

TIPO: CURSO DE POSGRADO.

NOMBRE: DINÁMICA CLÁSICA Y COMPUTACIONAL.

VIGENCIA: Primer Cuatrimestre, 2025.

DOCENTES RESPONSABLES: Dr. Ing. Sergio PREIDIKMAN, Dr. Ing. Mauro Sebastián MAZA, y Dr. Ing. Diego Fernando TURELLO.

Oficina 109; Departamento de Estructuras; Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; Universidad Nacional de Córdoba; TE: (0351) 433-4145 Interno 35; e-mails: spreidikman@unc.edu.ar, mauro.maza@unc.edu.ar, diego.turello@unc.edu.ar

PROFESIONALES A LOS QUE ESTÁ ORIENTADO: Ingenieros Mecánicos, Aeronáuticos, Civiles, Electromecánicos, Electricistas, y Químicos. Licenciados en Matemática, Física y Química. Todo aquel profesional interesado en el Método de los Elementos Finitos y que satisfaga los requisitos descriptos en el ítem "PRE-REQUISITOS".

PRE-REQUISITOS: Tener conocimientos, a nivel de carrera de grado, en: Álgebra Lineal, Cálculo de Varias Variables, Métodos Numéricos, Ecuaciones Diferenciales Ordinarias y Ecuaciones Diferenciales en Derivadas Parciales. Es recomendable tener experiencia previa en programación utilizando MATLAB®. Se entiende que lo que se presenta como "recomendable" no es excluyente. Sin embargo, el postulante que no posea esta experiencia previa deberá realizar un esfuerzo adicional, habida cuenta de la íntima relación con la temática de la asignatura. La aceptación de aquellos postulantes que no satisfagan alguna de las condiciones citadas anteriormente, quedará a criterio de los docentes responsables del dictado de la asignatura, previa evaluación de los antecedentes del postulante.

JUSTIFICACIÓN: Este curso constituye una continuación natural del curso de grado Mecánica Racional. La principal extensión es el tratamiento de la cinemática y la dinámica tridimensional avanzada de cuerpos rígidos y de sistemas multicuerpo rígidos, con aplicaciones a problemas de ingeniería. Además, sirve como puente entre un curso sobre dinámica de cuerpos rígidos y un curso con orientación computacional sobre dinámica de multicuerpos flexibles. Este curso está diseñado para proporcionar a los estudiantes las teorías fundamentales y metodologías computacionales que se utilizan en el análisis de sistemas de multicuerpos rígidos. El énfasis está puesto en una comprensión integrada de: (i) el modelado, (ii) la formulación moderna mixta analítico/vectorial de las ecuaciones de movimiento de sistemas complejos de cuerpos rígidos, y (iii) las técnicas numéricas aplicadas a sistemas mecánicos multicuerpo. Los estudiantes aprenderán a formular analíticamente ecuaciones de movimiento para sistemas multicuerpo, así como a utilizar algoritmos numéricos para simular dichos sistemas. De esta manera, los estudiantes aprenderán a resolver problemas del mundo real en áreas de ingeniería civil, mecánica y aeroespacial, robótica, biomecánica y mecatrónica. El curso proporciona una cobertura en profundidad de: los conceptos fundamentales de las formulaciones de Newton/Euler, Lagrangianas y Hamiltonianas para cuerpos rígidos y sistemas de cuerpos rígidos tridimensionales, marcos de referencia giratorios, coordenadas y velocidades generalizadas, fuerzas generalizadas, la determinación analítica y computacional de las propiedades inerciales, el principio de Hamilton, el método de Kane, las leyes de conservación, restricciones holonómicas y no holonómicas, procesamiento de restricciones, elementos de fuerza para actuadores lineales y torsionales, algoritmos de integración numérica y simulación computacional. Las herramientas matemáticas necesarias para describir el movimiento espacial de un cuerpo rígido se presentarán en su totalidad. Se ejercitarán métodos computacionales de manipulación simbólica y de integración numérica temporal para el análisis dinámico. Aunque el contenido del curso se limita a la cinemática y la dinámica de multicuerpos rígidos, los principios pueden adecuarse para su aplicación a problemas más complicados, incluidos aquellos con elementos deformables. El objetivo último es lograr una sólida comprensión de los principios de la dinámica de cuerpos y multicuerpos rígidos en el contexto de los métodos analíticos y computacionales modernos. Se elige el entorno de programación MATLAB porque es amigable para los programadores principiantes y porque permite jugar con ideas computacionales mediante experimentación. Además, de tratarse del lenguaje de computación científica utilizado por prácticamente todas las universidades y centros de investigación y desarrollo del mundo. Esto es central y fundamental para desarrollar la intuición computacional.

OBJETIVOS DEL CURSO Y RESULTADOS DE APRENDIZAJE PREVISTOS: Al finalizar con éxito el presente curso, los estudiantes podrán:

- Comprender y analizar la cinemática de cuerpos rígidos tridimensionales y de sistemas de cuerpos rígidos;
- Clasificar y modelar diferentes tipos de restricciones, elementos de fuerza y actuadores;

- Comprender y utilizar diferentes conjuntos de coordenadas generalizadas y cuasi-coordenadas para describir el movimiento de cuerpos rígidos tridimensionales y de sistemas formados por múltiples cuerpos rígidos;
- Tener la capacidad de desarrollar las ecuaciones de movimientos para sistemas dinámicos mecánicos tridimensionales complejos utilizando marcos de referencia giratorios (no inerciales);
- Derivar y evaluar numéricamente el tensor de inercia y otras propiedades másicas de cuerpos rígidos tridimensionales;
- Derivar ecuaciones de movimiento de un solo cuerpo y de varios cuerpos utilizando las formulaciones de Newton-Euler, las ecuaciones de Lagrange, las ecuaciones de Hamilton, el principio generalizado de Hamilton, y el método de Kane;
- Comprender las relaciones y equivalencias entre las ecuaciones de movimiento de Lagrange/Kane/Hamilton y las ecuaciones de movimiento de Newton-Euler;
- Aplicar e interpretar principios de conservación a cuerpos rígidos tridimensionales y sistemas formados por múltiples cuerpos rígidos;
- Configurar simulaciones para representar el movimiento de sistemas dinámicos mecánicos complejos utilizando modernas herramientas de programación informática;
- Escribir programas de propósito especial dentro de un entorno informático de programación de procedimientos, como MATLAB, para simular la dinámica de movimientos tridimensionales de cuerpos rígidos y sistemas formados por múltiples cuerpos rígidos;
- Tener la capacidad para aplicar métodos numéricos básicos para integrar las ecuaciones diferenciales utilizadas en dinámica;
- Comprender que los sistemas mecánicos complejos pueden ser simples si se tratan sistemáticamente;
- Desarrollar y realizar experimentaciones numéricas apropiadas, analizar e interpretar datos, evaluar la precisión y el realismo de un modelo, y utilizar el criterio de ingeniería para sacar conclusiones; y
- Obtener una idea de la cinemática y la dinámica de los sistemas tridimensionales formados por múltiples cuerpos flexibles.

DURACIÓN Y ORGANIZACIÓN: 60 horas. Un total de 15 semanas de clases.

El total del tiempo se dedicará a clases teórico-prácticas, las que se desarrollarán en aula. El presente curso no requiere de trabajos de campo, gabinete o laboratorio, visitas o viajes de estudio.

Lugar de Clases: [Aula 304 \(Anfiteatro A\).](#)

Horario: [miércoles de 14:00 a 18:00hs.](#)

Fecha de inicio: [5 de marzo de 2025.](#)

Fecha de finalización: [11 de junio de 2025.](#)

METODOLOGÍA DE DICTADO: Se dictará una clase teórica/práctica semanal de 4 (cuatro) horas de duración. La misma se desarrollará en aula, con exposición oral, uso de pizarrón, de proyector multimedia, y de computadoras.

Se fijarán horarios de consulta, fuera del horario de clases, de acuerdo con las posibilidades de los docentes responsables de la asignatura y de los estudiantes inscriptos.

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN Y APROBACIÓN: Los objetivos del curso se evaluarán mediante: i) la presentación de trabajos prácticos y ii) la confección de programas de computadora (acompañados de sus respectivos informes) que servirán para implementar los conocimientos adquiridos en el curso. A discreción del profesor se podrán utilizar otras herramientas de evaluación, tales como exámenes y presentaciones orales.

Todos los trabajos prácticos, proyectos de computadora e informes deberán ser realizados de manera individual por cada estudiante. Los trabajos prácticos y los informes deberán ser entregados en la fecha estipulada por los docentes. No se aceptarán trabajos prácticos e informes tardíos.

La nota final se calculará de la siguiente manera:

- Trabajos prácticos: 50% de la nota final.
- Programas de computadora + informes = 50% de la nota final.

La asistencia a clases no es un requisito para aprobar el curso, aunque la misma es altamente recomendada.

NECESIDADES DE INFRAESTRUCTURA: Disponibilidad de un aula con pizarra blanca y un retroproyector.

PROGRAMA ANALÍTICO RESUMIDO:

Parte 1 – Revisión de análisis vectorial y consideraciones preliminares.

Parte 2 – Cinemática de cuerpos rígidos.

Parte 3 – Temáticas/fórmulas adicionales de cinemática de cuerpos rígidos.

Parte 4 – Geometría del cuerpo rígido/Distribución de masa y propiedades inerciales.

Parte 5 – Cinética de cuerpos rígidos.

Parte 6 – Dinámica de cuerpos rígidos.

Parte 7 – Sistemas multicuerpo.

PROGRAMA ANALÍTICO DESARROLLADO:

Parte 1 – REVISIÓN DE ANÁLISIS VECTORIAL Y CONSIDERACIONES PRELIMINARES

Observaciones preparatorias: Vectores geométricos. Vectores algebraicos. Espacios vectoriales euclidianos. Bases. Representaciones vectoriales. Producto escalar, Producto vectorial, Producto de Kronecker. Delta de Kronecker y símbolos de permutación. Ejemplos: marcos de referencia ortogonales/ortonormales, marcos de referencia diestros, momentos de sistemas de fuerza, ángulo entre dos vectores, proyección de un vector a lo largo de una línea. Múltiples productos de vectores. Funciones vectoriales y sus derivadas. Derivadas de vectores unitarios. Ejemplos: diferenciación de vectores. Díadas, diádicas y tensores cartesianos de segundo orden. Ejemplo: diádicas de rotación. Cosenos directores y matrices de transformación. Derivadas de Matrices de Transformación. Valores propios y vectores propios. Algoritmos.

Conceptos/postulados fundamentales: leyes de Newton y otros principios fundamentales. Mecánica Euleriana. Preliminares cinemáticos. Representaciones de vectores de posición. Coordenadas generalizadas. Restricciones: restricciones holonómicas y restricciones no-holonómicas. Grados de libertad. Vectores de velocidad parcial. Fuerzas Generalizadas.

Parte 2 – CINEMÁTICA DE CUERPOS RÍGIDOS

Cinemática básica de cuerpos rígidos: Traslación pura. Rotación pura. Traslación y rotación combinadas. Marcos de referencia móviles. Cuerpos rígidos y marcos de referencia. Orientación de Cuerpos. Gráficos de configuración. Teoremas de Euler y Chasles. Matrices de transformación para diversas secuencias de rotación finitas.

Rotaciones infinitesimales y velocidad angular: definiciones, comentarios, unicidad de la velocidad angular, definición y formas alternativas para la velocidad angular, relación entre los cosenos directores y la velocidad angular, velocidad angular simple, algoritmos de cálculo.

Observaciones desde un marco de referencia móvil: algoritmos de diferenciación. Teorema de la suma para la velocidad angular. Componentes de velocidad angular para diversas secuencias de rotación. Aceleración angular: definición, teorema de la suma. Algoritmos de Computación. Aceleración angular: definición, teorema de la suma, algoritmos de cálculo.

Velocidad de partículas o puntos de un cuerpo: introducción. Velocidad relativa de dos puntos de un cuerpo. Clasificación de movimientos. Centro de Rotación. Velocidad de un punto que se mueve con respecto a un cuerpo en movimiento.

Aceleración de partículas o puntos de un cuerpo: aceleración relativa de dos puntos de un cuerpo. Aceleración de un punto en movimiento con respecto a un cuerpo en movimiento. Rodado. Velocidad angular parcial.

Parte 3 – TEMAS/FÓRMULAS ADICIONALES DE CINEMÁTICA DE CUERPOS RÍGIDOS

El tensor de rotación. Propiedades del tensor de rotación. Rotación finita y diádicas de rotación. Ángulos de Euler. Secuencias de ángulos de Euler. Velocidad angular y aceleración. Velocidades angulares como cuasi-velocidades (velocidades generalizadas). Singularidades que ocurren con ángulos de orientación. Vector de rotación principal y parámetros de Euler. Diferenciación de Matrices de Transformación. Parámetros de Euler y velocidad angular. Otros parámetros de actitud: Cuaterniones.

Parte 4 – GEOMETRÍA DEL CUERPO RÍGIDO/DISTRIBUCIÓN DE MASA Y PROPIEDADES INERCIALES

Momentos y productos de inercia: vectores del primer momento. Centro de masa/Centro de gravedad. Vectores del segundo momento. Interpretación geométrica de momentos y productos de inercia. Ejes de Inercia. Radio de giro. El tensor de inercia. Algoritmos de Computación. Teorema de los ejes paralelos. Direcciones principales, ejes principales y momentos de inercia principales.

Discusión: Direcciones principales, ejes principales y momentos de inercia principales. Fórmulas e interpretaciones adicionales: momentos de inercia máximos y mínimos, el elipsoide de inercia, raíces no distintas de la ecuación de Hamilton-Cayley, invariantes del tensor de inercia, la ecuación de Hamilton-Cayley, el tensor de inercia central y otros resultados geométricos. Cuerpos planos. Momentos polares de inercia.

Parte 5 – CINÉTICA DE CUERPOS RÍGIDOS

Resumen de conceptos y fórmulas para sistemas de fuerzas sobre cuerpos: velocidad parcial y velocidad angular parcial. Cuasi-coordenadas y coordenadas híbridas. Fuerzas generalizadas sobre cuerpos rígidos. Fuerzas de “inercia” generalizadas. Fuerzas generalizadas de “inercia” sobre un cuerpo rígido.

Fuerzas aplicadas (activas): fuerzas de gravedad, fuerzas gravitacionales ejercidas por la Tierra sobre un cuerpo, momento gravitacional de varillas ortogonales que no se cruzan, fuerzas gravitacionales sobre un satélite. fuerzas de contacto.

Fuerzas generalizadas aplicadas (activas): contribución de las fuerzas de gravedad (o peso) a las fuerzas activas generalizadas. Contribución de las fuerzas internas entre las partículas de un cuerpo rígido a las fuerzas activas generalizadas. Contribución a las fuerzas generalizadas de las fuerzas ejercidas a través de superficies lisas internas a un sistema mecánico. Contribución a las fuerzas generalizadas de las fuerzas ejercidas en puntos con movimiento específico. Contribución a las fuerzas generalizadas de fuerzas transmitidas a través de superficies rodantes de cuerpos. Contribución a las fuerzas generalizadas de las fuerzas ejercidas por resortes entre cuerpos internos a un sistema mecánico. Cantidades cinéticas aplicadas (o activas) asociadas: Impulso, Energía Potencial, Trabajo.

Fuerzas de “inercia” (pasivas). Fuerzas generalizadas de “inercia” (o pasivas). Cantidades cinéticas de inercia (o pasivas) asociadas: Momento Lineal, Momento Angular, Energía Cinética.

Primeras Integrales. Integración numérica de ecuaciones de movimiento.

Parte 6 – DINÁMICA DE CUERPOS RÍGIDOS

Principios de la dinámica/Leyes del movimiento: energía cinética. Energía potencial. Momento lineal. Momento angular.

Desplazamientos virtuales y trabajo virtual: trabajo virtual y potencia virtual, principio de Jourdain. Comentario sobre los Principios de Trabajo Virtual y Poder Virtual. Leyes de Newton/Principio de d'Alembert. Principio Generalizado de Hamilton. Relación de la función hamiltoniana con la integral trabajo/energía.

Ecuaciones de Lagrange: Ecuaciones de Lagrange para sistemas no-restringidos. Ecuaciones de Lagrange para sistemas restringidos. Generalizaciones explícitas de las ecuaciones de Lagrange para sistemas de coordenadas híbridas. Principios del impulso. Trabajo-Energía. Consideraciones computacionales: descripciones alternativas de las ecuaciones de movimiento, ecuaciones de Hamilton y ecuaciones de Kane.

Parte 7 – SISTEMAS MULTICUERPO

Introducción. Tipos de sistemas multicuerpo. Sistema conectado de árbol abierto. Sistema abierto y desconectado. Sistema con Lazos Cerrados. Sistema con traslación en algunas de las uniones. Sistema con cuerpos flexibles. Conjuntos de la parte inferior del cuerpo. Ángulos de orientación y matrices de transformación. Derivadas de Matrices de Transformación. Algoritmos de Computación.

BIBLIOGRAFÍA:

1. O. M. O'Reilly, *Intermediate Dynamics for Engineers: Newton-Euler and Lagrangian Mechanics*, 2nd Edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2020, ISBN-13: ISBN: 978-1-108-49421-2 (**)
2. M. F. Daqaq, *Dynamics of Particles and Rigid Bodies: A Self-Learning Approach*, John Wiley & Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, USA, 2019, ISBN-13: 978-1-11946-314-6 (**)
3. H. Schaub and J. L. Junkins, *Analytical Mechanics of Space Systems*, 4th Edition, AIAA Education Series, Reston, VA, 2018, ISBN-13: 978-1-62410-521-0 (**)

4. H. V. Rao, *Dynamics of Particles and Rigid Bodies: A Systematic Approach*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2006, ISBN-13: 978-0-521-85811-3 (**)
5. H. Baruh, *Analytical Dynamics*, WCB/McGraw-Hill, New York, NY, 1998, ISBN-13: 978-0-07365-977-0 (**)

REFERENCIAS PARA LECTURA ADICIONAL:

Dinámica Clásica

1. Oliver M. O'Reilly, *Engineering Dynamics: A Primer*, 3rd Edition, Springer International Publishing, 2019, ISBN-13: 978-3-030-11744-3
2. Peter A. Dashner, *Mathematic and Conceptual Foundations of Vector Dynamics*, California State Polytechnic University, Pomona, 2015 (*)
3. Jan Awrejcewicz, *Classical Mechanics: Dynamics*, (Advances in Mechanics and Mathematics 29), Springer-Verlag New York, 2012, ISBN-13: 978-1-461-43739-0
4. Walter Greiner, *Classical Mechanics: Systems of Particles and Hamiltonian Dynamics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010, ISBN-13: 978-3-642-03434-3
5. Gerd Baumann, *Mathematica for Theoretical Physics: Classical Mechanics and Nonlinear Dynamics*, 2nd Edition, Springer International Publishing, New York, NY, 2005, ISBN-13: 978-0-387-01674-0
6. Jerry Ginsberg, *Engineering Dynamics*, 3rd Edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2008, ISBN-13: 978-0-521-88303-0 (*)
7. Jens M. Knudsen, Poul G. Hjorth, *Elements of Newtonian Mechanics: Including Nonlinear Dynamics*, 3rd Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2000, ISBN-13: 978-3-540-67652-2
8. Stephen T. Thornton, Jerry B. Marion, *Classical Dynamics of Particles and Systems*, 5th Edition, Brooks/Cole, 2004, ISBN-13: 978-0-534-40896-1 (*)
9. Hughes, Peter, *Spacecraft Attitude Dynamics*, Dover Publications, 2004, ISBN-13: 978-1-62198-601-0 (*)
10. Jorge V. José, Eugene J. Saletan, *Classical Dynamics: A Contemporary Approach*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1998, ISBN-13: 978-0-521-63636-0 (*)
11. Joseph L. McCauley, *Classical Mechanics: Transformations, Flows, Integrable and Chaotic Dynamics*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1997, ISBN-13: 978-0-521-57882-0
12. Donald T. Greenwood, *Classical Dynamics*, Dover Publications, 1997, ISBN-13: 978-0-486-69690-4 (*)
13. John L. Junkins, Youdan Kim, *Introduction to Dynamics and Control of Flexible Structures*, (AIAA Education Series), AIAA, 1993, ISBN-13: 978-1-563-47054-7 (*)
14. John L. Junkins and James D. Turner, *Optimal Spacecraft Rotational Maneuvers*, (Studies in Astronautics 3), Elsevier Science Ltd., 1986, ISBN-13: 978-0-444-42619-2
15. Thomas R. Kane, David A. Levinson, *Dynamics: Theory and Applications* (McGraw Hill Series in Mechanical Engineering), McGraw-Hill Companies, 1985, ISBN-13: 978-0-070-37846-9 (*)
16. Thomas R. Kane, Peter W. Likins, David A. Levinson, *Spacecraft Dynamics*, McGraw-Hill Companies, 1983, ISBN-13: 978-0-070-37843-8 (*)
17. Patrick Hamill, *Intermediate Dynamics*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2022, ISBN-13: 978-1-009-09847-2
18. R. A. Howland, *Intermediate Dynamics: A Linear Algebraic Approach*, Springer International Publishing, New York, NY, 2005, ISBN-13: 978-0-387-28059-2
19. Rajnikant Sinha, *Advanced Newtonian Rigid Dynamics*, Springer International Publishing, New York, NY, 2023, ISBN-13: 978-9-819-92021-1
20. Dan B. Marghitu, Mihai Dupac, *Advanced Dynamics: Analytical and Numerical Calculations with MATLAB*, Springer International Publishing, New York, NY, 2012, ISBN-13: 978-1-461-43474-0
21. Reza N. Jazar, *Advanced Dynamics: Rigid Body, Multibody, and Aerospace Applications*, John Wiley & Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, USA, 2011, ISBN-13: 978-0-470-39835-7 (*)

22. Jerry Ginsberg, *Advanced Engineering Dynamics*, 2nd Edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2005, ISBN-13: 978-0-521-47021-6 (*)
23. Donald T. Greenwood, *Advanced Dynamics*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2006, ISBN-13: 978-0-521-02993-3 (*)
24. Pradeep K. Gupta, *Advanced Dynamics of Rolling Elements*, Springer-Verlag New York, 1984, ISBN-13: 978-1-4612-9767-3

Dinámica Analítica

25. Hamad M. Yehia, *Rigid Body Dynamics: A Lagrangian Approach*, (Advances in Mechanics and Mathematics, 45), Birkhäuser, 2022, ISBN-13: 978-3-030-96335-4
26. Aron Wolf Pila, *Introduction to Lagrangian Dynamics*, Springer International Publishing, 2020, ISBN-13: 978-3-030-22378-6
27. Mann, Peter, *Lagrangian & Hamiltonian Dynamics*, Oxford University Press, 2018, ISBN-13: 978-0-198-82237-0
28. John G. Papastavridi, *Tensor Calculus and Analytical Dynamics*, CRC Press/Routledge/Taylor and Francis, 2018, ISBN-13: 978-1-351-41161-5
29. De Sapio Vincent, *Advanced Analytical Dynamics*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2017, ISBN-13: 978-1-107-17960-8
30. John G Papastavridis, *Analytical Mechanics: A Comprehensive Treatise on the Dynamics of Constrained Systems* (Reprint Edition), World Scientific Publishing Company, 2014, ISBN-13: 978-9-814-33871-4 (*)
31. Woodhouse, Nicholas M. J, *Introduction to Analytical Dynamics* (New Edition), Springer-Verlag New York, 2009, ISBN-13: 978-1-848-82815-5
32. Mark D. Ardema, *Analytical Dynamics: Theory and Applications*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2005, ISBN-13: 978-0-306-48682-1
33. Firdaus E. Udawadia, Robert E. Kalaba, *Analytical Dynamics: A New Approach*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1996, ISBN-13: 978-0-521-48217-2
34. Reinhardt M. Rosenberg, *Analytical Dynamics of Discrete Systems*, (Mathematical Concepts and Methods in Science and Engineering), Springer-Verlag New York, 1977, ISBN-13: 978-1-4684-8318-5
35. Leonard Meirovitch, *Methods of Analytical Dynamics*, McGraw-Hill, New York, NY, 1970, ISBN-13: 978-0-486-43239-7 (*)
36. Dare Wells, *Schaum's Outline of Lagrangian Dynamics*, McGraw-Hill, New York, NY, 1967, ISBN-13: 978-0-070-69258-9 (*)
37. Thomas R. Kane, *Analytical Elements of Mechanics. Dynamics*, 1965, ISBN-13: 978-1-4832-2789-4 (*)
38. L. A. Pars, *A treatise on Analytical Dynamics*, Heinemann, 1965, ISBN-13: 978-0-435-52690-0 (*)
39. Edmund Taylor Whittaker, *A Treatise on the Analytical Dynamics of Particles and Rigid Bodies*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1964, ISBN-13: 978-0-521-35883-5 (*)

Dinámica de Sistemas No-Holónicos/No-Integrables

40. Ju. I. Neimark and N. A. Fufaev, *Dynamics of Nonholonomic Systems*, (Translations of Mathematical Monographs, 33), American Mathematical Society, Providence, Rhode Island, 1972, ISBN-13: 978-0-821-88660-1 (*)
41. Richard H. Cushman, Jędrzej Śniatycki, *Geometry of Nonholonomically Constrained Systems*, (Nonlinear Dynamics. Advanced Series in Nonlinear Dynamics), World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Clearance Center, Inc., 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, USA, 2009, ISBN-13: 978-9-814-28948-1
42. Alain Goriely, *Integrability and Nonintegrability of Dynamical Systems*, (Advanced series in nonlinear dynamics 19), World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Clearance Center, Inc., 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, USA, 2001, ISBN-13: 978-9-810-23533-8

43. Patrick J. Rabier, Werner C. Rheinboldt, *Nonholonomic Motion of Rigid Mechanical Systems from a DAE Viewpoint*, Society for Industrial Mathematics, 3600 University City Science Center, Philadelphia, PA , 1987, ISBN-13: 978-0-898-71446-3
44. Dominic G. B. Edelen, *Lagrangian Mechanics of Nonconservative Nonholonomic Systems*, (Mechanics: Dynamical Systems, 2), Noordhoff International Publishing Leyden, 1977, ISBN-13: 978-9-028-60077-5
45. A. M. Bloch, *Nonholonomic Mechanics and Control*, (Interdisciplinary Applied Mathematics 24), Springer-Verlag New York, 2003, ISBN-13: 978-0-387-95535-3 (*)

Dinámica de Sistemas Multicuerpos

46. Jielong Wang, *Multiscale Multibody Dynamics: Motion Formalism Implementation*, Springer International Publishing, New York, NY, 2023, ISBN-13: 978-9-811-98440-2
47. Arun K. Banerjee, *Flexible Multibody Dynamics: Algorithms Based on Kane's Method*, CRC Press, 2022, ISBN-13: 978-1-000-54389-6
48. Kevin Russell, John Q. Shen, Raj S. Sodhi, *Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems: Implementation in MATLAB® and Simscape Multibody™*, CRC Press, 2022, ISBN-13: 978-1-032-32831-7
49. Paramanand Vivekanand Nandihal, Ashish Mohan, Subir Kumar Saha, *Dynamics of Rigid-Flexible Robots and Multibody Systems*, Springer International Publishing, New York, NY, 2021, ISBN-13: 978-9-811-62797-2
50. A. A. Shabana, *Dynamics of Multibody Systems*, 5th Edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2020, ISBN-13: 978-1-108-48564-7 (*)
51. Nikraves, Parviz E., *Planar Multibody Dynamics: Formulation, Programming With MATLAB®, and Applications*, Taylor & Francis, 2019, ISBN-13: 978-1-138-09612-7
52. Arun K. Banerjee, *Flexible Multibody Dynamics: Efficient Formulations and Applications*, John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex, UK, 2016, ISBN-13: 978-1-119-01564-2 (*)
53. N. Pandrea and N-D. Stanescu, *Dynamics of the Rigid Solid with General Constraints by a Multibody Approach*, John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex, UK, 2016, ISBN-13: 978-1-118-95438-6
54. P. Flores, *Concepts and Formulations for Spatial Multibody Dynamics*, Springer International Publishing, New York, NY, 2015, ISBN-13: 978-3-319-16189-1 (*)
55. Nicolae Pandrea, Nicolae-Doru Stanescu, *Dynamics of the Rigid Solid with General Constraints by a Multibody Approach*, John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex, UK, 2015, ISBN-13: 978-1-118-95438-6
56. O. A. Bauchau, *Flexible Multibody Dynamics*, (Solid Mechanics and Its Applications 176), Springer Netherlands, 2011, ISBN-13: 978-9-400-70334-6 (*)
57. Farid M. L. Amirouche, *Fundamentals of Multibody Dynamics: Theory and Applications*, Birkhäuser Basel, 2006, ISBN-13: 978-0-8176-4236-5 (*)
58. Francis C. Moon, *Applied Dynamics: With Applications to Multibody and Mechatronic Systems*, John Wiley & Sons, Inc., 1998, ISBN-13: 978-0-471-13828-0 (*)

COMENTARIOS: Notas de clase y m-files relativas a parte del material a cubrir en el curso serán provistas por los profesores responsables a través del aula virtual del curso en la plataforma Moodle.

(*) Estos son libros clásicos.

(**) Estos libros son referencias clásicas clave para los temas tratados en el curso.