

# Mecánica:

## Desarrollo docente y programa del Curso

DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA DE ESTRUCTURAS  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Curso 2002-2003

### 1. Clases

Se impartirán 5 horas de clase semanales, 3 de *teoría* y 2 de *prácticas*, en tres grupos, como se indica en el cuadro siguiente:

<i>Grupo</i>	<i>Alumnos<sup>a</sup></i>	<i>Profesor de teoría</i>	<i>Aula</i>	<i>Profesor de prácticas</i>	<i>Aula</i>
A	G–M	J.C. García Orden, J.M. Goicolea	22	A. Mtez. Reyes	22
B	A–F	J.M. Navas	23	J.M. Navas	23
C	N–Z	F. Mtez. Cutillas, F. Gabaldón	19	A. Mtez. Reyes, J.J. Arribas	19

<sup>a</sup>cuya inicial del apellido esté entre las letras dadas, ambas inclusive (asignación realizada por la jefatura de estudios de la escuela)

*Los alumnos sólo podrán asistir al grupo asignado a cada uno.* En caso de desear un cambio de grupo, deberán solicitarlo a la secretaria de la escuela. Se resume a continuación el horario para cada uno de los grupos (el subíndice P indica prácticas):

<i>hora</i>	<i>Lunes</i>	<i>Martes</i>	<i>Miércoles</i>	<i>Jueves</i>	<i>Viernes</i>
8:30				A <sub>P</sub>	A <sub>P</sub>
9:30					B
10:45		A	B <sub>P</sub>	B	B
11:45			A; B <sub>P</sub>		
12:45			A		
15:30					C <sub>P</sub>
16:30					C <sub>P</sub>
18:30	C	C			
19:30	C				

En las clases de *teoría* se desarrollará el temario de la asignatura (apartado 6). Asimismo se realizarán ejercicios básicos de aplicación, evitando un enfoque puramente teórico.

En las clases de *prácticas* se resolverán 20 prácticas, de 5 problemas cada una (apartado 7). Se entregarán por anticipado los enunciados en el servicio de publicaciones, con objeto de que los alumnos los intenten resolver antes por su cuenta. Durante la clase el profesor desarrollará los ejercicios y resolverá las dudas surgidas, dentro del tiempo disponible. Asimismo en algunas de estas clases se podrán proponer *problemas puntuables* o *ejercicios prácticos breves*, que los alumnos deberán resolver durante la clase. Estos ejercicios se valorarán para el aprobado por curso, de la forma que se detalla en el apartado 4.2.

El contenido de la asignatura se resume en el siguiente cuadro, clasificado por bloques temáticos. En cada bloque se especifican los números de temas o capítulos del programa de la asignatura, que se detalla en el apartado 6.

BLOQUE	Temas	Horas teoría	Horas prácticas	Horas totales
I Axiomática y Principios	1,2	6	6	12
II Cinemática	4	6	5	11
III Dinámica de Sistemas	5,6,8	15	9	24
IV Dinámica Analítica	7,13	10	8	18
V Dinámica Sólido Rígido	9,10,11	20	12	32
VI Oscilaciones lineales	3,12	11	6	17
VII Estática	14,15	12	9	21
TOTAL		80	55	135

Durante el primer cuatrimestre (parciales 1.º y 2.º) se impartirán los temas del 1 al 8. Los temas del 9 al 15 se impartirán durante el segundo cuatrimestre (parciales 3.º y 4.º).

## 2. Bibliografía

Se recomienda que los alumnos tomen apuntes de las explicaciones impartidas en clase. Adicionalmente, como textos de la asignatura podrán emplear los siguientes:

- *Mecánica* (J.M. Goicolea, 2001). Servicio de publicaciones. Apuntes de teoría ceñidos al programa del curso.
- *Mecánica teórica de los sistemas de sólidos rígidos* (J.A. Fernández Palacios, 1989). Contiene ejercicios y material adicional para ampliar el estudio.

Como textos y material complementario de consulta se recomiendan:

- *Problemas resueltos de mecánica* (problemas de examen y de prácticas puntuables, disponibles en internet: <http://w3.mecanica.upm.es/mecanica.html>) (equipo de profesores de la cátedra).
- *Curso de Mecánica Racional. I Cinemática y Estática; II Dinámica*. M. Prieto Alberca, ed. ADI (1992), Madrid.
- *Dinámica clásica de las partículas y sistemas* (J.B. Marion). Ed. Reverté, 1984.
- *Mecánica clásica, 2.ª ed.* (H. Goldstein). Ed. Reverté, 1987.

### 3. Seminarios

Se ofrecerá la posibilidad de realizar, de forma voluntaria, un seminario sobre *Mecánica Computacional*. El objetivo es desarrollar, mediante modelos de cálculo por ordenador avanzados (programa MAPLE), algunas aplicaciones similares a las estudiadas en la asignatura, así como familiarizarse con los ordenadores dentro del ámbito de la mecánica aplicada.

El seminario constará de dos sesiones, para las cuales se entregará la documentación correspondiente. Después de la primera sesión se propondrá un ejercicio práctico que deberá ser superado para pasar a la siguiente fase. Después de la segunda sesión se propondrá a cada alumno un trabajo práctico tutorado que servirá para la calificación final.

El profesor encargado del seminario será D. Juan José Arribas ([jjja@mecanica.upm.es](mailto:jjja@mecanica.upm.es)), al que se deberán dirigir para cualquier consulta.

Para realizar el seminario será necesario poseer los conocimientos básicos imprescindibles para el uso de ordenadores personales. Se publicará durante las primeras semanas del curso en el tablón de anuncios el plazo y procedimiento de inscripción al seminario.

La valoración del seminario se traducirá en una puntuación complementaria que se añadirá a las notas por curso o de los exámenes finales en las condiciones descritas en los apartados 4.2 y 4.3. La puntuación obtenida de esta manera se guarda indefinidamente para otras convocatorias.

### 4. Evaluación

#### 4.1. Cuestiones Generales

La asignatura podrá aprobarse bien por curso (4 exámenes parciales), bien en los exámenes finales ordinarios de Junio o extraordinarios de Septiembre o Febrero.

Los exámenes constarán de un número variable de ejercicios, de naturaleza teórico-práctica o práctica. Los ejercicios teórico-prácticos consistirán en preguntas breves relacionadas con conceptos o métodos básicos de la mecánica y aplicaciones inmediatas de los mismos. No se pedirá en ningún caso una exposición teórica extensa ni cuestiones que requieran un aprendizaje memorístico. En los ejercicios prácticos se permitirá consultar los apuntes publicados de teoría o el libro de texto. Esto no será posible en los ejercicios teórico-prácticos por razones obvias.

#### 4.2. Aprobado por curso; Exámenes parciales

Para el aprobado por curso se contarán los puntos obtenidos en los exámenes parciales ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$ ), así como la puntuación adicional por el trabajo realizado durante el curso ( $P_{\text{curso}}$ ) que resulta de los problemas puntuables y ejercicios prácticos realizados en clase ( $P_{\text{prob}}$ ) y la puntuación del seminario ( $P_{\text{sem}}$ ). Los parciales se realizarán en las fechas siguientes<sup>1</sup>:

- 1.º parcial: 23 de noviembre de 2002 (sábado) a las 10:00 h.
- 2.º parcial: 21 de enero de 2003 (martes) a las 9:00 h.  
(simultáneamente con el final de febrero)

---

<sup>1</sup>Información extraída de la guía del alumno

- 3.º parcial: 29 de marzo de 2003 (sábado) a las 10:00 h.
- 4.º parcial: 6 de junio de 2003 (viernes) a las 8:30 h.  
(simultáneamente con el final de junio<sup>2</sup>)

Cada examen parcial durará entre 2 y 3 horas, y se valorará sobre 25 puntos. Para realizar el 2.º parcial será condición necesaria haber realizado el 1.º, aunque no se exigirá en este ninguna nota mínima. Para realizar el 3.º parcial se exigirá un mínimo de 15 puntos entre los dos primeros. Para acudir al 4.º y último examen parcial, se exigirá un mínimo de 32 puntos entre los tres anteriores. Además, para aprobar por curso será necesario obtener un mínimo de 7 puntos en cada uno de los parciales 3.º y 4.º. El alumno que incumpla alguna de estas condiciones deberá examinarse del examen final completo en junio (apartado 4.3).

El seguimiento del trabajo de los alumnos durante el curso se realizará, dentro de cada grupo, de dos maneras. En primer lugar, mediante breves controles prácticos en clase (15 min – 30 min de duración). En segundo lugar, a través de problemas puntuables de prácticas (60 min), al menos 2 en cada cuatrimestre y que se realizarán *sin previo anuncio*. Estos problemas deberán realizarse y entregarse *obligatoriamente en la fecha y en el grupo que corresponda a cada alumno*.

La evaluación del trabajo del curso podrá suponer en su conjunto una puntuación complementaria máxima  $P_{\text{prob}} \leq 0,6$ , que se añadirá a las notas de los parciales en el cómputo final (1). Para poder contar con esta puntuación adicional ( $P_{\text{prob}}$ ) será necesario haber realizado al menos 3 ejercicios de los 4 propuestos en el curso. Por otra parte, el seminario supondrá otra puntuación adicional  $P_{\text{sem}} \leq 0,4$ . En cualquier caso, para el aprobado por curso deberá obtenerse al menos un total de 44 puntos entre los cuatro parciales. Esto implica que, de la máxima puntuación complementaria que teóricamente podría obtenerse (1,0 ptos.), tan sólo sirven para aprobar un máximo de 0,6 puntos.

En resumen, la nota por curso (sobre 10) se obtendrá según la siguiente fórmula:

$$N_c = \min \left( \frac{1}{10} \sum_{i=1}^4 P_i + P_{\text{curso}}, 10 \right) \quad (1)$$

$$P_{\text{curso}} = P_{\text{prob}} + P_{\text{sem}}$$

### 4.3. Exámenes finales

Los exámenes finales se realizarán en las fechas siguientes<sup>3 4</sup>:

- Examen final ordinario: 6 de junio de 2003 (viernes) a las 8:30 h.  
(simultáneamente con el 4.º parcial)
- Examen final extraordinario: 21 de enero de 2003 (martes) a las 9:00 h.  
(simultáneamente con el 2.º parcial)
- Examen final extraordinario: 8 de Septiembre de 2003 (lunes) a las 9:00 h.

---

<sup>2</sup> La realización del 4.º parcial, al coincidir en fecha con el final de junio, implicará figurar como «presentado» en la convocatoria de junio.

<sup>3</sup>De las tres convocatorias posibles, según la normativa en vigor en la UPM, sólo se podrá acudir a un máximo de dos. En ningún caso será posible eludir esta norma.

<sup>4</sup>Extraídas de la guía del alumno

La puntuación del examen final será sobre 45 puntos ( $P_f \leq 45$ ). Consistirá en un ejercicio teórico-práctico (15 puntos) y 2-3 ejercicios prácticos (30 puntos). A la nota del final se agregará la nota obtenida en el seminario, en su caso. (La puntuación del seminario se conserva indefinidamente para otras convocatorias.) En resumen, se calculará según la fórmula:

$$N_f = \min \left( \frac{P_f}{4,5} + P_{\text{sem}}, 10 \right) \quad (2)$$

(En los exámenes finales no se tendrá en cuenta la puntuación  $P_{\text{prob}}$  que pudiera haberse obtenido durante el curso en los problemas puntuables; ésta valdrá sólo para el aprobado por curso mediante los exámenes parciales.)

Los alumnos que tengan una puntuación en la primera mitad de la asignatura  $P_1 + P_2 \geq 25$  y no obtengan en el tercer parcial la nota mínima para acudir al cuarto parcial podrán elegir hacer un examen especial en junio únicamente sobre la segunda mitad de la asignatura. Análogamente, los alumnos que, teniendo los dos parciales de un cuatrimestre aprobados ( $P_1 + P_2 \geq 25$  ó  $P_3 + P_4 \geq 25$ ), por cualquier motivo no consigan aprobar por curso en junio, para el examen de septiembre siguiente se considerará que tienen dicho cuatrimestre «liberado». En consecuencia, podrán realizar en septiembre un examen especial únicamente sobre el cuatrimestre que tienen pendiente. En cualquiera de los casos anteriores, el criterio de puntuación para el aprobado final será el mismo que por curso (1). Alternativamente, podrán elegir si lo prefieren realizar el final completo.

Estos cuatrimestres «liberados» ya no serán guardados, en caso que no se apruebe en septiembre, ni para febrero ni para cursos posteriores, debiendo examinarse en este caso de toda la asignatura.

Al realizarse el examen final extraordinario de febrero simultáneamente con el segundo parcial, los alumnos que realicen dicho examen de febrero y suspendan podrán solicitar que les sea considerada la parte correspondiente como sustitutiva del segundo parcial (típicamente 3 ejercicios, sobre 25 puntos). Esta nota pasará a considerarse entonces de igual manera que el parcial  $P_2$  en el apartado 4.2, debiendo obtener entre los dos primeros parciales al menos 15 puntos para poder seguir por curso y realizar el 3.º parcial.

#### 4.4. Publicación de Notas, Soluciones y Revisiones

Las notas de los exámenes se publicarán primeramente en las páginas web de la asignatura <http://w3.mecanica.upm.es/mecanica.html>, y a continuación en el tablón de anuncios.

Con posterioridad a cada examen, se publicarán las soluciones de los ejercicios y se dejará una copia en el servicio de publicaciones. Los alumnos podrán solicitar revisión de la corrección para los ejercicios en los que estimen que no ha sido correcta. Las solicitudes se realizarán por escrito en el plazo y modo que se publicará con el resultado del examen, especificando los ejercicios que desean se les revise y una justificación precisa del motivo de la solicitud, a la vista de las soluciones publicadas. Los profesores de la cátedra realizarán una primera revisión sin presencia del alumno, al cabo de la cual se publicará la resolución de la misma por escrito, fijándose asimismo un día para atender personalmente a los alumnos que sigan disconformes con dicha revisión o deseen consultar su ejercicio con el corrector.

## 5. Tutorías y Consultas

### 5.1. Internet

La información de la asignatura, incluyendo estas normas, el programa, los problemas de prácticas y los ejercicios resueltos de los exámenes están disponibles en internet:

<http://w3.mecanica.upm.es/mecanica.html>

Los alumnos que lo deseen pueden consultar estas páginas y enviar preguntas, comentarios o sugerencias por correo electrónico.

### 5.2. Tutorías

<i>Profesor</i>	<i>Email</i>	<i>día</i>	<i>horas</i>
Juan José Arribas Montejo	<a href="mailto:jja@mecanica.upm.es">jja@mecanica.upm.es</a>	Lunes Martes Miércoles	16:00 a 18:00 16:00 a 18:00 16:00 a 18:00
Felipe Gabaldón Castillo	<a href="mailto:gabaldon@mecanica.upm.es">gabaldon@mecanica.upm.es</a>	Lunes Martes	16:00 a 20:00 16:00 a 18:00
Juan Carlos García Orden	<a href="mailto:jcgarcia@mecanica.upm.es">jcgarcia@mecanica.upm.es</a>	Jueves Viernes	9:30 a 13:30 9:30 a 11:30
Jose M. <sup>a</sup> Goicolea Ruigómez	<a href="mailto:goicolea@mecanica.upm.es">goicolea@mecanica.upm.es</a>	Jueves Viernes	12:00 a 14:00 9:30 a 13:30
Francisco Martínez Cutillas	<a href="mailto:fmartinez@mecanica.upm.es">fmartinez@mecanica.upm.es</a>	Lunes Martes	16:00 a 18:30 16:00 a 18:30 19:30 a 20:30
Antonio Martínez Reyes		Lunes Martes Viernes	16:30 a 18:30 16:30 a 18:30 17:30 a 19:30
Jose M. <sup>a</sup> Navas Borrego	<a href="mailto:jmnavas@ciccp.es">jmnavas@ciccp.es</a>	Jueves Jueves Viernes	8:30 a 10:30 11:45 a 13:45 11:45 a 13:45
Ignacio Romero Olleros	<a href="mailto:iromero@mecanica.upm.es">iromero@mecanica.upm.es</a>	Lunes Viernes	9:00 a 12:00 9:00 a 12:00

## 6. Programa de la asignatura de Mecánica

### 6.1. Objetivos docentes

- Conocer y aplicar los teoremas generales y métodos de la dinámica de sistemas mecánicos (cantidad de movimiento, momento cinético, energía, trabajos virtuales y D'Alembert, sistema del centro de masa, ...)
- Conocer y aplicar los métodos de la cinemática para descripción del movimiento de sistemas y sólidos, así como para el cálculo de las magnitudes cinéticas.
- Conocer y aplicar los métodos de análisis dinámico y de pequeñas oscilaciones en sistemas con uno o varios grados de libertad.
- Conocer y aplicar los métodos de la cinemática y de la dinámica de los sólidos rígidos, en 2 y 3 dimensiones.
- Conocer y aplicar los métodos de la dinámica analítica de Lagrange y Hamilton.
- Conocer y aplicar los métodos de la estática en sistemas generales, ensamblajes de piezas rígidas e hilos.
- Desarrollar una capacidad de análisis aplicando los modelos matemáticos de la mecánica a la resolución de problemas prácticos.

### 6.2. Temario

Para cada tema se indica entre paréntesis las horas de clase de teoría que se dedicarán al mismo.

**1. Principios de la Mecánica (2h)** La causalidad determinista; Sistemas de referencia; Espacio y tiempo; Masa y Fuerza; Principio de la relatividad de Galileo; Leyes de Newton; Ley de la gravitación universal; Masa gravitatoria y masa inerte.

**2. Dinámica del punto material (4h)** Teoremas de la cantidad de movimiento, momento cinético, y energía cinética; Expresiones de la velocidad y aceleración en distintas coordenadas; Aplicaciones: Punto material ligado, Proyectiles en el vacío y en medios resistentes.

**3. Oscilaciones lineales con 1 grado de libertad (4h)** El oscilador armónico simple; Oscilaciones con amortiguamiento; Vibraciones forzadas; Resonancia; Análisis mediante series de Fourier; Análisis de transitorios mediante la función de Green; Métodos numéricos; Runge-Kutta.

**4. Cinemática de sistemas rígidos (6h)** Derivación de vectores en sistemas móviles; Expresión de la velocidad y aceleración en sistemas móviles; Campo de velocidades del sólido rígido; Axoides; Campo de aceleraciones; Composición de movimientos; Movimiento plano; Curvas polares; Aceleraciones.

- 5. Movimiento bajo Fuerzas Centrales. Orbitas Gravitatorias (4h)** Sistema de 2 cuerpos y su reducción; Propiedades del movimiento y ecuaciones diferenciales; Ecuación general y tipos de órbitas; Potencial, energía y potencial efectivo; Unidades astronómicas; leyes de Kepler; Sistema de 3 cuerpos.
- 6. Principios generales de la Dinámica de sistemas (10h)** Morfología de los sistemas; Enlaces; Principios de la cantidad de movimiento, momento cinético y energía cinética; Sistema del centro de masa; Principio de los trabajos virtuales; Principio de D'Alembert; Dinámica en sistemas no inerciales; Ejes ligados a la superficie de la tierra.
- 7. Dinámica Analítica (7h)** Ecuaciones de Lagrange a partir del Principio de D'Alembert; Generalización para fuerzas no conservativas; Integrales primeras y coordenadas cíclicas; El principio de Hamilton; Cálculo de variaciones; Ecuaciones de Lagrange a partir del principio de Hamilton; Sistemas anholónomos; Multiplicadores de Lagrange.
- 8. Sistemas de Masa Variable (1h)** Teorema fundamental; Aplicación de los teoremas generales de sistemas; Ejemplos: Turborreactores y cohetes.
- 9. Dinámica del Sólido Rígido (9h)** Rotación alrededor de un eje; Momentos de inercia; Rotación con un punto fijo; Tensor de inercia; Expresión de la energía cinética; Propiedades y componentes del tensor de inercia; Campo tensorial de inercia; Rotación finita del sólido; Angulos de Euler; Expresiones de la velocidad angular; Ecuaciones de Euler.
- 10. Aplicaciones de la Dinámica del Sólido (7h)** Reacciones en ejes y puntos fijos; El movimiento por inercia (Poinsot); Ejes permanentes de rotación; Ecuaciones diferenciales del movimiento por inercia; El giróscopo: ecuaciones diferenciales e integrales primeras, efecto giroscópico; Péndulo esférico; Ejemplos y ejercicios.
- 11. Dinámica de Impulsiones (4h)** Concepto de impulsiones y expresión mediante la delta de Dirac; Axiomática y teorema fundamental; Aplicación del principio de los trabajos virtuales; Aplicación de los teoremas generales de la dinámica; Balance de energía; Coeficiente de restitución; Choque directo; Impulsiones tangenciales; Dinámica analítica de impulsiones.
- 12. Oscilaciones Lineales con varios grados de Libertad (7h)** Linealización de las ecuaciones para pequeñas oscilaciones; Ecuación matricial; Oscilaciones libres sin amortiguamiento; problema de autovalores; Frecuencias propias y modos normales de vibración; Análisis modal y coordenadas normales; Oscilaciones con amortiguamiento; Oscilaciones forzadas sin amortiguamiento; Resonancia; Oscilaciones forzadas con amortiguamiento; Régimen permanente; Métodos para la obtención de modos y frecuencias propias.
- 13. Ecuaciones de Hamilton (3h)** La transformada de Legendre; Ecuaciones canónicas o de Hamilton; Coordenadas cíclicas e integrales primeras; El método de Routh; Breve idea de las transformaciones canónicas.



**14. Equilibrio (7h)** Existencia y unicidad del equilibrio; Estabilidad del equilibrio; Fuerzas conservativas: teorema de Torricelli; Equilibrio en sistemas no lineales; Resistencias pasivas; Estática de sistemas de piezas rígidas; Aplicación del Principio de los trabajos virtuales; Sistemas de barras articuladas: métodos de los nudos y de las secciones.

**15. Estática de Hilos (5h)** Ecuaciones de equilibrio; Configuraciones de equilibrio: Catenaria, Parábola; Efecto de las cargas puntuales; Hilo apoyado sobre una superficie; Tambor rugoso.

## 7. Prácticas

### 1.º Cuatrimestre

1. Cinemática / Dinámica de la Partícula
2. Dinámica de la Partícula
3. Oscilaciones con 1 g.d.l.
4. Cinemática del Sólido / Sistemas de Vectores Deslizantes
5. Cinemática del Sólido
6. Dinámica de Sistemas: Fuerzas centrales y órbitas
7. Dinámica de Sistemas
8. Dinámica de Sistemas
9. Dinámica Analítica (Lagrange)
10. Dinámica Analítica (Lagrange) / Masa variable

### 2.º Cuatrimestre

11. Dinámica del Sólido
12. Dinámica del Sólido
13. Dinámica del Sólido
14. Dinámica del Sólido / Impulsiones
15. Impulsiones
16. Oscilaciones con  $n$  G.D.L.
17. Oscilaciones con  $n$  G.D.L. / Dinámica Analítica (Hamilton)
18. Estática
19. Estática / Cables
20. Cables

José M.<sup>a</sup> Goicolea  
Catedrático, responsable de la asignatura