

## La formación en las asignaturas de Ingeniería usando metodología a distancia: aplicación a la Mecánica

J.C. García Prada<sup>1</sup>, Alejandro Bustos Caballero<sup>1</sup>, M<sup>a</sup>. Lourdes del Castillo Zas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>MAQLAB, Departamento de Mecánica, Universidad Nacional de Educación a Distancia, España. Email:  
[jcgprada@ind.uned.es](mailto:jcgprada@ind.uned.es), [albustos@ind.uned.es](mailto:albustos@ind.uned.es), [mlcastillo@ind.uned.es](mailto:mlcastillo@ind.uned.es)

### Resumen

La docencia en las asignaturas de ingeniería en el formato presencial habitual está utilizando nuevas técnicas y metodologías para la enseñanza-aprendizaje en asignaturas de ciencias y tecnología. Todo ello, en orden a mejorar los resultados obtenidos por el alumnado de ingeniería en su formación en ingeniería. Los recursos tecnológicos más usados son el método del caso, el aprendizaje basado en proyectos, etc. Muchas pruebas se han hecho, pero sigue siendo mayoritario el uso de la fórmula clásica de clases magistrales de teoría seguida del planteamiento y resolución de problemas de diferente dificultad en ingeniería en clase. La importancia de la formación práctica en las asignaturas de ingeniería debe asegurar un buen nivel de prácticas en el laboratorio o en la industria, en su caso. Esta metodología muy habitual en nuestras Escuelas de Ingeniería ha permitido la formación de las últimas generaciones y conseguir los objetivos académicos propuestos en cada asignatura, pero se han detectado importantes y nuevas disfunciones: decremento en la asistencia a clase, disminución de la atención y participación del alumnado en la clase y otras que limitan la mejora continua necesaria para el avance de la ingeniería. Desde el colectivo docente se han utilizado numerosos recursos para dinamizar las clases mediante el incremento del diálogo profesor -alumnado usando la interlocución en clase, el uso de encuestas, inclusión de nuevas pruebas de evaluación continua, etc., pero aún queda un largo camino para lograr la mejora continua en los resultados de aprendizaje en la ingeniería del siglo XXI.

**Palabras clave:** metodología de enseñanza a distancia, Working Model 2D, Mecánica.

### Abstract

Teaching in engineering subjects in the usual face-to-face format is using new teaching-learning techniques and methodologies in science and technology subjects. All of this, in order to improve the results obtained by engineering students in their engineering training. The most used technological resources are the case method, project-based learning, etc. Many tests have been carried out, but the classic formula of master classes on theory followed by the formulation and resolution of problems of varying difficulty in engineering is used. The social class continues to be the majority. The importance of practical training in engineering subjects should ensure a good level of practice in the laboratory or in industry, if applicable. This very common methodology in our Engineering Schools has allowed the training of the latest generations and the achievement of the academic objectives proposed in each subject, but new important dysfunctions have been detected: decreased class attendance, decreased attention and participation of students in the class and others that limit the continuous improvement necessary for the advancement of engineering. Numerous resources have been used by the teaching community to energize classes by increasing teacher-student dialogue through in-class dialogue, the use of surveys, the inclusion of new continuous assessment tests, etc., but there is still a long way to go. to achieve continuity. Improving learning outcomes in 21st century engineering in the modelling and resolution of both theoretical issues and exercises.

**Keywords:** Distance teaching methodology, Working Model 2D, Mechanics.

### 1. Introducción

En este trabajo se presenta el estado actual de la enseñanza de la ingeniería mecánica a nivel universitario en el marco de la educación a distancia, analizando sus bases conceptuales y su evolución, presencia global, metodologías y recursos

educativos y nuevas propuestas de actuación para la mejora del rendimiento académico en las asignaturas de ingeniería.

La enseñanza universitaria presencial de ingeniería, desde hace tiempo, viene renovando e incorporando nuevas técnicas y metodologías de enseñanza-

aprendizaje donde se intenta dar un mayor protagonismo y mejorar la evaluación y valoración de las diversas actividades desarrolladas por el alumnado. Algunas de las tecnologías más utilizadas son: método del caso, aprendizaje basado en proyectos, etc. Pero, hoy en día, en el caso de las enseñanzas técnicas sigue utilizándose la secuencia clásica de clases magistrales (teoría) acompañadas por clases de ejercicios prácticos (problemas) para culminar con las prácticas en el laboratorio (prácticas), en su caso. Esta secuencia es la más usada en la docencia en nuestras escuelas de ingeniería en la universidad presencial y sus resultados son analizados regularmente por las agencias de calidad para propiciar su mejora y renovación metodológica de la enseñanza universitaria. En este formato el equipo docente de cada asignatura impulsa la enseñanza y formación dinamizando al alumnado para lograr los objetivos académicos previstos, pero aun así, se detectan en muchos casos disfunciones, como son: bajada de la asistencia a clase, poca participación del alumnado asistente y esto hace que el docente use recursos para mejorar la docencia y programe las clases para atraer y mantener la atención de la clase mediante las técnicas de diálogo (planteamiento de preguntas a la clase y otras) y usando las últimas técnicas de enseñanza en clase (encuestas interactivas, pruebas de evaluación continua, etc.) con el objetivo de incrementar y mantener la atención del grupo de clase.

Se debe señalar que una de las dificultades que se presenta en la enseñanza presencial (síncrona) en las asignaturas de ingeniería es la clasificación del alumnado en capas de mayor menor actividad que da lugar a un espacio de enseñanza-aprendizaje muy heterogéneo que rompe la dinámica académica y a un bajo rendimiento global de la clase. Lo anterior, se ha venido subsanando con la implantación de grupos reducidos que hagan que los grupos sean lo más homogéneos y activos. La disminución del ratio discente-docente, en el mejor de los casos, permite definir un tamaño de clase de teoría de alrededor de 60 personas y grupos de problemas y laboratorio que se organizan mediante el desdoblamiento por la mitad la clase de teoría, es decir con clases de problemas y de prácticas de laboratorio de 20 a 30 personas. Aun así, la atención que se precisa para una enseñanza de alto rendimiento es limitada por las limitaciones presupuestarias para contratar y cubrir el número de profesores necesarios, en el número y tamaño de los espacios de trabajo, etc.

Es cierto, que en los últimos tiempos las universidades han hecho un gran esfuerzo en la ampliación y mejora tanto de la formación y número de su profesorado como de sus infraestructuras docentes. De todas formas, la tecnología educativa

tiene como reto permanente el aumento del rendimiento del alumnado y la disminución del fracaso en los estudios de ingeniería y es una línea de trabajo de la más alta prioridad para la mejora de la calidad académica.

En el caso de las tecnologías educativas virtuales o no presenciales (asíncrona), la problemática anterior se amplifica notablemente y se utiliza todo un repertorio de recursos multimedia (digitalización) para suplir la falta de un contacto más estrecho entre el profesorado y el alumnado. Es claro que el uso de las tecnologías no presenciales es insuficiente en el caso de las escuelas de ingeniería, y debe ser complementado con un aumento del número de casos prácticos que se encontrarán en la práctica industrial y de la necesaria mejora en la tecnología de la enseñanza a distancia.

## **2. Metodología de enseñanza a distancia, síncrona-asíncrona.**

Existe en la universidad pública española un caso singular de enseñanza semipresencial que, mediante el uso de una metodología propia de Enseñanza a Distancia EaD propone alternativas a la enseñanza no presencial para lograr una enseñanza de calidad. Esta metodología EaD es propia de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).

El uso de la metodología a distancia de la UNED se expone en el artículo del Prof. Artés [1] donde se hace referencia al *Livre blanc sur l'éducation et la formation. Enseigner et apprendre. Vers la société cognitive* [2] donde se señala que “los individuos también deben poder disfrutar del acceso permanente a toda una gama de ofertas de educación y formación mejor orientadas y más claramente identificables, que complementan los conocimientos generales y pueden adquirirse fuera de los sistemas formales”. Debemos recordar que la educación universitaria busca la formación integral del alumnado y la autoorganización de sus actividades para lograr un alto rendimiento en su actividad futura como profesional y lograr la capacidad de dirigir su formación en el transcurso de la vida y, esto último, está íntimamente ligado a la metodología a distancia que da lugar a egresados de una gran madurez social.

La metodología EaD combina técnicas asíncronas con síncronas para lograr un mejor acomodo del alumnado a sus condiciones personales. Esta metodología de enseñanza utiliza para cada asignatura un curso virtual sobre una plataforma educativa que contiene: guía y estructura de la asignatura, contenidos, plan de trabajo, bibliografía y recursos multimedia y se complementa con varias actividades síncronas como: tutorías y convivencias del equipo docente con el alumnado del Centro

Asociado o de Zona, prácticas de laboratorio en los centros y en los departamentos de la universidad particularizados para cada una de las asignaturas y, finalmente, la evaluación de la asignatura tiene como elemento fundamental la realización de prueba presencial o examen final de la asignatura ante un tribunal presencial. Esta metodología a distancia crea un espacio de trabajo en el aprendizaje del alumnado de geometría variable virtual-presencial que permite una amplia discrecionalidad en la organización del estudio de cada asignatura en relación con sus necesidades de aprendizaje. Cada equipo docente define en la guía de la asignatura los conceptos a adquirir, los medios y materiales para adquirirlos y el método de evaluación del aprendizaje mediante pruebas de autoevaluación, pruebas objetivas de evaluación continua del curso, las prácticas presenciales y mediante finalmente una prueba presencial obligatoria presencial.

Otras universidades en Europa con metodología similar a la UNED son: la British Open University, la FernUniversität de Alemania, la Open Universiteit de Holanda, la Universidade Aberta de Portugal que están integradas en la Asociación Europea de Universidades de Enseñanza a Distancia, EADTU. En la región iberoamericana se debe destacar la Asociación Iberoamericana de Educación Superior a Distancia (AIESAD) que incluye universidades de los principales países de la región.

La UNED mediante el IUED (Instituto Universitario de Educación a Distancia) impulsa la formación docente en la metodología EaD capacitándolos en nuevas tecnologías docentes.

La metodología de enseñanza a distancia de la UNED utiliza un conjunto de recursos tanto humanos como de medios para la formación de profesionales capaces de responder a los retos de la actual Sociedad de Conocimiento. Las características de esta metodología [10], las podemos sintetizar en:

- Ofrecer al discente una información concreta y completa de los recursos humanos y de infraestructura disponibles para cada una de las materias de estudio matriculadas que le permita la realización de una planificación semanal de actividades con el objetivo de obtener el mejor rendimiento en la tarea de aprendizaje activo y autónomo.
- Separación temporal y espacial entre profesor y estudiante. Esta separación se elimina en los espacios de guardia presencial en el departamento, tutorías y convivencias en el centro asociado,

asistencia a laboratorios de prácticas y examen final ante tribunal presencial.

- Elaboración y utilización de una gama amplia de recursos o medios con fines educativos, especialmente pensados para el aprendizaje a distancia, que suplen la clase presencial tradicional que se encuentran en los cursos virtuales de cada asignatura.
- Vías de comunicación bilateral y multilateral. La enseñanza presencial se basa en una recepción pasiva de la información en la que el estudiante atiende y toma apuntes, en la metodología a distancia el alumnado junto con los equipos docentes y tutoriales pueden mantener una comunicación en tiempo real o sincrónica. En otros casos, se utiliza comunicación multilateral usando el curso virtual y los medios como la videoconferencia, los foros (que permiten la comunicación sin coincidencia temporal, o carácter asincrónico) o los chats (de carácter sincrónico).
- Sistema de apoyo basado en el concepto de tutoría, o guía al alumno a distancia a lo largo de su proceso de aprendizaje. Además de los profesores de los equipos docentes de los departamentos, responsables de los programas, los contenidos y la evaluación, en los Centros Asociados se tutoriza al alumnado mediante la red de tutores establecida (apoyo, orientación y guía).

La metodología EaD de la UNED aplicada en los grados de ingeniería, y en especial las asignaturas de las Ciencias Mecánicas, se basa en el uso de un curso virtual apoyado en herramientas digitales de última generación donde el alumnado va obteniendo los conceptos teóricos necesarios y su aplicación a una selección de ejercicios de menor a mayor dificultad permitiendo al alumnado adquirir los conocimientos y capacidades de las diferentes asignaturas del programa de ingeniería matriculado. Todo ello apoyado por una red de tutorización presencial en los centros asociados y de Zona a los que está adscrito el alumnado donde el alumnado tiene contacto semanal con el profesor tutor (seleccionado en cada centro de zona entre expertos afines con las asignaturas). El grupo de tutoría de cada asignatura crea un fuerte vínculo de intereses entre el alumnado. Una parte muy importante de esta metodología es la utilización de herramientas de evaluación presencial tanto en la evaluación continua mediante pruebas objetivas como en el examen final ante tribunal presencial.

Es muy importante para culminar el proceso de aprendizaje de manera eficiente, que los laboratorios de las asignaturas se desarrollen en ambientes reales de trabajo en grupos de alumnos y se evalúen sus conocimientos aprendidos en el laboratorio. De esta manera, se ha diseñado que en los primeros cursos se desarrollan las prácticas presencialmente en los laboratorios propios de los centros asociados o de zona bajo supervisión de los equipos docentes de cada asignatura y en los cursos más avanzados se imparten las prácticas en los laboratorios ubicados en los distintos departamentos universitarios en la sede central. Así, se garantiza una formación de calidad y en contacto con las aplicaciones industriales más avanzadas tanto a nivel industrial como de investigación aplicada. También, se logra que el alumnado utilice ese ámbito de presencialidad para fortalecer los grupos de trabajo creados en el entorno del centro asociado como en el curso virtual de la asignatura.

La evaluación de una asignatura de ingeniería con metodología EaD comprende tres fases principales: la evaluación continua del trabajo mediante la realización de ejercicios de autoevaluación, pruebas objetivas en el curso virtual, la evaluación de las prácticas presenciales y culmina con una prueba final presencial ante un tribunal universitario. Es habitual ponderar en un 80% la prueba final presencial, en un 15% la prueba objetiva y en un 5% las prácticas de laboratorio. Es muy importante el informe personalizado por discente del tutor del centro de zona para cerrar la evaluación final de la asignatura.

### **3. Propuestas para la educación de ingeniería usando la Metodología de enseñanza a distancia - EaD.**

La metodología EaD UNED en el ámbito de la ingeniería ha de valerse de una serie de instrumentos pedagógicos apropiados que permitan conseguir los objetivos del aprendizaje y formación [3]. Estos instrumentos se pueden dividir en los grupos siguientes: Material didáctico, Orientación tutorial, Prácticas de laboratorio, Sistema de evaluación.

Nos vamos a centrar en la mejora del material didáctico y de las prácticas de laboratorio y para ello tendremos como referencia las tendencias [4] como las tecnologías de entornos colaborativos, gamificación, aprendizaje automático, realidad aumentada, laboratorios virtuales, etc.

Una de las dificultades mayores del estudio de ingeniería a distancia es mantener actualizada las unidades didácticas para cada asignatura. El alumnado demanda material especialmente diseñado para el estudio a distancia con incorporación de simulaciones interactivas, resoluciones paso a paso de los ejercicios, etc. Los libros de problemas al uso

dan una solución limitada a las necesidades del alumno de la UNED para comprender y visualizar los cálculos y estrategias de resolución de los ejercicios y problemas. Como efecto colateral de la pandemia del 2020, los equipos docentes desarrollaron documentación especial que completara el curso virtual de las asignaturas con ejercicios de desarrollo pormenorizado tanto en el planteamiento de la solución como la discusión de los resultados obtenidos y supliera en lo posible la falta de tutorización presencial en el centro asociado. Como consecuencia de ello, ha habido una demanda agregada de ejercicios donde se introduzcan simulaciones para que el alumnado pueda comprobar los resultados no sólo numéricos sino en ambientes mecánicos interactivos.

Existe una amplia oferta educativa en plataformas que ofrecen formación en ingeniería a distancia en multitud de universidades, pero se ha comprobado que los materiales educativos eran o muy genéricos y limitados. Hay en internet multitud de libros de problemas resueltos con desarrollos escuetos que para el alumnado UNED cubren parcialmente sus necesidades de formación.

Por tanto, se ha desarrollado un proyecto de innovación docente para la mejora y creación de contenidos digitales de ayuda al estudio que integren técnicas de ayuda en los métodos de desarrollo de los problemas como a la simulación y presentación de los cálculos en las asignaturas de ingeniería. El proyecto se ubica en el ámbito de la Ingeniería Mecánica, en particular para las asignaturas de Mecánica. El objetivo de este proyecto se centra en paliar las dificultades que encuentran los alumnos de ingeniería en la UNED para abordar el planteamiento, modelado y la solución de los ejercicios para mejorar el aprendizaje y rendimiento académico.

El proyecto considera varios objetivos que pasamos a enumerar:

PRIMERA: Búsqueda y clasificación de libros de problemas con material digital y multimedia para cada asignatura de interés.

SEGUNDA: Búsqueda y clasificación de herramientas digitales con entornos virtuales para cada asignatura: entorno mecánico, entorno de campos, entorno de ondas, etc. Aunque los alumnos de la UNED tienen acceso a la herramienta MATLAB, aunque no se ha descartado su uso en un futuro, en este momento se han buscado herramientas específicas de acceso abierto o de bajo coste para el alumno que

evite largos procesos de programación por el alumnado.

**TERCERA:** Metodología para el estudio de la teoría y la resolución de los ejercicios que contemple: selección del ámbito teórico en el temario de la asignatura, selección de los principios, teoremas o ecuaciones que pueden aplicarse para la resolución del ejercicio, definición de los marcos de referencia a definir, propuesta de métodos de resolución a aplicar y desarrollo de un conjunto básico de ejercicios para cada asignatura. Los ejercicios propuestos incluirán desde problemas configurables con simulaciones realistas del comportamiento mecánico en estudio como de análisis y caracterización de los campos y ondas en estudio. También, se considerará el desarrollo de ensayos de prácticas de laboratorio que complementen a las prácticas presenciales y sirvan para una posterior comparación de resultados y valoración de errores.

**CUARTA:** Evaluación en el curso virtual de su uso en comparación con los métodos actualmente usados.

En la fase PRIMERA, se analizaron diversas ofertas educativas en plataformas digitales que pudiera ser complementaria a la bibliografía básica de cada asignatura. La 3ª generación de educación a distancia en el s. XXI tiene como referentes las plataformas sobre internet, como son MIT Open Course Ware OCW 2001, MOOC: Massive Open Online Course 2007; COURSERA, MITx, etc. Véase [4-7]

En la mayoría de los casos, se ofrece formación en ingeniería a distancia y se vio que su formación era muy genérica y limitada para los objetivos que nos planteamos. También, se encontró que había una amplia oferta de formación continua para la ingeniería profesional, pero se observó que la formación era muy específica y muchas veces fuera del alcance de los programas universitarios, aunque las técnicas gráficas utilizadas podrían ser usadas como referencia para posteriores desarrollos del proyecto, se ha de destacar las contribuciones del instituto Moebius–Australia, un ejemplo se puede ver en el siguiente [8]. También, debemos mencionar los videos de clase en el MIT del Prof. Walter Lewin [9], como un gran intento de atraer al alumnado universitario a multitud de conceptos de la Física y, en particular, de la Mecánica.

Como resultado de la fase SEGUNDA, después de un amplio análisis de los desarrollos en simulación accesible en abierto y que permita al alumnado a un

coste reducido modelar problemas y simulaciones y le evite tener que acceder a programas de alto coste tanto económico como computacional se concluyó que el software “Working Model 2D” WM 2D podía ser una herramienta para desarrollar el proyecto de innovación docente y además integra la herramienta de simulación en ambientes mecánicos al programa Interactive Physics de Design Simulation Technologies DST. En un futuro, dado que un importante número de universidades ponen a disposición de su alumnado el software de uso general MATLAB, se debería tratar de hacer material digital multimedia que incluyera la programación de aplicaciones con simulaciones completas para asignaturas de cursos universitarios más avanzados. Otras aplicaciones novedosas de educación en ingeniería mecánica se pueden consultar en [11-14].

También, se analizaron varios programas de simulación avanzada de campos y ondas y sus características bajo los operadores diferenciales clásicos. En este caso, se seleccionó la aplicación de Visualis Physics [15] como una buena alternativa a visualizar las características tanto escalares como vectoriales del comportamiento de campos y ondas, en los enlaces se muestran dos ejemplos de interés: [https://store.steampowered.com/app/1870810/Visualis\\_Electromagnetism/](https://store.steampowered.com/app/1870810/Visualis_Electromagnetism/), [https://store.steampowered.com/app/1897570/Visualis\\_Dynamics/](https://store.steampowered.com/app/1897570/Visualis_Dynamics/)

En la fase TERCERA, y como experiencia de la época de pandemia y la aplicación de la plataforma Avex-UNED se usó un nuevo tipo de material para la preparación tanto de teoría como de ejercicios donde se planteaban nuevas cuestiones no habituales, como son:

Metodología de estudio y preparación de la parte de teoría:

- Selección del ámbito teórico en el temario de la asignatura y definición de los marcos de referencia a definir.
- Selección de los principios, teoremas o ecuaciones que se consideran para el desarrollo teórico.
- Metodología de resolución de ejercicios que contemple:
- Selección del ámbito teórico en el temario de la asignatura.
- Selección de los principios, teoremas o ecuaciones que pueden aplicarse para la resolución del ejercicio.
- Definición de los marcos de referencia a definir.

- Propuesta de métodos de resolución a aplicar. En muchos casos, la elección de la metodología puede hacer que la resolución sea más simple o compleja.

En la Tabla 1 se presentan las asignaturas a las que se aplica esta propuesta de desarrollo de ayudas en la preparación de la teoría y en la resolución de ejercicios. En primer lugar, hemos seleccionado las Mecánicas I y II y Campos y ondas (C&O) correspondientes al Grado en Ingeniería Mecánica (GIM) para, posteriormente, continuar con la implantación en los demás grados y llegar hasta la asignatura de máster de Diseño y Diagnóstico de máquinas DDM.

**Tabla 1:** Asignaturas seleccionadas

Asignatura	Estudios	Tipo
Mecánica I y II, C&O, AVM	GIM-Ingeniería Mecánica	Grado
Mecánica, C&O	GIE-Ingeniería Eléctrica	Grado
Mecánica, C&O	GIEIA-Ingeniería electrónica industrial y automática	Grado
Mecánica, C&O	GITI-Ingeniería en Tecnologías Industriales	Grado
Mecánica, C&O	GIEN-Ingeniería de la Energía	Grado
DDM	MS-Ingeniería Industrial	Máster

#### 4. Resultados obtenidos usando la Metodología de enseñanza a distancia en las asignaturas de Mecánica y C&O.

Se han seleccionado las herramientas de desarrollo para usarlas en la generación de las simulaciones en las asignaturas de Mecánica y Campos y Ondas, para ello se utiliza el software WM 2D que engloba la aplicación Interactive Physics DSE y para la visualización interactiva de campos y ondas se seleccionó la aplicación Visualis Physics

Las herramientas anteriores se usan para definir preguntas y respuestas de teoría y ejercicios con sus correspondientes soluciones. Debemos decir que las preguntas de teoría se configuran de manera que no sean un simple desarrollo matemático del concepto teórico basado en ecuaciones, sino que se explique y desarrolle el significado físico asociado que permita la reflexión sobre lo estudiado y se complete con un ejemplo adjuntando gráficos explicativos. Se adjuntan, en la Figura 1, tres preguntas tipo de la asignatura de Mecánica en los grados de la familia de ingeniería industrial. Todo ello, usando las unidades didácticas existentes para cada asignatura.

En el caso de los ejercicios prácticos, se aplica ordenadamente la teoría aprendida: con la selección

del ámbito teórico en el temario de la asignatura, selección de los principios, teoremas o ecuaciones que pueden aplicarse para la resolución del ejercicio, definición de los marcos de referencia a definir, propuesta de algún método de resolución a aplicar y comentar otros posibles. En las Figura 2 y 3, se presentan dos ejercicios desarrollados.

1a. Enuncie el teorema de Huygens y ponga un ejemplo gráfico. (1p)

---

1b. Dadas las ecuaciones

$$I_x \omega_x + (I_z - I_y) \omega_z \omega_y = \Gamma_x$$

$$I_y \omega_y + (I_x - I_z) \omega_x \omega_z = \Gamma_y$$

$$I_z \omega_z + (I_y - I_x) \omega_y \omega_x = \Gamma_z$$

a) Indicar el sistema de referencia en que se miden cada una de las magnitudes.

b) Indicar el significado de cada una de las magnitudes que aparecen en ellas y el significado físico de las ecuaciones. (1p)

---

1c. Dada la ecuación:

$$\vec{R}_O = M (\Delta \vec{\omega} \times \vec{r}_G) - \sum_{i=1}^n \vec{P}_i$$

Indicar el sistema de referencia en que se miden cada una de las magnitudes. Indicar el significado de cada una de las magnitudes que aparecen en ellas y el significado físico de las ecuaciones. (1p)

**Figura 1:** Enunciado de teoría prototipo al que aplicar la metodología de desarrollo de los conceptos teóricos.

Metodología de resolución del primer ejercicio:

- Selección del ámbito teórico en el temario de la asignatura: geometría de masas.
- Selección de los principios, teoremas o ecuaciones que pueden aplicarse para la resolución del ejercicio. El problema lo vamos a modelar usando los conceptos de matriz de inercia calculada en un punto dado de un sólido indeformable, en nuestro caso en el punto medio -O- del alambre.
- Definición de los marcos de referencia a definir: en dicho punto -O- se definirá un sistema de referencia cartesiano OXYZ y se calcularán los momentos áxicos  $I_x$ ,  $I_y$ ,  $I_z$  y los productos de inercia asociados al sistema OXYZ.
- Propuesta de métodos de resolución a aplicar: se propone como primera aproximación la obtención de las direcciones principales (obteniendo los vectores propios de la matriz de inercia). En una segunda aproximación se puede aplicar el momento de inercia axial respecto a un punto en función de sus cosenos directores y buscar los ángulos que maximizan el momento áxico.

Metodología de resolución del segundo ejercicio:



- Selección del ámbito teórico en el temario de la asignatura: cinemática y dinámica del sólido rígido.
- Selección de los principios, teoremas o ecuaciones que pueden aplicarse para la resolución del ejercicio. El problema lo vamos a resolver usando, en primer lugar, el Teorema del Centro de Masas, vamos a considerar la cinemática antes del contacto, después del contacto  $t+$  (deslizamiento) y en el fin del deslizamiento y, a continuación, aplicamos el Teorema del Momento Cinético en el sistema de referencia privilegiado del centro de masas G. Para finalizar, imponiendo la condición cinemática de rodadura pura de una esfera sobre el suelo.
- Definición de los marcos de referencia a definir: en dicho punto -G- se definirá un sistema de referencia cartesiano GXYZ en el centro de masas de la esfera.
- Propuesta de métodos de resolución a aplicar: se estudia la cinemática del sólido rígido en deslizamiento sobre el suelo hasta

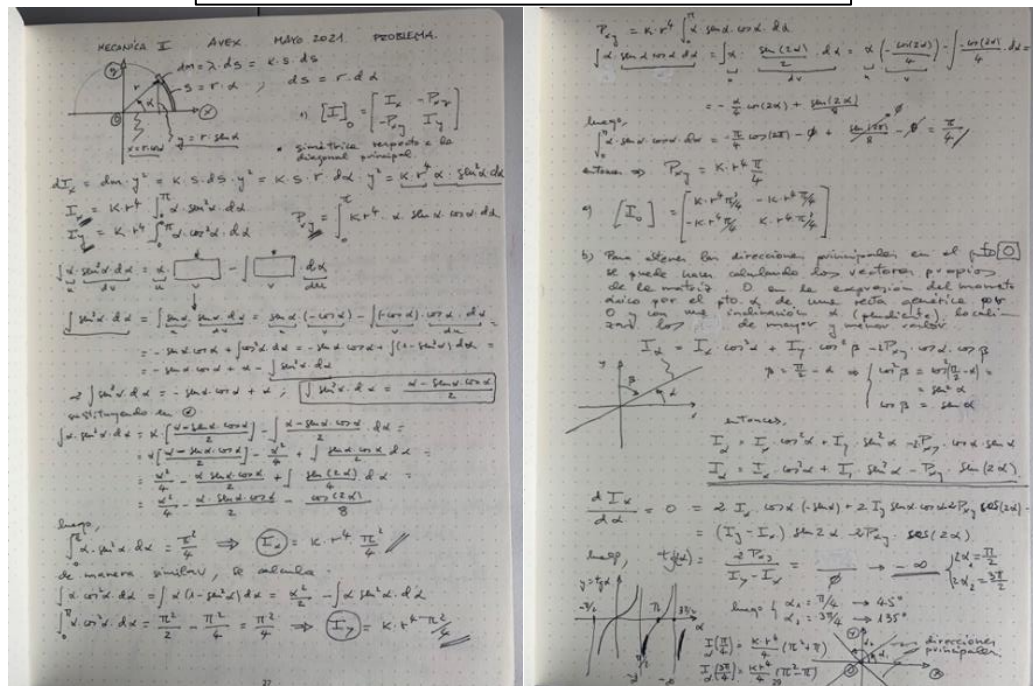
alcanzar el estado de rodadura. En el tránsito de deslizamiento a rodadura se aplican el TCM y TMC.

En las Figuras 2 y 3 se ha utilizado en la propuesta de resolución el uso de nota manuscrita para enfatizar la cercanía docente y marcar distancia con el material didáctico editado.

Se ha hecho especial cuidado en describir la cinemática y dinámica del sólido rígido y sus interacciones. Se ha descrito el intervalo desde deslizamiento hasta rodadura para poder aplicar el concepto de resistencia pasiva debida a la fuerza de rozamiento máximo.

En Mecánica se han seleccionado dos ejemplos de entre los conceptos que se imparten en las asignaturas Mecánica I y Mecánica II para su ampliación y mejora en Working Model 2D. El primero de los ejemplos corresponde a simulación interactiva del problema nº3. El segundo ejemplo representa la simulación de un choque entre una bola en caída libre con velocidad inicial horizontal contra un suelo rugoso y elástico.

2. Un alambre semicircular de radio  $r$  tiene una densidad lineal de masa proporcional a la distancia a uno de sus extremos. Llámese  $k$  a la constante de proporcionalidad.  
Determinar:  
a) Matriz de inercia respecto al centro del alambre.  
b) Direcciones principales y momentos principales de inercia en dicho punto.  
(3,5p)

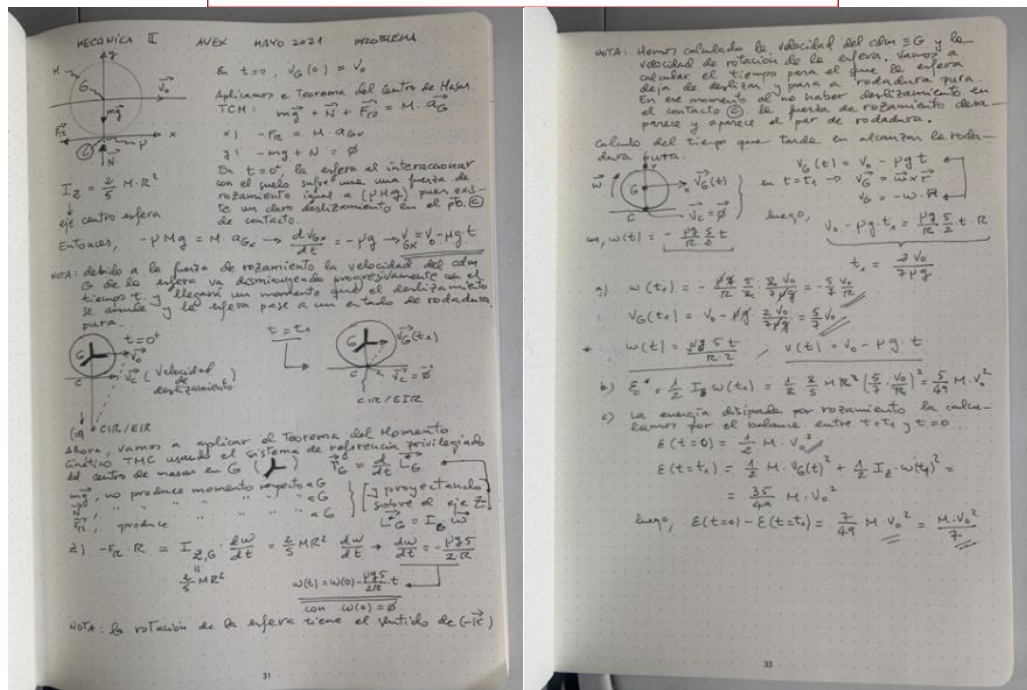


**Figura 2:** Enunciado de ejercicio prototipo de geometría de masas al que se aplica la metodología de planteamiento, modelado y resolución de problemas

3. Una esfera maciza de masa  $m$  y radio  $r$  se coloca verticalmente sobre el suelo y en el instante inicial se le imprime una velocidad horizontal  $v_0$ . El coeficiente de rozamiento con el suelo es  $\mu$ .

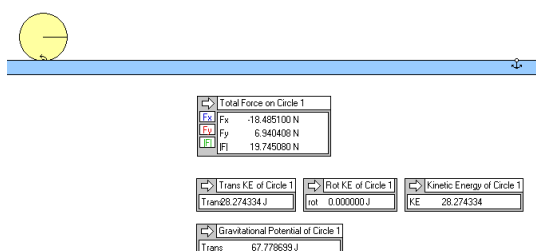
- Aceleración lineal y angular de la esfera.
- Energía cinética interna de la esfera en el momento en que se inicia la rodadura pura de la esfera sobre el suelo.
- Energía disipada por rozamiento hasta el momento de iniciarse la rodadura pura.

Explicar en el cajetín las bases teóricas para realizar los cálculos del problema y en folio aparte los cálculos y desarrollo necesarios. (3,5p)

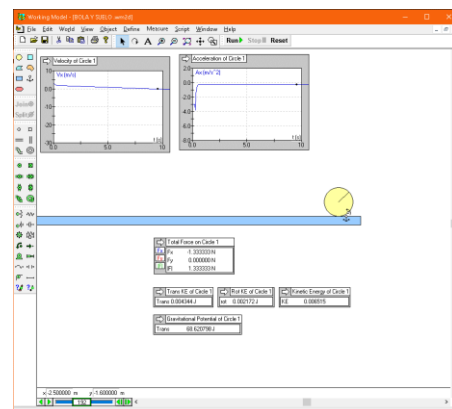


**Figura 3:** Enunciado de ejercicio prototipo de dinámica de sistemas al que se aplica la metodología de planteamiento, modelado y resolución de problemas.

El primer ejemplo permite la simulación de la dinámica de un disco con condiciones iniciales de velocidad al que se le aplica un par en su vínculo con el suelo un par de rozamiento. En la Figura 4 se observa el sistema mecánico y las condiciones iniciales aplicadas previamente a la simulación. En la Figura 5 se representa la evolución final del disco sobre el suelo.



**Figura 4:** Simulación del problema n°3: condiciones iniciales de un disco con velocidad horizontal inicial rodando sobre suelo rugoso.



**Figura 5:** Simulación del problema n°3: disco con velocidad horizontal inicial rodando sobre suelo rugoso.

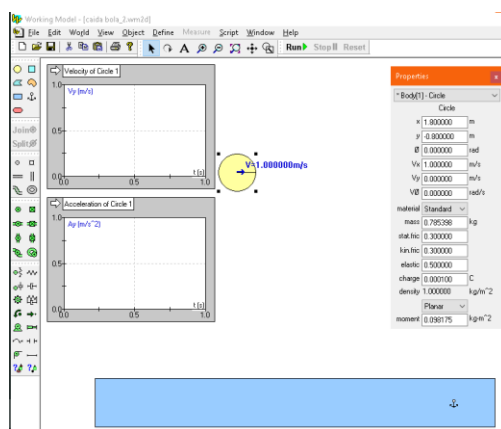
En la Figura 6 y 7, se representa el ejemplo desarrollado de una bola en caída libre sobre un suelo elástico y rugoso: con las condiciones iniciales y su evolución hasta parada. En ambas simulaciones



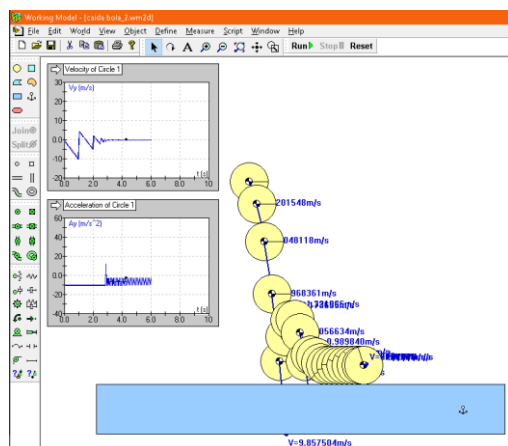
usando Working Model los alumnos pueden visualizar la dinámica, pero también graficar la evolución de parámetros de interés como la posición, velocidad y aceleración angulares, etc.

## 5. Conclusiones

La mejora de los resultados de la aplicación de la metodología de educación a distancia necesita de nuevas herramientas que aumenten la productividad en la formación del alumnado. Uno de los puntos débiles detectados se concreta en la necesidad de mejorar la interacción del alumnado con asignaturas de gran abstracción en el planteamiento mediante el apoyo en el modelado y resolución tanto de preguntas de teoría como de ejercicios.



**Figura 6:** Ejemplo de condiciones iniciales de una bola en caída libre sobre un suelo rugoso y elástico con velocidad horizontal inicial.



**Figura 7:** Ejemplo de simulación de una bola en caída libre sobre un suelo rugoso y elástico con velocidad horizontal inicial.

apoyo en el modelado y resolución tanto de preguntas de teoría como de ejercicios. El proyecto desarrollado ha posibilitado el análisis de multitud de recursos docentes y la selección de

una plataforma de desarrollo basada en Working Model 2D - Interactive Physics que nos ha permitido el modelado y simulación de variados ejercicios de nivel universitario. Los resultados obtenidos se han mostrado en el apartado anterior y se espera que para el curso 25-26 se haya desarrollado un amplio número de ejercicios de teoría y problemas para que sean usados por el alumnado y evaluados para medir la mejora en el rendimiento en su formación en las asignaturas de Mecánica.

Las posibilidades que ofrece la digitalización inteligente para la formación en ingeniería tienen un gran potencial. El uso de estos desarrollos digitales en la metodología a distancia nos hace esperar una importante mejora en el aprendizaje. Su transposición a la enseñanza tradicional es inmediata. Se espera que estas aportaciones hagan que se incremente el interés de las próximas generaciones por la ingeniería y en especial la ingeniería mecánica.

## 6. Agradecimientos

Este trabajo es parte de los Proyectos de Innovación Docente “Desarrollo e implantación de nuevas metodologías docentes en las asignaturas de primer y segundo curso de Mecánica I y Mecánica II utilizando simulación por ordenador para resolución de ejercicios y apoyo a prácticas” y “Desarrollo y explicación de la solución de los ejercicios de Campos y Ondas con la metodología a distancia”, financiados por la convocatoria de “Proyectos de Innovación Docente 2023-2024 para Grupos de Innovación Docente (GID) y para PDI que no participa en GID”.

## 7. Referencias

- [1] M. Artés, J. López (2014). Mechanical Engineering at a Distance: A Review. In: J.C. García-Prada, C. Castejón (eds) New Trends in Educational Activity in the Field of Mechanism and Machine Theory. Mechanisms and Machine Science, vol 19. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-01836-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-01836-2_3).
- [2] CCE. (1995). Livre blanc sur l'éducation et la formation. Enseigner et apprendre. Vers la société cognitive. EPOCE. Luxembourg.
- [3] M. Artés, (2005). “Formación a distancia de ingenieros”, en *Formación de ingenieros. Objetivos, métodos y estrategias*, ICE UPM, Madrid, pp. 391-405.
- [4] OpenCourseWare y Khan hasta Coursera, WeduboX y Udacity”, Educación Virtual, August 2012.

[5] <https://ocw.mit.edu/search/?q=mechanical%20engineering>, (acc. jun. del 23).

[6] <https://www.coursera.org/search?query=mechanical%20engineering&>, (acc. jun. 23).

[7] <https://mitxonline.mit.edu/courses/course-v1:MITxT+8.03x/>, (acc. Jun. 23).

[8] <https://www.mobiusinstitute.com/product/entrenamiento-online-analisis-de-vibraciones-iso-cat/>, (acc. Jun. 23).

[9] <https://www.youtube.com/channel/UCiEHVhV0SBMpP75JbzJShqw>, junio 2023.

[10] L. García Areitio, (1994). Educación a distancia hoy. UNED. Madrid.

[11] B. Kosenok, V. Balyakin, E. Krylov. (2019). Method of Closed Vector Contours for Teaching/Learning MMS. In: J.C. García-Prada, C. Castejón (eds) New Trends in Educational Activity in the Field of Mechanism and Machine Theory . Mechanisms and Machine Science, vol 64. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00108-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00108-7_1)

[12] M. Zamorano, M.J. Gómez, C. Castejón, J.C. García-Prada, (2019). Learning Machine Diagnostics Through Laboratory Experiments. In: J.C. García-Prada, C. Castejón (eds) New Trends in Educational Activity in the Field of Mechanism and Machine Theory . Mechanisms and Machine Science, vol 64. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00108-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00108-7_7)

[13] M. Urizar, V. Petuya, A. Hernández, E. Macho, (2019). Dynamics and Mechanical Vibrations. Complementing the Theory with Virtual Simulation and Experimental Analysis. In: J.C. García-Prada, C. Castejón (eds) New Trends in Educational Activity in the Field of Mechanism and Machine Theory . Mechanisms and Machine Science, vol 64. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00108-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00108-7_8)

[14] A. Bustos, H. Rubio, and J. C. Garcia-Prada (2023), Matlab App for Teaching Planar Mechanism Kinematics, in J. C. García Prada, C. Castejon, and J. I. Pedrero Moya (eds) Trends in Educational Activity in the Field of Mechanism and Machine Theory (2018–2022). Mechanisms and Machine Science, vol 128. Springer Nature Switzerland, doi: 10.1007/978-3-031-25730-8\_18.

[15] “Visualis Physics”. <http://www.visualis-physics.com/en/index.html> (accedido 10 de junio de 2023).