



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

PROCESO DE
COORDINACIÓN DE LAS
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ingenieros de
Telecomunicacion

ANX-PR/CL/001-01

GUÍA DE APRENDIZAJE

ASIGNATURA

95000316 - Biomecánica de Medios Continuos

PLAN DE ESTUDIOS

09BM - Grado en Ingeniería Biomedica

CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2020/21 - Segundo semestre

Índice

Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Conocimientos previos recomendados.....	2
4. Competencias y resultados de aprendizaje.....	2
5. Descripción de la asignatura y temario.....	4
6. Cronograma.....	6
7. Actividades y criterios de evaluación.....	8
8. Recursos didácticos.....	11

1. Datos descriptivos

1.1. Datos de la asignatura

Nombre de la asignatura	95000316 - Biomecánica de Medios Continuos
No de créditos	6 ECTS
Carácter	Obligatoria
Curso	Segundo curso
Semestre	Cuarto semestre
Período de impartición	Febrero-Junio
Idioma de impartición	Castellano
Titulación	09BM - Grado en Ingeniería Biomedica
Centro responsable de la titulación	09 - Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Telecomunicacion
Curso académico	2020-21

2. Profesorado

2.1. Profesorado implicado en la docencia

Nombre	Despacho	Correo electrónico	Horario de tutorías *
Pedro Navas Almodovar	Lab Mat	pedro.navas@upm.es	L - 11:00 - 14:00 M - 11:00 - 14:00
Jose Maria Goicolea Ruigomez (Coordinador/a)	E. Caminos T9-7	jose.goicolea@upm.es	L - 12:00 - 14:00 M - 12:00 - 14:00 X - 12:00 - 14:00 Se ruega concertar cita por correo electrónico

Sergio Blanco Ibañez	E. Caminos 1-13	sergio.blanco@upm.es	L - 12:00 - 14:00 M - 12:00 - 14:00 X - 12:00 - 14:00 Se ruega concertar cita por correo electrónico
----------------------	--------------------	----------------------	---

* Las horas de tutoría son orientativas y pueden sufrir modificaciones. Se deberá confirmar los horarios de tutorías con el profesorado.

3. Conocimientos previos recomendados

3.1. Asignaturas previas que se recomienda haber cursado

El plan de estudios Grado en Ingeniería Biomedica no tiene definidas asignaturas previas recomendadas para esta asignatura.

3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

- Ecuaciones diferenciales
- Algebra lineal

4. Competencias y resultados de aprendizaje

4.1. Competencias

CE06 - Comprender y saber calcular el equilibrio y la dinámica de sistemas mecánicos

CE07 - Saber aplicar las ecuaciones elementales de la mecánica de fluidos en el cálculo de sistemas de conducción convencionales macroscópicos y en microfluídica.

CE44 - Conocer las principales propiedades y comportamiento mecánico de los tejidos y sistemas fisiológicos animales, especialmente humanos.

CG01 - Desarrollar las habilidades de aprendizaje necesarias para emprender actividades o estudios posteriores de forma autónoma y con confianza.

CG02 - Aplicar de forma profesional a su trabajo los conocimientos adquiridos.

CG04 - Trabajar de forma adecuada en un laboratorio incluyendo un registro anotado de las actividades y seguridad, manipulación y eliminación de residuos químicos o biológicos.

CG07 - Ser capaz de utilizar el método científico.

CG08 - Entender, aplicar, adaptar y desarrollar herramientas, técnicas y protocolos de experimentación con rigor metodológico comprendiendo las limitaciones que tiene la aproximación experimental.

CG09 - Tener capacidad de descripción, cuantificación, análisis y evaluación de resultados experimentales.

CG10 - Formular, diseñar y elaborar proyectos siendo capaz de liderar grupos de trabajo y buscar en distintas fuentes de información e integrar nuevos conocimientos en su investigación

CG11 - Elaborar y defender argumentos y resolver los problemas de forma efectiva y creativa.

CG15 - Transmitir la información adquirida, las ideas, los problemas y las soluciones de forma oral y escrita en castellano e inglés.

CG16 - Aplicar los sistemas de divulgación de los resultados científicos de manera apropiada y utilizar los principios y medios relacionados con la transferencia de tecnología

4.2. Resultados del aprendizaje

RA209 - Conocer, comprender y analizar las ecuaciones de la elasticidad como relaciones básicas del comportamiento de los sólidos y tejidos biológicos

RA212 - Conocer, comprender y analizar las ecuaciones de balance y principios de conservación que rigen el equilibrio y la dinámica en los medios continuos

RA213 - Comportamiento mecánico de los materiales biológicos

RA208 - Conocer y comprender el concepto de medio continuo, así como comprender y analizar las tensiones como fuerzas internas en el mismo, sabiendo calcular sus distintas componentes y medidas

RA207 - Conocer los tipos de tejidos del cuerpo humano y comprender su comportamiento mecánico, incluyendo los tejidos duros y blandos así como los el flujo sanguíneo

RA210 - Conocer, aplicar y analizar las distribuciones de tensiones y deformaciones en problemas bidimensionales de elasticidad

RA206 - Conocimiento de los fundamentos de la mecánica de los sólidos reales

RA211 - Conocer comprender y analizar los modelos de materiales que dependen de la velocidad de deformación como los sólidos viscoelásticos y los fluidos Newtonianos

RA214 - Conocimiento de la estructura y propiedades y mecánicas más importantes de los tejidos del cuerpo humano, y su relevancia para la función fisiológica y en el desarrollo de patologías.

5. Descripción de la asignatura y temario

5.1. Descripción de la asignatura

Curso de mecánica de medios continuos orientado a la aplicación biomédica. Se desarrolla en primer lugar el concepto de medio continuo y el encaje dentro de dicho modelo del estudio de los tejidos del cuerpo humano y prótesis. A continuación se repasan brevemente los conceptos de álgebra vectorial y tensorial y de cálculo necesarios para la asignatura. Se desarrollan los conceptos de fuerzas en un medio continuo, con especial hincapié en las fuerzas internas o tensiones; la medida del movimiento a través de las deformaciones, con énfasis en las deformaciones infinitesimales pero explicando también las grandes deformaciones; las ecuaciones de comportamiento de los materiales, principalmente la elasticidad; las ecuaciones de balance y conservación, en especial las de equilibrio de tensiones; el comportamiento de los fluidos; las aplicaciones a tejidos blandos y duros humanos, desde el punto de vista conceptual y práctico mediante cálculo por elementos finitos.

5.2. Temario de la asignatura

1. Tema 0: Preliminares matemáticos
2. Tema 1: Concepto de medio continuo y análisis de tensiones
3. Tema 2: Cinemática y análisis de las deformaciones
4. Tema 3: Ecuaciones de la elasticidad
5. Tema 4: Aplicaciones en elasticidad bidimensional
6. Tema 5: Leyes de balance y conservación
7. Tema 6: Fluidos y viscoelasticidad
8. Tema 7: Aplicación para tejidos humanos duros
9. Tema 8: Aplicación para tejidos humanos blandos
10. Tema 9: Aplicación para flujo sanguíneo
11. Prácticas en laboratorio computacional
 - 11.1. P1. Maple: introducción y análisis de tensiones

11.2. P2. Maple: cálculo de tensiones y deformaciones

11.3. P3. Maple: ecuaciones de elasticidad

11.4. P4. Elementos finitos: cálculo de tensiones y deformaciones en huesos

6. Cronograma

6.1. Cronograma de la asignatura *

Sem	Actividad presencial en aula	Actividad presencial en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	Tema 0 Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		Tema 0 Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
2	Tema 0: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		Tema 0: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
3	Tema 1: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		Tema 1: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
4	Tema 1: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	Práctica P1 Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	Tema 1: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Práctica P1 Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	
5	Tema 2: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		Tema 2: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
6	Tema 2: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		Tema 2: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
7	Tema 3: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		Tema 3: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
8	Tema 3: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		Tema 3: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
9	Tema 4: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	Práctica P2 Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	Tema 4: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Práctica P2 Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	Examen intermedio (2 h) EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 02:00
10	Tema 4: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		Tema 4: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
11	Tema 5: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		Tema 5: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	

12	Tema 6: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		Tema 6: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
13	Tema 7: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	Práctica P3 Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	Tema 7: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Práctica P3 Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	
14	Tema 8: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	Práctica P4 Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	Tema 8: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Práctica P4 Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	
15	Tema 9: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		Tema 9: Teoría y ejercicios (4 h) Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
16				Ejercicios de clase durante el curso OT: Otras técnicas evaluativas Evaluación continua Presencial Duración: 01:00 Resolución y entrega de prácticas de laboratorio computacional EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas Evaluación continua Presencial Duración: 01:00
17				Examen final escrito - evaluación continua (4 h) EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 03:30 Examen final escrito - solo final (4 h) EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final Presencial Duración: 04:00 Examen final prácticas - solo final EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas Evaluación sólo prueba final Presencial Duración: 01:00

Para el cálculo de los valores totales, se estima que por cada crédito ECTS el alumno dedicará dependiendo del plan de estudios, entre 26 y 27 horas de trabajo presencial y no presencial.

* El cronograma sigue una planificación teórica de la asignatura y puede sufrir modificaciones durante el curso derivadas de la situación creada por la COVID-19.

7. Actividades y criterios de evaluación

7.1. Actividades de evaluación de la asignatura

7.1.1. Evaluación continua

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
9	Examen intermedio (2 h)	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	25%	3 / 10	CE06 CE44
16	Ejercicios de clase durante el curso	OT: Otras técnicas evaluativas	Presencial	01:00	15%	3 / 10	CE06 CE44
16	Resolución y entrega de prácticas de laboratorio computacional	EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas	Presencial	01:00	10%	5 / 10	CE06 CE44
17	Examen final escrito - evaluación continua (4 h)	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:30	50%	3 / 10	CE07 CG09 CE06 CE44 CG07 CG08 CG15 CG16 CG02 CG04 CG10 CG01 CG11

7.1.2. Evaluación sólo prueba final

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	Examen final escrito - solo final (4 h)	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	04:00	90%	5 / 10	CG07 CG08 CE07 CG09 CE06 CE44 CG15 CG16 CG02 CG04 CG10

							CG01 CG11
17	Examen final prácticas - solo final	EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas	Presencial	01:00	10%	5 / 10	CE07 CE06 CE44 CG02

7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Examen final escrito - solo final (4 h)	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	04:00	90%	5 / 10	
Examen final prácticas - solo final	EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas	Presencial	01:00	10%	5 / 10	

7.2. Criterios de evaluación

Se recomienda muy encarecidamente seguir la asignatura para aprobarla por evaluación continua, no solo porque será más fácil aprobar y obtener buena nota, sino sobre todo porque permite un aprendizaje mucho más eficaz.

El objetivo principal de la evaluación no será el aprendizaje descriptivo o memorístico, sino la comprensión de los conceptos y modelos principales de mecánica de medios continuos en biomedicina por parte del estudiante, así como la capacidad de aplicación de los modelos y ecuaciones para problemas prácticos. Asimismo un objetivo importante será la capacidad de resolver problemas mediante modelos computacionales.

En resumen, la evaluación continua consta de 4 elementos: 1) ejercicios breves de seguimiento de las clases; 2) Prácticas en el laboratorio computacional; 3) examen parcial intermedio; y 4) examen final, que será obligatorio tanto para evaluación continua como para la opción de ?solo examen final?.

1. Los **ejercicios de clase** serán de varios tipos: a) tests de opción múltiple (anunciados con anterioridad), b) ejercicios breves de clase (no anunciados con anterioridad) y c) ejercicios propuestos para realizar en casa. El peso en el total de la nota será del 15% (10% de los tests y 5% del resto de ejercicios). Se requiere una puntuación mínima de 5/15 en esta parte.
2. Las **prácticas** serán 4 a lo largo del curso, en el horario y fechas publicadas, y se realizarán en el aula informática de manera individual o en grupos de 2 alumnos. Se deberá responder una cuestión breve al

final de cada práctica que servirá para puntuar su aprovechamiento. El peso en el total de la nota será del 10%. Se requiere una puntuación mínima de 5/10 en esta parte.

3. El **examen parcial**, programado y anunciado con antelación, constará de un test de opción múltiple y dos problemas. El peso en el total de la nota será del 25%. Se requiere una puntuación mínima de 3/10 en esta parte.
4. El **examen final**, que deberá realizarse en todo caso (tanto para evaluación continua como para solo examen final). Constará de un test de opción múltiple y tres problemas. El peso en el total de la nota será del 50%. Se requerirá una nota mínima de 3 sobre 10 en este examen final para poder aprobar mediante evaluación continua.

Para los estudiantes que sigan la **evaluación continua**, en cualquier caso se calculará también la nota correspondiente únicamente al examen final ordinario, y se les asignará la más favorable de las dos opciones: evaluación continua con examen final o solo el examen final. La evaluación continua no podrá rebajar la nota del alumno en relación a la del examen final: en el caso de que la nota obtenida por evaluación continua ponderada fuese inferior a la del examen final como prueba única, se considerará esta última como nota del curso. En consecuencia, los alumnos que deseen ser evaluados mediante un único examen final en cumplimiento de la Normativa de la Universidad Politécnica de Madrid no necesitarán hacer ninguna solicitud especial ni renunciar a la evaluación continua, bastará que acudan a dicho examen final. En el caso de no alcanzar la nota mínima establecida en el examen final la nota que figurará en el acta no podrá superar un 4,5/10.

Para la evaluación mediante "**solo examen final**" (aunque como se ha dicho no se recomienda), constará de dos partes: un examen escrito por el 90% de la nota y las prácticas realizadas durante el curso (10%). En caso de no aprobar, la nota de prácticas se guardará para convocatorias posteriores. Aunque resulta imposible repetir todas las prácticas con ocasión de la fecha del examen final, se permitirá en casos excepcionales y debidamente justificados la repetición mediante un examen de prácticas. Este mismo criterio aplicará al examen final extraordinario.

Para la evaluación mediante solo prueba final (convocatoria ordinaria o extraordinaria), se consideran dos elementos:

1. Las **prácticas** realizadas durante el curso, con un peso del 10% de la nota.
2. el **examen final escrito**, con un peso del 90% de la nota; se requiere un mínimo de 5/10 en este examen para aprobar. En caso de no obtener este mínimo se computará como nota final solamente la nota de este examen final, sin sumar la nota de prácticas.

8. Recursos didácticos

8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Libro Oomens et al	Bibliografía	Biomechanics. Concepts and computation. C.W.J. Oomens, M. Brekelmans y F. Baaijens. Cambridge University Press. 2009
Libro Epstein	Bibliografía	The elements of continuum biomechanics. M. Epstein. John Wiley & Sons. 2012
Libro Oliver	Bibliografía	Oliver, X. y Agelet de Saracíbar, C. "Mecánica de medios continuos para ingenieros", ediciones UPC, Barcelona 2005
Lab. computacional	Equipamiento	Aula HP
FE-Bio	Recursos web	http://www.febio.org
Apuntes de clase	Recursos web	sitio moodle de asignatura: https://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales/course/view.php?id=4503