

# Índice

Prefacio . . . . .	13
Introducción . . . . .	15
1] Objeto de la Mecánica Teórica' (15). 2. Métodos de la Mecánica Teórica (16). 3. Breves datos históricos (16). 4. División de la Mecánica en partes (18).	
<b>Parte primera. Estática del cuerpo rígido</b> . . . . .	<b>19</b>
<b>Capítulo I] Sistema de fuerzas concurrentes</b> . . . . .	<b>19</b>
§ 1. Elementos del Algebra Vectorial . . . . .	19
1.1. Magnitudes vectoriales y escalares (19). 1.2. Definiciones y reglas principales de las operaciones con vectores libres (20).	
§ 2] Nociones principales de la Estática . . . . .	25
2.1. Cuerpo rígido (25). 2.2. Fuerza (25). 2.3. Unidades de medida de las magnitudes mecánicas (26). 2.4. Sistema de fuerzas (28). 2.5. Axiomas de la Estática (28). 2.6. Regla del paralelogramo, teorema de las tres fuerzas (30). 2.7. Fuerzas exteriores e interiores (31). 2.8. Axiomas de ligaduras (33). 2.9. Reacciones de las ligaduras (33).	
§ 3. Sistemas de fuerzas concurrentes . . . . .	36
3.1. Composición de fuerzas concurrentes, resultante (36). 3.2. Descomposición de una fuerza dada en componentes (38). 3.3. Condición geométrica del equilibrio de un sistema de fuerzas concurrentes (40). 3.4. Condiciones analíticas del equilibrio de un sistema de fuerzas concurrentes (42). 3.5. Método de doble proyección de una fuerza sobre un eje (45).	
Problemas . . . . .	48
<b>Capítulo II. Sistema de dos fuerzas paralelas. Teoría de pares coplanares</b> . . . . .	<b>53</b>
§ 1. Sistema de dos fuerzas paralelas . . . . .	53
1.1. Composición de dos fuerzas paralelas (53). 1.2. Caso de fuerzas antiparalelas (55). 1.3. Par de fuerzas (56).	
§ 2. Teoría de pares coplanares . . . . .	57
2.1. Momento de una fuerza respecto a un punto (57). 2.2. Momento del par (58). 2.3. Teorema de pares equivalentes coplanares (59). 2.4. Composición de pares coplanares. Condiciones de equilibrio; de un sistema de pares plano (61).	
Problemas . . . . .	63
<b>Capítulo III. Sistema de fuerzas plano</b> . . . . .	<b>65</b>
§ 1. Reducción de un sistema de fuerzas plano a un centro dado . . . . .	65
1.1. Lema (65). 1.2. Método de Poinso. Vector principal y	

	momento principal (66). 1.3. Caso de reducción de un sistema de fuerzas plano a un par (67). 1.4. Teorema de Varignon (68).	
§ 2.	Condiciones de equilibrio de un sistema de fuerzas plano . . . . .	69
	2.1. Tres tipos de sistemas de ecuaciones de equilibrio (69).	
	2.2. Casos particulares de un sistema de fuerzas plano (72).	
	2.3. Problemas estáticamente determinados y estáticamente indeterminados (73). 2.4. Equilibrio de un sistema sometido a la acción de fuerzas coplanares (80).	
	Problemas . . . . .	85
<b>Capítulo IV.</b>	<b>Sistema de fuerzas plano. Rozamiento y armaduras . . . . .</b>	<b>90</b>
§ 1.	Rozamiento . . . . .	90
	1.1. Rozamiento de deslizamiento (90). 1.2. Rozamiento de rodadura (96).	
§ 2.	Armadura de barras plana . . . . .	97
	2.1. Definición de armadura (97). 2.2. Método de separación de nudos (100). 2.3. Método de seccionamiento (método de Ritter) (103).	
	Problemas . . . . .	108
<b>Capítulo V.</b>	<b>Sistema de fuerzas arbitrario . . . . .</b>	<b>110</b>
§ 1.	Vector momento y teoría de pares en el espacio . . . . .	110
	1.1. Momento de una fuerza respecto a un punto como vector (110).	
	1.2. Momento de una fuerza respecto a un eje (111). 1.3. Teorema sobre el traslado de un par a un plano paralelo (113). 1.4. Momento del par como vector (114). 1.5. Teorema sobre la composición de pares en el espacio (115).	
§ 2.	Reducción de un sistema de fuerzas arbitrario a un centro dado . . . . .	117
	2.1. Método de Poinso. Vector principal y momento principal (117). 2.2. Variación del momento principal debida al cambio de centro de reducción. Invariantes de un sistema de fuerzas (120). 2.3. Caso de reducción de un sistema de fuerzas a un par (122). 2.4. Caso de reducción de un sistema de fuerzas a una resultante. Teorema de Varignon (122). 2.5. Caso de reducción de un sistema de fuerzas al tornillo dinámico eje central (125).	
§ 3.	Condiciones de equilibrio de un sistema de fuerzas arbitrario . . . . .	129
	3.1. Condiciones de equilibrio en forma analítica y vectorial (129).	
	3.2. Casos particulares de un sistema de fuerzas arbitrario (131).	
	3.3. Equilibrio de un cuerpo sólido con uno o dos puntos fijos (132).	
	Problemas . . . . .	139
<b>Capítulo VI.</b>	<b>Centro de fuerzas paralelas y centro de gravedad . . . . .</b>	<b>146</b>
§ 1.	Centro de fuerzas paralelas . . . . .	146
	1.1. Reducción de un sistema de fuerzas paralelas a una fuerza resultante (146). 1.2. Centro de fuerzas paralelas (147).	
§ 2.	Centro de gravedad . . . . .	150
	2.1. Fórmulas generales para determinar las coordenadas del centro de gravedad (150). 2.2. Determinación del centro de gravedad de las figuras planas, líneas y cuerpos más simples (154). 2.3. Determinación del centro de gravedad de figuras y cuerpos de forma compleja (159).	
	Problemas . . . . .	162

<b>Parte segunda. Cinemática</b> . . . . .	<b>166</b>
Introducción a la Cinemática . . . . .	166
1. Movimiento mecánico (166). 2. Espacio y tiempo (166). 3. Sistema de referencia (167). 4. Breves datos históricos acerca del desarrollo de la Cinemática (168). 5. Diferenciación del vector variable libre (168).	
<b>Capítulo VII. Cinemática del punto</b> . . . . .	<b>172</b>
§ 1. Métodos para definir el movimiento de un punto . . . . .	172
1.1. Método de coordenadas (172). 1.2. Método natural (172). 1.3. Método vectorial (173). 1.4. Movimiento plano (173). 1.5. Método de coordenadas para definir el movimiento plano en coordenadas polares (174).	
§ 2. Velocidad del punto en movimiento curvilíneo . . . . .	176
2.1. Velocidad del punto como vector (176). 2.2. Vector velocidad en coordenadas cartesianas rectangulares (178). 2.3. Velocidad algebraica. Longitud del recorrido (179).	
§ 3. Aceleración del punto en movimiento curvilíneo . . . . .	181
3.1. Aceleración del punto como vector (181). 3.2. Vector aceleración en coordenadas cartesianas rectangulares (183). 3.3. Ejes naturales (184). 3.4. Aceleración tangencial y normal del punto (185). 3.5. Movimiento rectilíneo del punto (193).	
Problemas . . . . .	195
<b>Capítulo VIII. Movimiento elemental del cuerpo sólido</b> . . . . .	<b>199</b>
§ 1. Movimiento de traslación del cuerpo sólido . . . . .	199
1.1. Determinación del movimiento de traslación (199). 1.2. Teoremas de las trayectorias, velocidades y aceleraciones de los puntos de un cuerpo en movimiento de traslación (200).	
§ 2. Rotación del cuerpo sólido alrededor de un eje fijo . . . . .	201
2.1. Ecuación del movimiento de rotación (201). 2.2. Velocidad y aceleración angulares de un cuerpo (202). 2.3. Rotación uniforme y uniformemente alterna (203). 2.4. Velocidad y aceleración de un punto del cuerpo en rotación (204). 2.5. Fórmulas para el vector velocidad y el vector aceleración de un punto del cuerpo en rotación (205).	
Problemas . . . . .	210
<b>Capítulo IX. Caso general del movimiento de un cuerpo sólido libre y movimiento de un cuerpo sólido con un punto fijo</b> . . . . .	<b>213</b>
§ 1. Caso general del movimiento de un cuerpo sólido libre . . . . .	213
1.1. Noción del movimiento instantáneo (213). 1.2. Teorema de Euler (213). 1.3. Independencia del vector de la velocidad angular de un cuerpo respecto a la elección del polo (216).	
§ 2. Movimiento de un cuerpo sólido con un punto fijo . . . . .	217
2.1. Eje de rotación instantáneo y velocidad angular instantánea de un cuerpo (217). 2.2. Velocidad de los puntos de un cuerpo con un punto fijo; fórmulas de Euler (218). 2.3. Aceleración de los puntos de un cuerpo sólido con un punto fijo (219). 2.4. Aceleración de los puntos de un cuerpo sólido libre (221).	
Problemas . . . . .	223
<b>Capítulo X. Movimiento planoparalelo del cuerpo sólido</b> . . . . .	<b>226</b>
§ 1. Velocidad en el movimiento plano . . . . .	226
1.1. Ecuaciones del movimiento plano de una figura (226). 1.2. Ve-	

locidad de los puntos de una figura en movimiento plano (228).	
1.3. Centro instantáneo de velocidades (229).	
§ 2. Aceleración en el movimiento plano	234
2.1. Aceleración de los puntos de una figura en movimiento plano (234).	
2.2. Centro instantáneo de aceleraciones (236).	
Problemas	241
<b>Capítulo XI. Movimiento compuesto del punto</b>	<b>245</b>
§ 1. Velocidad del punto en movimiento compuesto	245
1.1. Movimientos absoluto y de arrastre (245).	
1.2. Teorema de la composición de velocidades (245).	
1.3. Velocidad del punto en coordenadas polares (248).	
1.4. Demostración analítica del teorema sobre la composición de velocidades (249).	
§ 2. Aceleración del punto en movimiento compuesto	251
2.1. Teorema de Coriolis de la composición de aceleraciones (251).	
2.2. Vector de la aceleración de Coriolis del punto (252).	
2.3. Aceleración del punto en coordenadas polares (258).	
Problemas	259
<b>Capítulo XII. Movimiento compuesto del cuerpo sólido</b>	<b>262</b>
§ 1. Composición de movimientos elementales	262
1.1. Composición de dos movimientos de traslación (262).	
1.2. Composición de rotaciones alrededor de dos ejes que se intersectan (262).	
1.3. Ejemplo de movimiento helicoidal de un cuerpo sólido (266).	
§ 2. Composición de rotaciones alrededor de dos ejes paralelos	268
2.1. Caso de rotaciones paralelas (268).	
2.2. Caso de rotaciones antiparalelas (270).	
2.3. Par de rotaciones (272).	
Problemas	273
<b>Parte tercera. Dinámica</b>	<b>278</b>
<b>Introducción a la Dinámica</b>	<b>278</b>
1. Objetivo de la Dinámica (278).	
2. Breve ensayo histórico del desarrollo (279).	
<b>Capítulo XIII. Movimiento del punto material libre</b>	<b>281</b>
§ 1. Leyes fundamentales de la Mecánica Clásica	281
1.1. Leyes de Newton (281).	
1.2. Sistema inercial de referencia.	
1.3. Principio de relatividad de la Dinámica Clásica (284).	
§ 2. Ecuaciones diferenciales del movimiento de un punto	286
2.1. Ecuaciones del movimiento en coordenadas cartesianas (286).	
2.2. Ecuaciones naturales del movimiento (287).	
2.3. Primer problema principal de la Dinámica del punto material (288).	
2.4. Segundo problema principal de la Dinámica del punto material (290).	
§ 3. Integración de las ecuaciones diferenciales de movimiento del punto, material en los casos más simples de movimiento rectilíneo	293
3.1. Caso cuando la fuerza depende solamente del tiempo (293).	
3.2. Caso cuando la fuerza depende solamente de la velocidad (295).	
3.3. Caso cuando la fuerza depende solamente de la posición del punto en movimiento (298).	
Problemas	299

<b>Capítulo XIV. Oscilaciones rectilíneas del punto material . . . . .</b>	<b>301</b>
§ 1. Oscilaciones armónicas . . . . .	301
1.1. Ecuación diferencial de oscilaciones armónicas (301). 1.2. De-terminación de la amplitud y de la fase inicial a partir de los datos iniciales (303). 1.3. Oscilaciones verticales (305).	
§ 2. Oscilaciones amortiguadas . . . . .	308
2.1. Ecuación diferencial de oscilaciones amortiguadas (308). 2.2. Propiedades de las oscilaciones amortiguadas (309).	
§ 3. Oscilaciones forzadas . . . . .	313
3.1. Oscilaciones forzadas sin tener en cuenta la resistencia (313). 3.2. Resonancia (316). 3.3. Influencia de la resistencia en las oscilaciones forzadas (316).	
Problemas . . . . .	321
<b>Capítulo XV. Teoremas generales de la Dinámica del punto material en movimiento absoluto . . . . .</b>	<b>323</b>
§ 1. Teorema de la variación de la cantidad de movimiento de un punto material . . . . .	323
1.1. Impulso de fuerza (323). 1.2. Teorema de la variación de la cantidad de movimiento en las formas coordenada y vectorial (324). 1.3. Corolarios (325).	
§ 2. Teorema de la variación del momento de la cantidad de movimiento de un punto material . . . . .	327
2.1. Momento de la cantidad de movimiento de un punto material respecto a un centro y a un eje (327). 2.2. Teorema de la variación del momento de la cantidad de movimiento de un punto material (328). 2.3. Corolarios (330).	
§ 3. Teorema de la variación de la energía cinética del punto material . . . . .	331
3.1. Trabajo y potencia de una fuerza (331). 3.2. Teorema de la variación de la energía cinética (334). 3.3. Campo de fuerzas potencial y función de la fuerza (335). 3.4. Conservación de la energía mecánica del punto material durante su movimiento en el campo de fuerzas potencial (337).	
Problemas . . . . .	339
<b>Pítulo XVI. Movimiento del punto material no libre. Movimiento relativo del punto . . . . .</b>	<b>340</b>
§ 1. Movimiento del punto material no libre . . . . .	340
1.1. Movimiento del punto material sobre una superficie (340). 1.2. Movimiento del punto por la curva (344). 1.3. Péndulo matemático circular (346).	
§ 2. Movimiento relativo del punto material . . . . .	348
2.1. Ecuaciones diferenciales del movimiento relativo del punto (348). 2.2. Casos particulares (350).	
Problemas . . . . .	350
<b>Capítulo XVII. Estática analítica . . . . .</b>	<b>355</b>
1. Principio de los desplazamientos virtuales . . . . .	355
1.1. Definiciones principales (355). 1.2. Determinación de las ligaduras ideales (356). 1.3. Principio de desplazamientos virtuales (357).	
2. Condiciones de equilibrio del sistema de puntos materiales en coordenadas generalizadas . . . . .	362

2.1) Números de grados de libertad (362). 2.2. Fuerzas generalizadas (364). 2.3. Condiciones de equilibrio del sistema de puntos materiales en coordenadas generalizadas (365).	
Problemas . . . . .	372
<b>Capítulo XVIII. Ecuación general de la Dinámica. Ecuaciones de Lagrange del segundo orden . . . . .</b>	374
§ 1. Ecuación general de la Dinámica . . . . .	374
1.1. Planteamiento del problema (374). 1.2. Deducción de la ecuación general de la Dinámica (principio de D'Alembert — Lagrange) (374)	
§ 2. Ecuaciones diferenciales del movimiento del sistema en coordenadas generalizadas (ecuaciones de Lagrange de segundo orden)	378
2.1. Planteamiento del problema (378). 2.2. Deducción de las ecuaciones de Lagrange del segundo orden (§9). 2.3. Ecuaciones de Lagrange de segundo orden en el caso del campo de fuerzas potencial (382). 2.4. Conclusión (383).	
Problemas . . . . .	388
<b>Capítulo XIX. Teoremas generales de la Dinámica del sistema de puntos materiales . . . . .</b>	389
§ 1. Teorema de la variación de la cantidad de movimiento del sistema. Teorema del movimiento del centro de masas del sistema.	389
1.1. Cantidad de movimiento de un sistema y su expresión por medio de la masa del sistema y la velocidad del centro de masas (389). 1.2. Teorema de la variación de la proyección de la cantidad de movimiento del sistema (391). 1.3. Teorema del movimiento del centro de masas del sistema (393). 1.4. Primeras integrales (393).	
§ 2. Teorema del momento cinético del sistema . . . . .	396
2.1. Definiciones (396). 2.2. Teorema del momento cinético respecto a un eje fijo (397). 2.3. Primeras integrales (399).	
§ 3. Teorema de la variación de la energía cinética del sistema . . . . .	400
3.1. Teorema de la variación de la energía cinética del sistema en forma diferencial (400). 3.2. Teorema de la variación de la energía cinética en forma integral (402). 3.3. Observación acerca del trabajo de las fuerzas interiores (403). 3.4. Integral de fuerzas vivas (405). 3.5. Observaciones sobre la aplicación de los teoremas generales de la Dinámica del sistema de puntos materiales (406).	
§ 4. Teoremas generales del movimiento del sistema de puntos materiales respecto al centro de masas . . . . .	407
4.1. Momento cinético y energía cinética del sistema expresado mediante los ejes de König (407). 4.2. Teorema de Réal del momento cinético del sistema en movimiento relativo (en movimiento respecto al centro de masas del sistema) (409). 4.3. Teorema de König de la variación de la energía cinética del sistema en movimiento relativo (en movimiento respecto al centro de masas del sistema) (410).	
Problemas . . . . .	411
<b>Capítulo XX. Principio de D'Alembert. Estabilidad del equilibrio y oscilaciones pequeñas . . . . .</b>	413
§ de D'Alembert . . . . .	413
1.1. Principio de D'Alembert para un punto material (413).	

1.2.] Principio de D'Alembert para un sistema de puntos materiales (416).	
§ 2. Estabilidad del equilibrio y oscilaciones pequeñas . . . . .	420
2.1. Planteamiento del problema (420). 2.2. Teorema de Lagrange de la estabilidad del equilibrio (421). 2.3. Oscilaciones libres pequeñas de un sistema mecánico con un grado de libertad junto a la posición de equilibrio estable (423).	
Problemas . . . . .	426
<b>Capítulo XXI. Elementos de la Dinámica del cuerpo sólido . . . . .</b>	<b>427</b>
§ 1. Momentos de inercia de un cuerpo respecto de los ejes . . . . .	427
1.1. Definiciones (427). 1.2. Teorema de Steiner de momentos de inercia respecto a ejes paralelos (428). 1.3. Momentos de inercia de cuerpos elementales (429).	
§ 2. Rotación del cuerpo sólido alrededor de un eje fijo . . . . .	432
2.1. Momento cinético y energía cinética del cuerpo en movimiento de rotación (432). 2.2. Ecuación diferencial de la rotación del cuerpo sólido alrededor de un eje fijo (433). 2.3. Péndulo compuesto (434). 2.4. Trabajo y potencia de un sistema de fuerzas aplicadas al cuerpo sólido en rotación alrededor de un eje fijo (435). 2.5. Teorema de la variación de la energía cinética durante un movimiento de rotación (437).	
§ 3. Movimiento planoparalelo del cuerpo sólido . . . . .	<b>439</b>
3.1. Ecuaciones diferenciales del movimiento planoparalelo (439). 3.2. Energía cinética del cuerpo sólido en movimiento plano: paralelo (442).	
§ 4. Teoría elemental del giroscopio . . . . .	444
4.1. Precesión del giroscopio (444). 4.2. Momento giroscópico. Regla de Foucault (444). 4.3. Efecto giroscópico (445).	
Problemas . . . . .	446
<b>Capítulo XXII. Dinámica del cuerpo sólido (continuación) . . . . .</b>	<b>449</b>
§ 1. Geometría de masas . . . . .	449
1.1. Fórmula general del momento de inercia del cuerpo sólido respecto a un eje arbitrario (449). 1.2. Elipsoide de inercia (450). 1.3. Propiedades del elipsoide de inercia y de los ejes centrales principales (451). 1.4. Cálculo de los momentos de inercia centrfugos (454).	
§ 2. Presión sobre el eje del cuerpo sólido en rotación . . . . .	455
2.1. Vector principal y momento principal de las fuerzas de Inercia (455). 2.2. Reacciones dinámicas (457). 2.3. Equilibrio de las fuerzas de inercia (459).	
3. Ejemplos de aplicación de las ecuaciones de Lagrange de segundo orden a la Dinámica del cuerpo sólido . . . . .	460
Problemas . . . . .	465
<b>Capítulo XXIII. Elementos de teoría del choque y de la Dinámica del punto de masa variable . . . . .</b>	<b>467</b>
§ 1. Elementos de teoría del choque . . . . .	467
1.1. Fenómeno del choque (467). 1.2. Choque directo y central de un cuerpo contra una superficie fija (469). 1.3. Determinación experimental del coeficiente de restitución (470). 1.4. Choque directo y central de dos cuerpos (471). 1.5. Teorema de Carnot (473). 1.6. Choque contra un cuerpo sólido en rotación alrededor de un eje fijo (475). 1.7. Centro del choque (477).	

§ 2. Elementos de la Dinámica de un punto de <b>masa</b> variable . . . . .	478
2.1. Ecuación de Mecscherski (478). 2.2. Primer problema de Tsiolkovski (480). 2.3. Segundo problema de Tsiolkovski (481). Problemas . . . . .	<b>482</b>
<b>Capítulo XXIV. Movimiento del punto material en un campo de fuerzas central</b> . . . . .	484
§ 1. Fórmulas del Binet . . . . .	484
1.2. Campo de fuerzas central (484). 1.2. Primera fórmula de Binet (485). 1.3. Segunda fórmula de Binet (487).	
§ 2. Breve información acerca del movimiento de los planetas y satélites artificiales de la Tierra . . . . .	487
2.1. Deducción de la ley de la gravitación de Newton a partir de las leyes de Kepler (487). 2.2. Problema de Kepler—Newton (488). 2.3. Noción acerca de las trayectorias de los satélites terrestres (490).	
<b>Capítulo XXV. Nociones principales acerca de la mecánica del hilo</b> . . . . .	<b>493</b>
§ 1) Equilibrio del hilo inextensible ideal en un campo de fuerzas estacionario . . . . .	493
1.1. Ecuación de equilibrio de un elemento libre del 'hilo' en forma vectorial (493). 1.2. Ecuaciones de equilibrio en proyecciones sobre ejes naturales (494). 1.3. Ecuaciones de equilibrio del hilo en proyecciones sobre los ejes del sistema de coordenadas cartesianas (495). 1.4. Ecuaciones de equilibrio del hilo sobre una superficie lisa en proyecciones sobre ejes locales (497). 1.5. Ecuaciones de equilibrio del hilo sobre una superficie lisa en proyecciones sobre los ejes del sistema de coordenadas cartesianas rectangulares (498). 1.6) Equilibrio del hilo sobre una superficie, cilíndrica no lisa. Fórmula de Euler (499).	
§ 2) Nociones principales de la Dinámica del hilo inextensible ideal . . . . .	501
2.1. Ecuación vectorial del movimiento del hilo (501). 2.2. Caso de movimiento estacionario (502). 2.3. Movimiento y tensión del hilo que se desliza a lo largo de una curva plana rugosa fija. Generalización de la fórmula de Euler propuesta por A. Minakov (504).	
Anexo. Deducción simplificada de los teoremas generales de la Dinámica de un sistema de puntos materiales en movimiento absoluto (para los que estudian la Mecánica Teórica por un programa abreviado) . . . . .	507
A) Teoremas de la variación de la cantidad de movimiento de un sistema de puntos materiales y del movimiento de su centro de masas (507). B) Teorema del momento cinético de un sistema de puntos materiales (509). C) Teorema de la variación de la energía cinética de un sistema de puntos materiales (en forma diferencial (511).	
Bibliografía . . . . .	514
Índice de materias . . . . .	515