

## PROGRAMA DE LA ASIGNATURA

Curso académico: 2019-2020

Identificación y características de la asignatura																																																																																																																			
Código	401919	Créditos ECTS	6																																																																																																																
Denominación (español)	Simulación en ingeniería de máquinas																																																																																																																		
Denominación (inglés)	Simulation in machine engineering																																																																																																																		
Titulaciones	Máster Universitario en Simulación en Ciencias e Ingeniería																																																																																																																		
Centro	Escuela de Ingenierías Industriales																																																																																																																		
Semestre	2	Carácter	Optativa																																																																																																																
Módulo	Optativas																																																																																																																		
Materia	Simulación en ingeniería																																																																																																																		
Profesor/es																																																																																																																			
Nombre	Despacho	Correo-e	Página web																																																																																																																
Francisco Javier Alonso Sánchez	D0.1	<a href="mailto:fjas@unex.es">fjas@unex.es</a>																																																																																																																	
Francisco Romero Sánchez	D0.16	<a href="mailto:fromsan@unex.es">fromsan@unex.es</a>																																																																																																																	
Área de conocimiento	Ingeniería Mecánica																																																																																																																		
Departamento	Ingeniería Mecánica, Energética y de los Materiales																																																																																																																		
Profesor coordinador (si hay más de uno)	Francisco Romero Sánchez																																																																																																																		
Competencias (ver tabla en <a href="https://goo.gl/BJxiVH">https://goo.gl/BJxiVH</a> )																																																																																																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Competencias Básicas</th> <th>Marcar con una "X"</th> <th>Competencias Generales</th> <th>Marcar con una "X"</th> <th>Competencias Transversales</th> <th>Marcar con una "X"</th> <th>Competencias Específicas</th> <th>Marcar con una "X"</th> <th>Competencias Específicas Optativas</th> <th>Marcar con una "X"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CB6</td> <td>X</td> <td>CG1</td> <td>X</td> <td>CT1</td> <td>X</td> <td>CE1</td> <td></td> <td>CE01</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CB7</td> <td>X</td> <td>CG2</td> <td>X</td> <td>CT2</td> <td>X</td> <td>CE2</td> <td></td> <td>CE02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CB8</td> <td>X</td> <td>CG3</td> <td>X</td> <td>CT3</td> <td>X</td> <td>CE3</td> <td></td> <td>CE03</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CB9</td> <td>X</td> <td>CG4</td> <td>X</td> <td>CT4</td> <td>X</td> <td>CE4</td> <td></td> <td>CE04</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>CB10</td> <td>X</td> <td>CG5</td> <td>X</td> <td>CT5</td> <td>X</td> <td>CE5</td> <td></td> <td>CE05</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>CG6</td> <td>X</td> <td>CT6</td> <td>X</td> <td>CE6</td> <td></td> <td>CE06</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>CG7</td> <td>X</td> <td>CT7</td> <td>X</td> <td>CE7</td> <td></td> <td>CE07</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>CT8</td> <td>X</td> <td>CE8</td> <td></td> <td>CE08</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>CT9</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td>CE09</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>CT10</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Competencias Básicas	Marcar con una "X"	Competencias Generales	Marcar con una "X"	Competencias Transversales	Marcar con una "X"	Competencias Específicas	Marcar con una "X"	Competencias Específicas Optativas	Marcar con una "X"	CB6	X	CG1	X	CT1	X	CE1		CE01		CB7	X	CG2	X	CT2	X	CE2		CE02		CB8	X	CG3	X	CT3	X	CE3		CE03		CB9	X	CG4	X	CT4	X	CE4		CE04	X	CB10	X	CG5	X	CT5	X	CE5		CE05				CG6	X	CT6	X	CE6		CE06	X			CG7	X	CT7	X	CE7		CE07						CT8	X	CE8		CE08						CT9	X			CE09						CT10	X								
Competencias Básicas	Marcar con una "X"	Competencias Generales	Marcar con una "X"	Competencias Transversales	Marcar con una "X"	Competencias Específicas	Marcar con una "X"	Competencias Específicas Optativas	Marcar con una "X"																																																																																																										
CB6	X	CG1	X	CT1	X	CE1		CE01																																																																																																											
CB7	X	CG2	X	CT2	X	CE2		CE02																																																																																																											
CB8	X	CG3	X	CT3	X	CE3		CE03																																																																																																											
CB9	X	CG4	X	CT4	X	CE4		CE04	X																																																																																																										
CB10	X	CG5	X	CT5	X	CE5		CE05																																																																																																											
		CG6	X	CT6	X	CE6		CE06	X																																																																																																										
		CG7	X	CT7	X	CE7		CE07																																																																																																											
				CT8	X	CE8		CE08																																																																																																											
				CT9	X			CE09																																																																																																											
				CT10	X																																																																																																														
Contenidos																																																																																																																			
Breve descripción del contenido																																																																																																																			
Simulación en Ingeniería de Máquinas. Métodos y aplicaciones computacionales en																																																																																																																			

Ingeniería de Máquinas: cinemática computacional, dinámica computacional, respuesta vibratoria y diseño de máquinas y sus componentes. Aplicaciones en el ámbito de la ingeniería industrial (resolución de ejemplos mediante programas comerciales).

### **Temario de la asignatura**

Denominación del tema 1: **Modelización y análisis cinemático y dinámico de sistemas mecánicos y máquinas**

Contenidos del tema 1:

- 1.1. Mecanismos y Máquinas. Tipos de movimiento
- 1.2. Análisis y síntesis de mecanismos
- 1.3. Revisión de análisis cinemático de mecanismos y máquinas
  - 1.3.1. Análisis de velocidades y aceleraciones por métodos analíticos
- 1.4. Revisión de análisis dinámico de mecanismos y máquinas
  - 1.4.1. Análisis Matricial
  - 1.4.2. Equilibrio Dinámico
  - 1.4.3. Método de las Potencias Virtuales
  - 1.4.4. Análisis Dinámico Inverso y Directo
- 1.5.- Introducción al análisis de mecanismos y máquinas por ordenador. Dinámica de sistemas multicuerpo.
- 1.6. Modelización de sistemas mecánicos
  - 1.6.1. Coordenadas independientes y dependientes: pares cinemáticos y ecuaciones de restricción
  - 1.6.2. Coordenadas naturales: caso plano
  - 1.6.3. Coordenadas naturales: caso tridimensional

Actividades prácticas:

Prácticas en sala de ordenadores del tema 1: Resolución de problemas de análisis cinemático y dinámico de sistemas mecánicos sencillos. Modelización de sistemas mecánicos en entornos de cálculo numérico.

Denominación del tema 2: **Cinemática computacional de sistemas mecánicos y máquinas**

Contenidos del tema 2:

- 2.1. Ecuaciones de posición, velocidad y aceleración: existencia de soluciones
- 2.1. Problema de posición o ensamblaje inicial
- 2.2 Problema de los desplazamientos finitos
- 2.3 Problema de velocidad
- 2.4 Problema de aceleración
- 2.5 Simulación cinemática

Actividades prácticas:

Prácticas en sala de ordenadores del tema 2: Resolución de problemas cinemáticos de sistemas mecánicos y máquinas mediante programas comerciales de cálculo numérico y entornos CAE.

Denominación del tema 3: **Dinámica computacional de sistemas mecánicos y máquinas**

Contenidos del tema 3:

- 3.1 Las ecuaciones de la Dinámica
- 3.2 Coordinadas generalizadas. Matriz de masas y vector de fuerzas generalizadas
- 3.3 Formulaciones dinámicas
- 3.5. Cálculo de reacciones en pares cinemáticos
- 3.4 Integración numérica y algoritmos de integración

Actividades prácticas:

Prácticas en sala de ordenadores del tema 3: Resolución de problemas dinámicos de sistemas mecánicos y máquinas mediante programas comerciales de cálculo numérico y entornos CAE.

Denominación del tema 4: **Modelización y simulación de vibraciones de sistemas mecánicos y máquinas**

Contenidos del tema 4:

- 4.1. Introducción.
- 4.2. Modelado de sistemas de varios GDL
- 4.3. Sistemas no amortiguados. Vibraciones libres. Cálculo de frecuencias y modos de vibración. Descomposición modal, Funciones de Respuesta en Frecuencia. Vibración forzada
- 4.4. Sistemas amortiguados
- 4.5. Vibraciones en sistemas continuos unidimensionales
- 4.6. Vibraciones aleatorias
- 4.7. Control de vibraciones

Actividades prácticas:

Prácticas en sala de ordenadores del tema 4: Resolución de problemas de vibraciones de sistemas mecánicos y máquinas mediante programas comerciales de cálculo numérico y entornos CAE.

**Actividades formativas**

Horas de trabajo del alumno por tema		Presencial					No presencial
Tema/Evaluación	Total	GG	S	O	L	TP	EP
1	26	5		6			15
2	36	8		8			20
3	36	8		8			20
4	35	7		8			20
<b>Evaluación del conjunto</b>	17	2					15
<b>Total</b>	<b>150</b>	<b>30</b>		<b>30</b>			<b>90</b>

GG: Grupo Grande (100 estudiantes).

S: Seminario (clases de problemas, seminarios, casos prácticos = 40 estudiantes).

O: Ordenador (prácticas en sala de ordenadores = 30 estudiantes).

L: Laboratorio (prácticas de laboratorio o de campo = 15 estudiantes).

TP: Tutorías programadas (seguimiento docente tipo tutorías ECTS).

EP: Estudio personal, trabajos individuales o en grupo y lectura de bibliografía.

### Metodologías docentes

De entre las metodologías docentes incluidas en el plan de estudios del título, en la presente asignatura se utilizan las siguientes:

<b>Metodologías docentes</b>	<b>Se indican con una "X" las utilizadas</b>
1. Clase magistral. Exposición de contenidos por parte del profesor.	X
2. Sesiones de trabajo utilizando metodología del caso.	X
3. Sesiones de trabajo en el aula para la resolución de ejercicios.	X
4. Desarrollo de prácticas en espacios con equipamiento especializado (laboratorios, aulas de informática, trabajo de campo).	X
5. Visitas técnicas a instalaciones.	X
6. Desarrollo, redacción y análisis, individualmente o en grupo, de trabajos, memorias, ejercicios, problemas, y estudios de caso, sobre contenidos y técnicas, teóricos y prácticos, relacionados con la materia.	X
7. Pruebas, exámenes, defensas de trabajos, prácticas, etc. Pudiendo ser orales o escritas e individuales o en grupo.	X
8. Estudio del alumno. Preparación y análisis individual de textos, casos, problemas, etc.	X
9. Desarrollo de habilidades comunicativas (orales, escritas, multimedia).	X
10. Aprendizaje fuera del aula, basado en la vinculación entre formación académica y experiencias empresariales o profesionales.	X
11. Aprendizaje supervisado y tutelado por el profesor para, a través de la interacción individual entre alumno y tutor, detectar posibles problemas del proceso formativo, conocer los resultados del aprendizaje fuera del escenario del aula y programar los procesos de trabajo del alumno en actividades no presenciales como memorias, trabajo fin de master, preparación de la defensa del mismo, etc.	X

### Resultados de aprendizaje

Entender y ser capaz de simular el comportamiento cinemático y dinámico de un sistema mecánico. Ser capaz de utilizar programas comerciales para la simulación de dinámica de fluidos, el comportamiento mecánico de sistemas estructurales y la cinemática y dinámica computacional de sistemas mecánicos.

### Sistemas de evaluación

#### **Criterios de evaluación**

En la evaluación se valorará ante todo la comprensión de los conceptos y la exposición de los mismos y el juicio crítico de los resultados obtenidos en la simulación, valorándose especialmente el empleo de los términos técnicos empleados en la exposición del temario en las clases. Se valorará por orden de importancia:

CE1 Claridad de conceptos fundamentales de la asignatura.

Relacionado con las competencias CB6-CB10, CG1-CG7, CT1-CT10, CEO4-CEO6.

CE2 Capacidad para realizar y analizar simulaciones de sistemas mecánicos y máquinas.  
Relacionado con las competencias CB7, CB8-CB10, CG6, CT2, CEO4-CEO6.

CE3 La metodología empleada en la resolución de problemas y cuestiones de tipo práctico.  
Relacionado con las competencias CB10, CG1-CG3, CT4-CT6, CEO4-CEO6.

CE4. Dominio de herramientas informáticas relacionadas con la materia.  
Relacionado con las competencias CB6-CB10, CG1-CG3, CG6, CT1-CT10, CEO4-CEO6.

CE5. Capacidad para comunicar y transmitir los conocimientos en un lenguaje técnico apropiado, oral y escrito, dentro del campo de la simulación en ingeniería mecánica  
Relacionado con las competencias CB6-CB10, CT3, CT7, CEO4-CEO6.

CE6. Adquisición de destrezas asociadas a la realización de una simulación de la cinemática y dinámica de un sistema mecánico y/o máquina basada en un caso real de interés en el ámbito de la ingeniería industrial. Relacionado con las competencias CB2, CB5, CG1, CG2, CG6, CT6, CT8-CT10, CEO4-CEO6.

### **Actividades de evaluación**

De entre las actividades de evaluación incluidas en el plan de estudios del título, en la presente asignatura se utilizan las siguientes ponderaciones (en %):

	<b>Rango establecido en la memoria verificada</b>	<b>Convocatoria ordinaria</b>	<b>Convocatoria extraordinaria</b>	<b>Evaluación global (*)</b>
1. Exámenes (Examen final y/o Exámenes parciales acumulativos y/o eliminatorios).	40%–70% <sup>(1)</sup> 0%–40% <sup>(2)</sup> 0% <sup>(3)</sup>	30 %	30 %	40 %
2. Resolución y entrega de actividades (casos, problemas, informes, trabajos, proyectos, etc.), individualmente y/o en grupo.	0%–40% <sup>(1)</sup> 40%–80% <sup>(2)</sup> 0% <sup>(3)</sup>	70 %	70 %	60 %
3. Asistencia y aprovechamiento en las clases, prácticas y otras actividades presenciales.	0%–20% <sup>(1,2)</sup> 0%–20% <sup>(2)</sup> 0% <sup>(3)</sup>	0 %	0 %	---
4. Presentación y defensa de trabajos y memorias propuestos.	0% <sup>(1)</sup> 0% <sup>(2)</sup> 100% <sup>(3)</sup>			

<sup>(1)</sup> Asignaturas de la materia *Fundamentos matemáticos (Métodos numéricos, Ecuaciones diferenciales y Tratamiento estadístico de datos)*.

<sup>(2)</sup> Resto de asignaturas.

<sup>(3)</sup> Trabajo fin de máster.

### **Descripción de las actividades de evaluación**

La evaluación se llevará a cabo a través de:

- **AE1. Examen final:** Prueba escrita consistente en una serie de cuestiones y/o supuestos teóricos-prácticos y/o problemas y casos de simulación de sistemas mecánicos o máquinas, con un peso del 30 % en la calificación final.

- **AE2. Evaluación continua. Resolución y entrega de ejercicios de simulación:** Cada alumno deberá realizar de forma individual varios ejercicios prácticos de simulación computacional de la cinemática y dinámica de sistemas mecánicos o máquinas cuyo número será variable entre 3 y 5 y entregar una memoria de desarrollo y cálculo. Su peso en la calificación final es del 35 %.
- **AE3. Evaluación continua. Resolución y entrega de un proyecto de simulación:** En grupos de 1 a 3 alumnos se realizará la simulación computacional de la cinemática y dinámica de un sistema mecánico o máquina de especial interés en el ámbito de la ingeniería industrial, entregando una memoria de desarrollo y cálculo. Su peso en la calificación final es del 35 %.

La evaluación global tendrá lugar el mismo día asignado al examen final de cada convocatoria por la Subdirección de Ordenación Académica de la E.II.II. Constará de las siguientes pruebas:

- Parte examen final: prueba escrita con cuestiones teórico/prácticas y/o problemas y casos de simulación de sistemas mecánicos o máquinas, con un peso del 40 % en la calificación final.
- Parte de resolución y entrega de actividades: resolución de un ejercicio práctico que consistirá en la realización de la simulación computacional de la cinemática y dinámica de un sistema mecánico o máquina, con un peso del 60 % en la calificación final.

### **Bibliografía**

#### **Bibliografía básica**

1. García de Jalón, J., Bayo, E., Kinematic and Dynamic Simulation of Multibody Systems – The Real-Time Challenge–, Springer-Verlag, 1994.
2. Haug E.J., Computer-Aided Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems, Allyn and Bacon, 1989.
3. Shabana, A.A., Computational Dynamics, Wiley, 2001.
4. Shabana, A.A., Dynamics of Multibody Systems, 2nd ed., Cambridge University Press, 1998.

#### **Bibliografía complementaria**

1. Erdman A.G., Sandor G.N., Mechanism Design: Analysis and Synthesis, vol. I, tercera edición. Prentice-Hall, 1997.
2. Gardner J.F., Simulations of machines using MATLAB and SIMULINK, Thomson, 2001.
3. Mabie H.H, Reinholtz C.F., Mecanismos y Dinámica de Maquinaria. Limusa, 1998.
4. Mathews J.H., Métodos numéricos con MATLAB, 3ª Ed., Prentice Hall, 2003.
5. Santamarina P., Vibraciones mecánicas en Ingeniería, Serv. de Publicaciones UPV, 1998.

### **Otros recursos y materiales docentes complementarios**

<http://www.u.arizona.edu/~pen/ame553/>  
<https://web.archive.org/web/20130725211024/http://mat21.etsii.upm.es/mbs/bookPDFs/b>

ookGjB.htm  
<http://real.uwaterloo.ca/~mbody/>  
<http://lim.ii.udc.es/research.es.html>  
[www.solidworks.es/](http://www.solidworks.es/)  
[simtk.org/home/opensim](http://simtk.org/home/opensim)