivo de que cuenten con una herramienta que agilice lo máximo posible las iteraciones de cálculo en la sesión práctica, dando tiempo al estudiantado a resolver diferentes problemas en una sesión, sin grandes inversiones de tiempo en la parte matemática del cálculo, permitiéndoles razonar sobre los resultados, y favoreciendo el pensamiento crítico y aprendizaje profundo de los conceptos de la asignatura. Se pueden encontrar diversos trabajos de investigación docente sobre la aplicación del uso de hojas de cálculo Excel, coincidiendo en que la familiaridad de la interfaz de esta herramienta y la posibilidad de personalización mediante funciones y macros las convierten en herramientas accesibles y versátiles para mejorar el aprendizaje [16-18].

Adicionalmente a esta herramienta de cálculo, la metodología también trabaja sobre la formación previa a la sesión práctica del estudiantado, con un rediseño del material docente que garantice que cuenten al inicio de la práctica con todos los conocimientos necesarios para su ejecución, buscando optimizar el tiempo relativo a la curva de aprendizaje de la práctica, para aumentar al máximo el aprovechamiento de la sesión en la resolución de los problemas planteados, y el razonamiento sobre los mismos.

Este método permitirá mejorar la adquisición de las competencias digitales que actualmente se están demandando, a la vez que mejorar la motivación y participación del estudiantado, que comprobarán como con una pequeña inversión de tiempo en la preparación de una herramienta para la resolución de los problemas calculados, les permitirá realizar una gran cantidad de pruebas sobre los parámetros de diseño, viendo cuantitativamente como influyen en los resultados, y tomando mayor consciencia de su influencia en el diseño, favoreciendo el proceso de aprendizaje.

A su vez, permitirá al profesorado reducir el tiempo necesario en explicar la práctica al inicio de la sesión, o en resolver fallos de programación o cálculo durante la práctica, lo que les permitirá dedicar más tiempo a la interacción con los alumnos focalizada en ayudarles a razonar sobre la aplicación de los conceptos teóricos, y darles retroalimentación instantánea sobre la calidad de su razonamiento, clave para garantizar un buen aprendizaje [19].

## 2. Método

El método propuesto en este artículo tiene como objetivo optimizar al máximo posible el tiempo del estudiantado en las sesiones prácticas, en lo referente al tiempo necesario para realizar cálculos matemáticos de los problemas a resolver, y a la curva de aprendizaje al inicio de la sesión, buscando el máximo aprovechamiento posible de la sesión en profundizar en los conceptos teóricos de la asignatura, a través de su aplicación y razonamiento en casos prácticos.

Para alcanzar este objetivo, se ha trabajado sobre las siguientes debilidades detectadas en sesiones prácticas impartidas en años anteriores:

- Alta necesidad de tiempo para la realización de cálculos a mano, que inducen a la desmotivación del estudiantado durante la práctica, y aumentan la probabilidad de error en los cálculos, dificultando el aprendizaje, y dejando poco tiempo para pensar sobre los resultados obtenidos, y razonar sobre ellos en un proceso de cálculo iterativo.
- Curva de aprendizaje lenta al inicio de las prácticas. En la mayoría de las ocasiones, el estudiantado no ha tenido tiempo de trabajar previamente el guion de la práctica, lo que implica que el inicio de la sesión tienen que dedicarlo a leerlo y entender qué es lo que tienen que hacer. Esto reduce el tiempo disponible para la realización de la práctica, lo que hace que el estudiantado trabaje con prisas, aumentando las posibilidades de fallos, reduciendo su motivación, y penalizando el aprovechamiento de la sesión en razonar sobre la aplicación de los conceptos puestos en práctica.
- Competencias digitales limitadas. El estudiantado tiene dificultades en el manejo de herramientas básicas como hojas de cálculo, muy utilizadas en entornos profesionales. Se busca con este método dar el espacio al estudiantado para que aprendan el manejo de este tipo de herramientas básicas, y vean el potencial de su aplicación para la resolución de problemas en sistemas mecánicos, aprovechándose de esta ventaja en sus sesiones prácticas para sacar el máximo partido en su aprendizaje.

El método propuesto consta de los siguientes pasos, que involucran tanto al equipo docente, como al estudiantado:

- 1- Por parte del equipo docente: Preparación del material necesario para la sesión práctica.

- a. Rediseño y desarrollo del material formativo previo a la práctica: guion escrito y video tutorial. Los videos tutoriales son una herramienta que, usados de forma estratégica, logran favorecer el aprendizaje activo en el estudiantado, que interaccionan con el contenido pudiendo adelantarlos, retroceder o pausarlo según sus necesidades de aprendizaje de la evaluación, a la vez que se trata de un material que pueden disponer de él en cualquier momento y lugar [20].
  - b. Planteamiento de los problemas de la asignatura para su resolución en la sesión práctica.
- 2- Por parte del estudiantado:
- a. Visualización previa a la práctica de los videos formativos.
  - b. Resolución del problema propuesto en la práctica a través de la programación de una herramienta de cálculo en Excel.

Dentro de este método docente, se plantea utilizar Excel como herramienta de cálculo. Las motivaciones para su utilización son varias:

- Se trata de un software ampliamente utilizado en cualquier entorno profesional, lo que supone un gran beneficio para el estudiantado el practicar la resolución de problemas de cálculo mecánico a través de Excel, aprendiendo por un lado a plantear modelos matemáticos de simulación con herramientas de cálculo sencillas, y a la vez, aprendiendo el manejo de una herramienta que muy fácilmente utilizarán en su entorno profesional, lo que mejora sus competencias digitales de cara al futuro.
- El nivel de complejidad de programación de un modelo de cálculo como el que se plantea en estas sesiones es muy bajo, no siendo necesaria una gran inversión de tiempo en la formación en el uso de la herramienta. Los cálculos necesarios a realizar pueden programarse directamente a través de la barra de fórmulas, y usando los comandos básicos de Excel, sin necesidad de profundizar en funciones complejas como la programación de macros, lo que hace que la curva de aprendizaje en la herramienta para esta aplicación sea muy rápida y sencilla.
- Ofrece retroalimentación inmediata a los alumnos, mostrando los resultados de la iteración de cálculo en el momento que se modifican los datos de entrada, permitiéndoles razonar sobre el cambio de los resultados de forma muy ágil, y comentarlos con el profesor en caso de dudas.
- Finalmente, se trata de un software disponible en cualquier ordenador que disponga de Microsoft Office, a día de hoy, disponible en cualquier equipo de las salas de prácticas, lo que no implica la necesidad de invertir en costosas licencias de softwares de cálculo.

### *2.1. Preparación del material docente*

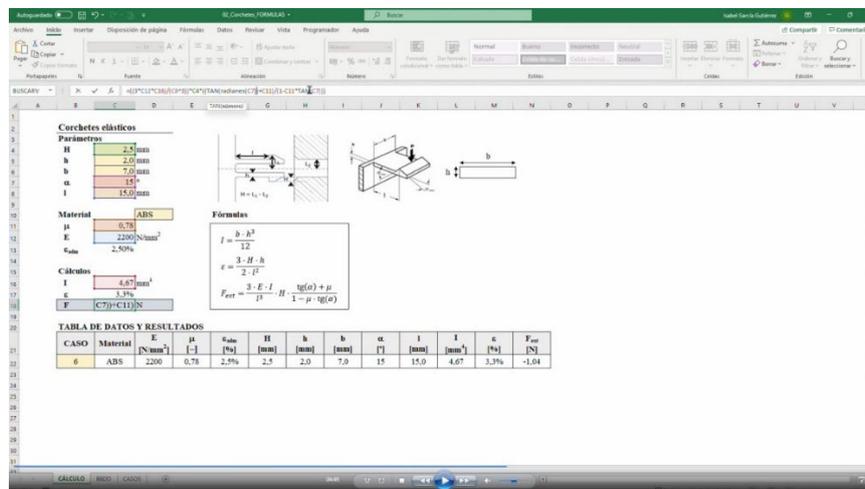
El material docente consiste, por un lado, en el guion de prácticas en formato texto, y, por el otro, en un video tutorial, que el estudiantado deberá visualizar previamente a la realización de la práctica. El guion en formato texto se planteará con la siguiente estructura, que se adaptaría a los contenidos específicos de la asignatura en cuestión:

- 1- Conceptos teóricos básicos a utilizar durante la sesión práctica: Estos conceptos se explicarán también en el video tutorial, pero el estudiantado dispondrá de ellos en formato texto como material de apoyo durante la sesión.
- 2- Problema base a resolver: Se planteará al estudiantado el problema base a resolver. Este problema, supondrá un caso de estudio inicial sobre el que programar la hoja Excel para su cálculo, y dejarla lista para poder realizar de forma instantánea las distintas iteraciones de cálculo que se planteen.
- 3- Variantes del problema: En esta parte, se planteará al estudiantado distintas variantes del problema base, de forma que puedan ser resueltos de forma iterativa e instantánea gracias a la hoja Excel previamente programada. Este tercer punto es la gran posibilidad que ofrece este método de sesiones prácticas. A través de variantes sobre el problema base, se pueden plantear al estudiantado situaciones realistas de rediseño, donde poder comparar resultados, y razonar sobre el efecto que tienen variaciones de parámetros sobre el sistema, lo que les ayudará a interiorizar los conceptos teóricos.

Adicionalmente al clásico guion en formato texto, el equipo docente prepara un video tutorial sobre la práctica. La motivación del video tutorial consiste en proporcionar al estudiantado un entrenamiento previo a la práctica, en un formato más cómodo de trabajar para ellos, siendo conscientes de que los clásicos guiones en papel no motivan al estudiantado para ser trabajados previamente a la sesión, debido a que es necesaria una elevada cantidad de tiempo para leerlos e interiorizarlos, en comparación con la visualización de un video, y con la alta carga de trabajo que tienen el estudiantado en la carrera, les resulta muy complicado trabajar previamente un guion escrito. Los contenidos de estos videos son:

- 1- Repaso de los conceptos teóricos que se van a utilizar en la sesión práctica, impartidos previamente en las clases teóricas.

- 2- Tutorial sobre las funciones de Excel que son necesarias para la resolución de la práctica. La Figura 1 muestra un ejemplo de video tutorial sobre el manejo de Excel enfocado a los cálculos a realizar en la práctica.
- 3- Tutorial completo de la resolución de la práctica con un caso de ejemplo, similar al que tendrán que realizar en la sesión, mostrando paso a paso la realización completa de la práctica que tendrán que hacer en la sesión.



**Figura 1:** Captura de video tutorial en el manejo de Excel para la práctica.

Se ha comprobado en distintas sesiones donde se ha usado este video tutorial, que el estudiantado llegaba mucho mejor preparado a las sesiones prácticas, reduciendo al mínimo la curva de aprendizaje necesaria al inicio de la sesión, y mostrando más autonomía en su desempeño, mejorando el aprovechamiento del tiempo de la práctica en entender los conceptos teóricos utilizados.

La difusión del guion y del video formativo se realiza mediante Moodle a todo el estudiantado, de forma que puedan acceder a este contenido desde cualquier ordenador, ya sea en la Universidad o en su casa.

## 2.2. Ejecución de la sesión práctica por parte del estudiantado

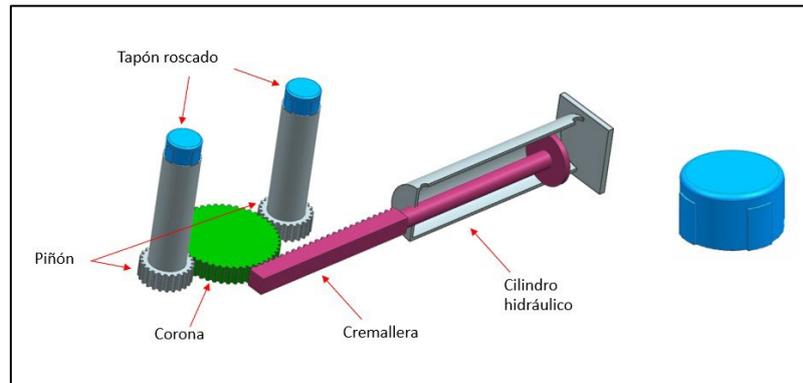
Previo a la sesión práctica, el estudiantado visualizará el video tutorial, con el que podrán repasar los conceptos teóricos que se van a poner en práctica, aprender los comandos de Excel que utilizarán, y ver el desarrollo completo de la práctica que va a tener que realizar.

Durante la sesión práctica, el estudiantado realizará, según los problemas planteados en el guion, la programación de la hoja Excel, con la que dispondrán de una herramienta de cálculo hecha por ellos mismos, que les servirá para iterar sobre distintas variantes de cálculo, y profundizar en el entendimiento de los conceptos teóricos vistos en clase.

## 3. Caso de estudio

El caso de estudio que se presenta a continuación muestra la resolución completa de una práctica de la asignatura de Criterios de Diseño de Máquinas, a través de un problema aplicable a una sesión de prácticas. Todo el desarrollo de este caso sería el ejemplo que el estudiantado verían en el video tutorial, de todo lo que tendrían que resolver en la sesión práctica.

El problema planteado al estudiantado en este ejemplo está centrado en la resolución del cálculo de un sistema de transmisión, aplicado en la expulsión de un tapón roscado en un molde de inyección. Este mecanismo consta de un cilindro hidráulico que actúa sobre una cremallera, que hace girar una corona principal, la cual transmite un movimiento de rotación de forma simultánea a dos piñones que hacen el movimiento de desenroscado de los tapones de plástico dentro de la cavidad del molde. La Figura 2 muestra el ensamblaje en modelado 3D del problema propuesto.



**Figura 2:** Modelado 3D del sistema de transmisión a calcular.

El planteamiento de la práctica está dividido en tres pasos:

- 1- Sobre unos planos reales e impresos de moldes, se deben identificar los distintos elementos del sistema de transmisión propuesto, y obtener del plano los datos geométricos necesarios para el cálculo del mismo. El trabajo con planos reales resulta estimulante para el estudiantado, ya que les aporta realismo sobre el trabajo práctico que están desarrollando.
- 2- En una hoja Excel se programan todas las ecuaciones necesarias para calcular los distintos parámetros de funcionamiento del sistema de transmisión, como son velocidades angulares de engranajes, pares, fuerzas, presión hidráulica en cilindros, etc., y hacer un primer cálculo sobre unas condiciones de funcionamiento fijadas.
- 3- Después de realizar el primer cálculo, con la hoja Excel ya programada, se deberán resolver distintos ejercicios variando diferentes parámetros de diseño, iterando de forma instantánea, y analizando la influencia de la variación de estos parámetros sobre el sistema mecánico, extrayendo las conclusiones necesarias sobre el problema.

### 3.1. Análisis del sistema de desenroscado sobre plano

A través de unos planos del detalle del sistema de desenroscado del tapón, se identifican todos los elementos del sistema de transmisión, incluyendo los actuadores, y se listan los parámetros geométricos que serán necesarios para realizar el cálculo, junto con los parámetros geométricos de la pieza, listados en la Tabla 1.

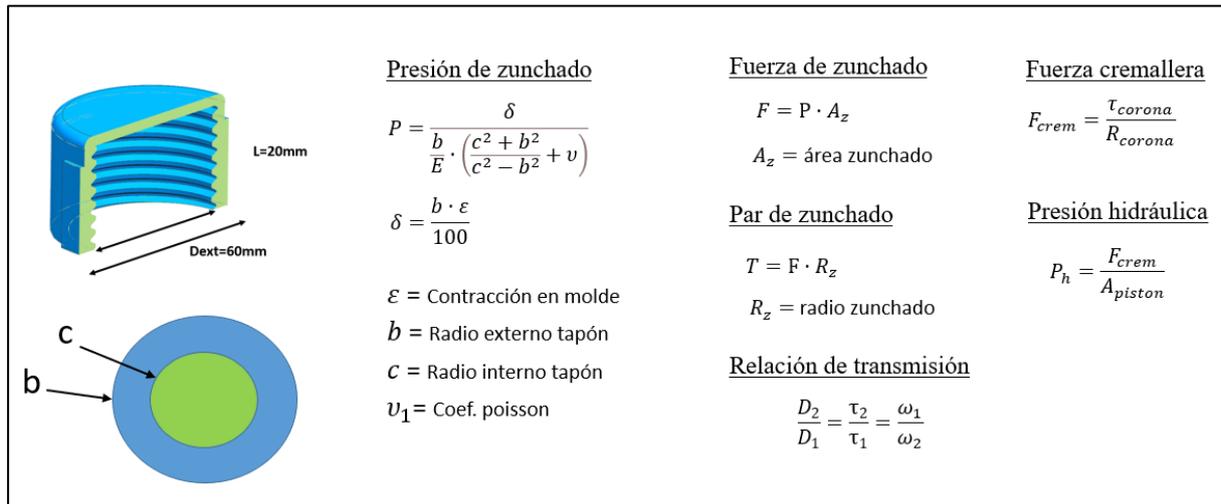
**Tabla 1:** Datos geométricos del sistema de transmisión y de la pieza

$\phi$ corona (mm)	$\phi$ piñón (mm)	$\phi$ pistón (mm)	$\phi$ Externo tapón (mm)	$\phi$ medio rosca (mm)	Paso rosca (mm)	Long. roscada (mm)	Nº tapones Uds
120	60	50	60	54	5	20	2

### 3.2. Resolución del problema a través de Excel

En base a los parámetros geométricos obtenidos en el apartado anterior, y los datos de material que se proporcionan en el guion, se lleva a cabo la programación de la hoja Excel, en la cual se obtiene, en función del diseño de la pieza, características del molde y geometría del sistema de transmisión, todos los resultados relativos a velocidades angulares, pares y fuerzas necesarios, presión hidráulica, y tiempos de expulsión, en función de un determinado caudal del cilindro.

Las fórmulas principales para el cálculo de este sistema mecánico se muestran en la Figura 3. Estas mismas fórmulas son las que se han explicado al estudiantado en las clases de teoría, y que tendrían que utilizar ellos durante la sesión práctica. En este problema, el tapón roscado, enfría dentro del molde, sufriendo una contracción por la que tiende a adherirse al macho roscado ejerciendo una presión. Esta presión es necesario calcularla, en función de la interferencia entre el tapón y el macho roscado, para conocer la fuerza de rozamiento a vencer a través del par aplicado en los piñones del sistema de transmisión. Con este par y la geometría del sistema de transmisión, se podrá calcular todos los parámetros de los distintos elementos del sistema, y conocer los parámetros de trabajo del cilindro hidráulico.



**Figura 3:** Esquema de las fórmulas principales para el sistema mecánico propuesto.

Para este primer cálculo del problema, se desea calcular el tiempo de expulsión que se puede alcanzar con este sistema, si el caudal máximo que puede proporcionar el cilindro hidráulico es de 0.4 (l/s). En la Figura 4 podemos ver la hoja Excel programada, en los que se destacan los resultados obtenidos para el tiempo de expulsión, y se puede apreciar todos los resultados de cada uno de los elementos del sistema mecánico de desenroscado, todo ello en función de los datos de entrada.

DATOS DE ENTRADA					
Datos del material		Datos geometría pieza		Datos molde y Sistema transmisión	
Contracción total del material (%)	2	Paso rosca (mm)	5	Nº de tapones	2
Porcentaje a T <sub>exp</sub> (%)	50	Diametro ext tapon (mm)	60	Diametro de corona (mm)	120
Contracción del material (%)	1	Diametro medio rosca (mm)	54	Diametro de piñon (mm)	60
Modulo Elastico a T <sup>3</sup> exp (MPa)	500	Longitud roscada (mm)	20	Diametro el piston (mm)	50
Coeficiente de poisson	0,4				
Coeficiente de rozamiento	0,2				
RESULTADOS					
Tapón		Cremallera		Corona	
Vsalida (m/s)	0,20	Velocidad (m/s)	0,20	$\omega$ (r.p.m)	32,42
Velocidad tapon (mm/s)	5,40	Fuerza (N)	615,26	Vueltas corona 1	2,00
Tiempo expulsión (s)	3,70	Area del piston (cm2)	19,64	Par en corona(Nmm)	36915,63
Presión de zunchado (Mpa)	0,50	Recorrido (mm)	753,98		
Area zunchado (mm <sup>2</sup> )	3392,93	Cilindro		Piñón	
Fuerza normal (N)	1709,06	Caudal cilindro (l/s)	0,40	$\omega$ (r.p.m)	64,85
Par de zunchado (Nmm)	9228,91	Presión hidráulica (Kg/cm <sup>2</sup> )	3,20	Vueltas piñón	4,00

**Figura 4:** Hoja Excel con la resolución del problema base.

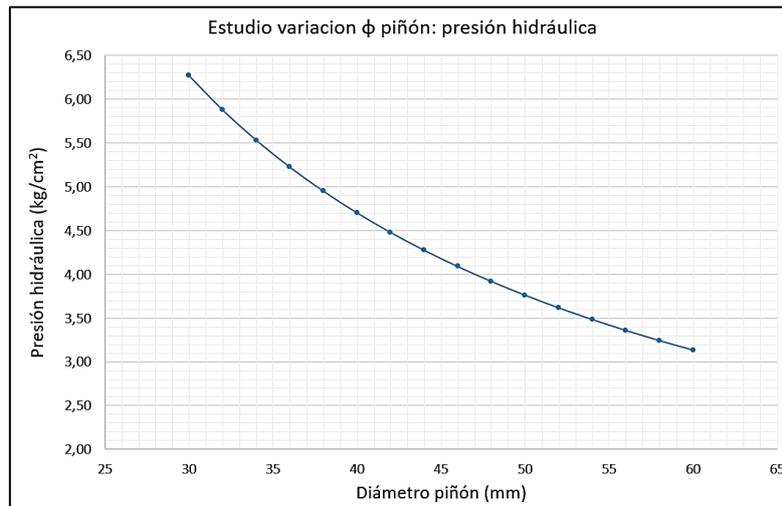
### 3.3. Estudio paramétrico de distintas alternativas de diseño

Tras la programación inicial de la hoja Excel, se cuenta ahora con un simulador del sistema mecánico, donde muy fácilmente podemos variar cualquier parámetro de diseño, y analizar el efecto que tiene en el sistema mecánico, y sus implicaciones de cara al diseño. A continuación, se plantea en este caso, a modo de ejemplo, dos escenarios de rediseño que se podrían plantear al estudiantado, para iterar sobre distintas variables de diseño, y realizar un estudio comparativo sobre el que razonar las implicaciones de estas variaciones de parámetros sobre el sistema:

- 1- Reducir el tiempo de expulsión a 2 segundos, actuando sobre el diámetro del piñón, y evaluar si esto tendría algún efecto relevante sobre el resto del sistema de expulsión, y si sería necesario actuar sobre alguno de los otros elementos.
- 2- Evaluar el efecto que tendría el tiempo de enfriamiento en molde previo a la expulsión sobre la presión hidráulica necesaria, bajo un hipotético caso en que se quisiera aumentar el tiempo de enfriamiento en molde para asegurar una buena calidad dimensional de la pieza tras su expulsión.

Para el primer caso, se ejecuta un análisis paramétrico variando la celda relativa al dimensionado del piñón, y tomando como resultado el tiempo de expulsión, y la presión hidráulica, claramente afectada por el par necesario

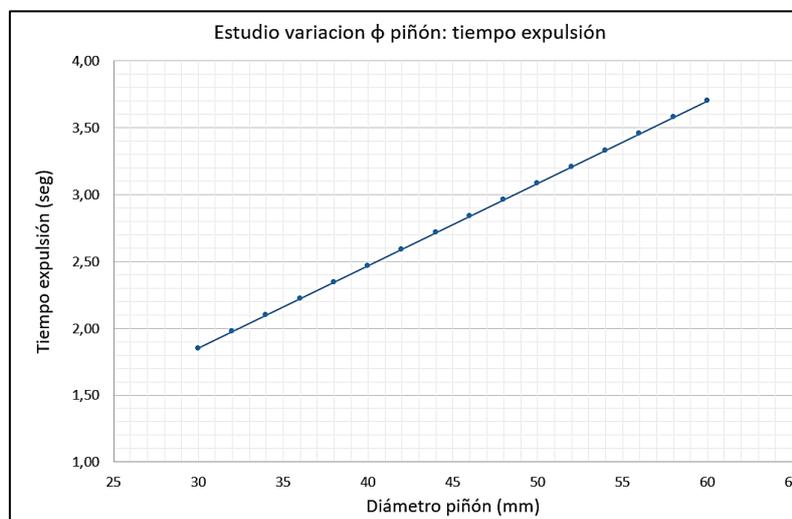
para actuar el piñón, en función de su diámetro. Con los resultados obtenidos se realiza un gráfico de la presión hidráulica en función del diámetro del piñón, mostrado en la Figura 5.



**Figura 5:** Resultados de la variación de la presión hidráulica en función del diámetro del piñón.

Analizando los resultados, se concluye que con un diámetro de piñón de 32 mm se logra un tiempo de expulsión de 2 segundos. Sin embargo, se puede apreciar como la reducción del diámetro del piñón, incrementa el par necesario en la corona para moverlo a las revoluciones necesarias, lo que incrementa a su vez la presión hidráulica necesaria para actuar sobre él, siendo necesario revisar las especificaciones del cilindro, para comprobar si es capaz de suministrar la presión solicitada.

Para el segundo caso de estudio, se vuelve a realizar un análisis paramétrico, variando en esta ocasión los valores de la celda relativa al porcentaje de contracción a temperatura de expulsión, yendo de 0 a 100%, y se obtiene como salida la presión hidráulica en el cilindro. Los resultados obtenidos se representan gráficamente en la Figura 6, mostrando la evolución de la presión hidráulica frente al porcentaje de contracción en molde.



**Figura 6:** Resultados de la variación de la presión hidráulica en función del porcentaje de contracción en molde.

Se comprobó que un aumento en el tiempo de enfriamiento de la pieza dentro del molde, implica una mayor contracción sobre el macho roscado, lo que supone un aumento de la presión de zunchado, y, por lo tanto, el par de desenroscado será mayor cuanto mayor sea el tiempo de enfriamiento de la pieza dentro del molde, aumentando la presión hidráulica necesaria en el cilindro para realizar el desenroscado. La búsqueda de una mayor estabilidad dimensional de la pieza a través de un mayor enfriamiento dentro del molde, supondrá un impacto directo en el aumento de la presión hidráulica, y, por lo tanto, en un cilindro de mayores prestaciones.

Se puede ver como estos dos casos, pueden ser calculados con una inversión de tiempo muy reducida gracias al a hoja Excel previamente programada, y de forma muy cómoda, se puede dedicar la sesión a razonar sobre los resultados obtenidos e interiorizar los conceptos teóricos. Se han presentado dos casos alternativos, pero la

posibilidad de variaciones sobre el problema base son enormes, en función de lo que se quiera plantear al estudiantado para que razonen.

### 3.4. Propuesta de trabajo para los alumnos en sesión práctica

En base a todo el caso de ejemplo mostrado en los apartados anteriores, del que los alumnos disponen a través del video tutorial, se les propone en la sesión práctica resolver el mismo caso sobre un caso real de un molde de inyección con un sistema similar de desenroscado, como el que se muestra en la Figura 7.

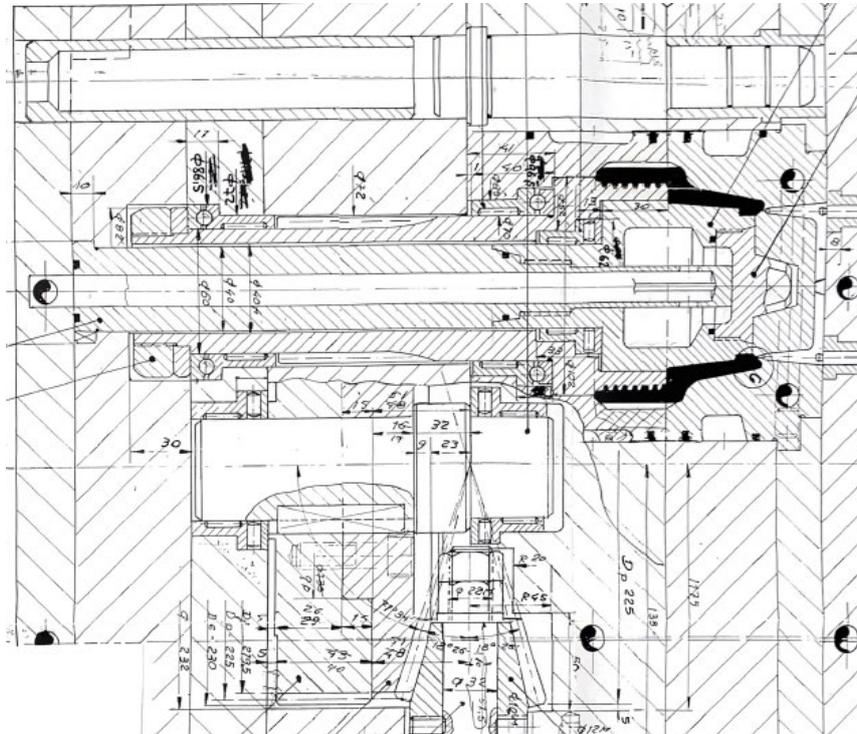


Figura 7: Ejemplos de vistas de planos de moldes proporcionada al estudiantado.

## 4. Conclusiones

La metodología docente presentada en este trabajo resulta una interesante aportación de cara a mejorar la calidad docente en nuestras aulas, y potenciar la adquisición de competencias relevantes para el estudiantado, que se había detectado en los últimos años que los métodos clásicos de resolución de prácticas en ingeniería no conseguían impulsar. Además, se trata de una metodología con un planteamiento muy genérico en lo que al área de conocimiento de ingeniería se refiere, pudiéndose aplicar en perfiles muy heterogéneos y en asignaturas de temáticas muy diferentes.

Tras probar el método en diversas sesiones de prácticas, se ha podido comprobar por un lado como el vídeo tutorial optimizó enormemente el tiempo de iniciación al comienzo de la práctica. El estudiantado es autónomo desde el inicio de la práctica, aumentando el aprovechamiento del tiempo para el análisis del sistema mecánico propuesto, y reduciendo los errores durante la fase de programación de Excel, lo que libera también a los profesores para poder dedicar tiempo en razonar con el estudiantado sobre los cálculos que estaban realizando, dándoles retroalimentación inmediata en la sesión. El feedback recogido por parte del estudiantado fue muy positivo en cuanto a la disponibilidad de este video tutorial previo a la práctica.

En lo relativo a la programación del problema en Excel, mostró en estas sesiones prácticas un gran potencial para la realización de iteraciones de cálculo sobre el mismo problema en clase, ya que, una vez introducidas todas las fórmulas, se puede conocer de forma instantánea el resultado de variar cualquiera de las variables de cálculo del problema, y una vez comprobado que las cuentas están bien introducidas, la posibilidad de fallo en la iteración es nula. Esto ofrece al estudiantado una agilidad enorme a la hora de iterar, con seguridad de que los cálculos de la iteración están bien hechos, lo que les permite dedicar el tiempo en la interpretación de los resultados que están obteniendo en las distintas iteraciones, e interiorizar mejor los conceptos impartidos en las sesiones teóricas.

Por otro lado, el uso de Excel resultó motivante para el estudiantado, ya que salieron del método clásico de resolución con papel y calculadora, usando una herramienta que tienen al alcance en cualquier ordenador, y experimentando el potencial que les ofrece, no solo durante su etapa de aprendizaje en la Universidad, sino también en su futuro profesional, creando sencillas herramientas de cálculo para resolver cualquier problema paramétrico que se les presente. Esto tiene un impacto directo en su adquisición de competencias digitales en la Universidad.

Esta optimización del tiempo del estudiantado durante la sesión práctica, y, por lo tanto, el mayor aprovechamiento de la sesión en el aprendizaje, se tradujo en un claro aumento de la motivación e implicación del estudiantado en la sesión práctica, reflejada tanto en la interacción entre el estudiantado dentro del mismo equipo de la práctica, como con los profesores en el ejercicio de iteración y razonamiento sobre las variantes del problema. La alta disponibilidad de tiempo ayudó mucho a poder retroalimentar a los alumnos durante la sesión acerca de la calidad del razonamiento que estaban haciendo sobre los problemas propuestos, lo que también se reflejó en un mayor interés por parte de los alumnos en el aprendizaje.

En cuanto al impacto de recursos sobre la Universidad y el equipo docente, la utilización de Excel resulta en una inversión nula para la Universidad, ofreciendo una herramienta flexible y fácil de manejar para cualquier equipo docente, perfectamente extrapolable a otras asignaturas de cualquier área de conocimiento. La preparación del video por parte del equipo docente si implicó una mayor carga de trabajo comparado con la preparación del tradicional guion escrito, pero resultó también una herramienta muy útil de cara a formar al estudiantado previamente a la realización de la práctica, reduciendo la carga de trabajo docente en resolver problemas típicos de ejecución de Excel o resolución de la práctica, facilitando a los profesores profundizar con el estudiantado en los conceptos aplicados en la práctica.

Como siguientes pasos, se plantea extender el uso de esta metodología a diversas asignaturas del área, trabajando sobre distintos problemas mecánicos, y planteándolo en otros grados de ingeniería, para seguir validando su heterogeneidad en su aplicación, y fomentar la adquisición por parte del estudiantado de las competencias anteriormente citadas en otras áreas de conocimiento.

## 5. Referencias

- [1] Ministerio de Universidades. Real Decreto 822/2021, e 28 de septiembre, por el que se establece la organización de las enseñanzas universitarias y del procedimiento de aseguramiento de su calidad. Madrid : Ministerio de Universidades, 2021.
- [2] Guerrero, D., Palma, M., La Rosa, G. “Developing competences in engineering students. The case of project management course”. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 112, 832-841 (2014)
- [3] Ministerio de Ciencia e Innovación. “2896 Orden CIN/351/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial”. Madrid : BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, Viernes 20 de febrero de 2009. Núm. 44, Sec. I. Pág. 18145.
- [4] Douglas, E., “Defining and measuring critical thinking in Engineering”, *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 56, 153-159 (2012)
- [5] Lee, J., & Hammer, J., “Gamification in education: What, how, why bother?” *Academic Exchange Quarterly*, Vol. 15 (2), pp. 146-150. (2011)
- [6] Mondeja, D., Zumalacárregui, B., Martín Campos, M., Ferrer, C., “Juegos didácticos: ¿útiles en la Educación Superior?”, *Pedagogía Universitaria*, 2001, Vol. 6, pp. 65-76.
- [7] Hamouda, A.M.S., Tarlochan, F., “Engaging Engineering Students in Active Learning and Critical Thinking through Class Debates”, *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 191, 990-995 (2015)
- [8] Metodologías activas para la formación de competencias. Fernández, A. pp .35-56., s.l. : Educatio siglo XXI,, 2006, Vol. 24.
- [9] Castellanos J.A., Libro Azul de Innovación Docente en la Universidad de Zaragoza. Vicerrectorado de Política Académica. Zaragoza: Universidad de Zaragoza. (2024)
- [10] Eduque, D., *et al.* “Análisis retrospectivo de la aplicación de metodologías activas en la asignatura Criterios de Diseño de Máquinas: Antes, durante y después de la COVID-19”. *Competencias transversales para la formación y la profesionalidad*, pp 39-49. Universidad de Zaragoza. (2024)
- [11] American Psychological Association, Coalition for Psychology in Schools and Education. (2015). “Top 20 principles from psychology for preK–12 teaching and learning”.
- [12] Nair, C.s., Patil, A. Industry vs Universities: Re-engineering Graduate Skills – A Case Study. *European Journal of Engineering Education*. 34(2), pp. 131-139. (2009)
- [13] Obesso, M.M, *et al.* “How do students perceive educators’ digital competence in higher education?”. *Technological Forecasting & Social Change*, 188. (2023)
- [14] Simovic, V, *et al.* “The association of socio-demographic characteristics of university students and the level of their digital entrepreneurial competences”. *Heliyon* 9. (2023)

- 
- [15] Dang, T., *et al.* “Digital competence of lecturers and its impact on student learning value in higher education”. *Heliyon* 10. (2024)
- [16] Bongers, A., *et al.* “Teaching dynamic General equilibrium macroeconomics to undergraduates using a spreadsheet”. *International Review of Economics Education*. 35, 100197. (2020).
- [17] Aliane, N. “Herramienta de Análisis y Diseño de Sistemas de Control Basada en Hojas de Cálculo Excel”. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*. Vol 6, pp 44-50. (2009)
- [18] Gómez-Siurana, A., Font-Escamilla, A. “Spreadsheet to illustrate the application of relaxation methods for multicomponent distillation separations”. *Education for Chemical Engineers*, 45, pp. 161-172. (2023)
- [19] Cossu, R., Awidi, I., Nagy, J. “Critical thinking activities in fluid mechanics – A case study for enhanced student learning and performance”. *Education for Chemical Engineers*, 46, pp. 35-42. (2024)
- [20] Seo, K., *et al.* “Active learning with online video: The impact of learning context on engagement”. *Computers & Education*, 165. (2021)