

# Indice

## Introducción

¿Qué es la mecánica? . . . . .	15
Apunte histórico sobre el desarrollo de la mecánica. . . . .	18
Prólogo a las teorías introductorias . . . . .	22

## 1. Teorías introductorias

<i>Magnitudes físicas y relaciones entre ellas.</i> . . . . .	23
Magnitudes escalares, vectoriales, tensoriales . . . . .	24
Cálculo de las magnitudes físicas, prescindiendo del sentido y de la dirección. . . . .	26
Magnitudes derivadas . . . . .	29
Relaciones físicas . . . . .	31
Magnitudes fundamentales . . . . .	35
Invariancia de las relaciones físicas. . . . .	38
Métodos dimensionales. . . . .	40
Controles dimensionales . . . . .	42
Cálculo y relaciones entre magnitudes escalares, vectoriales y tensoriales. . . . .	44
Cálculo infinitesimal de magnitudes físicas . . . . .	45

## 2. Cálculo vectorial

<i>Definiciones.</i> . . . . .	46
Vector. . . . .	46
Componente de un vector según una recta y según un plano. . . . .	47
La componente de un vector según un eje . . . . .	47
Componentes cartesianas de un vector . . . . .	47
Cambio de referencia . . . . .	49
<i>Operaciones elementales</i> . . . . .	50
Suma de vectores . . . . .	50
Diferencia de vectores . . . . .	52
Producto de un vector por un escalar. . . . .	52

Descomposición cartesiana . . . . .	53
Producto escalar. . . . .	53
Producto vectorial. . . . .	54
Producto mixto . . . . .	56
Doble producto vectorial . . . . .	56
Vectores planos . . . . .	57
Significado de las operaciones e invariancia de las relaciones vectoriales . . . . .	58
<i>Operaciones infinitesimales.</i> . . . . .	59
Vector función de un parámetro. . . . .	59
Derivación . . . . .	60
Integración. . . . .	60
Punto función de un parámetro . . . . .	61
Vector función de varios parámetros . . . . .	62
<i>Campos vectoriales</i> . . . . .	63
Campo vectorial. . . . .	63
Circulación. . . . .	64
Flujo . . . . .	64
Campo irrotacional . . . . .	65
Campo solenoidal. . . . .	67
Propiedades integrales del gradiente, rotación y divergencia . . . . .	69
Campo armónico . . . . .	70
Funciones armónicas. . . . .	71
Campos armónicos planos . . . . .	73
Funciones de variable compleja . . . . .	73
Representación conforme. . . . .	76
<i>Vectores aplicados y cursores.</i> . . . . .	77
Vector aplicado . . . . .	77
Cursos. . . . .	77
<b>3. Cálculo tensorial</b>	
<i>Tensores</i> . . . . .	78
Representación cartesiana de un tensor . . . . .	78
Igualdad y operaciones tensoriales . . . . .	82
Coordenadas generales . . . . .	85
Sistemas covariantes y contravariantes . . . . .	86
Representación de vectores y tensores en coordenadas generales . . . . .	89
Tensor fundamental . . . . .	90
Tensor de Ricci. . . . .	91
Tensores simétricos y hemisimétricos. . . . .	93
Tensores isótropos. . . . .	95
Campos tensoriales. Derivación . . . . .	96
Cálculo tensorial plano. . . . .	99
Cálculo tensorial superficial. . . . .	101
Cálculo tensorial en una variedad riemanniana. . . . .	104
Papel del cálculo tensorial . . . . .	105
<i>Homografías vectoriales</i> . . . . .	106
Homografía vectorial. . . . .	106
Hómografías particulares . . . . .	107

Operaciones elementales . . . . .	108
Invariantes . . . . .	109
Cuádriga indicatriz . . . . .	110

## CINEMATICA

### 4. Puntos y sistemas móviles

Punto móvil . . . . .	113
Sistema móvil. . . . .	115
Sistemas holónomos y sistemas anholónomos . . . . .	116
Sistema rígido . . . . .	117
Ligaduras de acoplamiento entre cuerpos rígidos. . . . .	120

### 5. Desplazamiento

<i>Definiciones.</i> . . . . .	122
Desplazamiento de un punto . . . . .	122
Desplazamiento de un sistema. . . . .	122
<i>Desplazamiento rígido</i> . . . . .	123
Desplazamiento rígido . . . . .	123
Desplazamiento traslacional. . . . .	123
Desplazamiento rotatorio . . . . .	124
Desplazamiento rígido paralelo a un plano . . . . .	126
Desplazamiento rígido con un punto fijo . . . . .	127
Desplazamiento roto-traslacional. . . . .	128
Análisis del desplazamiento rígido . . . . .	128
Representación analítica del desplazamiento rígido . . . . .	130
<i>Desplazamiento homográfico</i> . . . . .	132
Desplazamiento homográfico . . . . .	132
Deformación en el desplazamiento homográfico . . . . .	134
<i>Desplazamiento regular</i> . . . . .	137
Desplazamiento de un sistema continuo. . . . .	137
Tensor de deformación. Congruencia. . . . .	138
<i>Desplazamientos infinitesimales.</i> . . . . .	139
Definición . . . . .	139
Principio de superposición de los desplazamientos infinitesimales. . . . .	139
Desplazamientos rígidos infinitesimales. . . . .	140
Desplazamiento homográfico infinitesimal. . . . .	142
Desplazamiento regular infinitesimal . . . . .	143
Condiciones de congruencia. . . . .	145

### 6. Movimiento

<i>Nociones preliminares.</i> . . . . .	147
El tiempo . . . . .	147
Movimiento . . . . .	148

<i>Movimiento de un punto</i> . . . . .	149
Movimiento de un punto . . . . .	149
Movimiento rectilíneo uniforme . . . . .	151
Movimiento circular uniforme . . . . .	152
Movimiento armónico . . . . .	152
Movimiento plano . . . . .	153
Composición de movimientos . . . . .	154
Movimiento helicoidal uniforme . . . . .	155
<i>Movimiento de un sistema</i> . . . . .	155
Movimiento de un sistema holónimo . . . . .	155
Movimiento rígido . . . . .	157
Movimiento traslacional . . . . .	157
Movimiento rotatorio . . . . .	158
Movimiento polar . . . . .	158
Análisis y representación del movimiento rígido . . . . .	159

## 7. Velocidad

<i>Velocidad de un punto</i> . . . . .	161
Velocidad . . . . .	161
Velocidad en los movimientos: rectilíneo uniforme, circular uniforme y armónico . . . . .	163
Velocidad en el movimiento plano . . . . .	164
Determinación del movimiento, conociendo la velocidad . . . . .	165
Desplazamiento elemental . . . . .	165
<i>Acto de movimiento de un sistema</i> . . . . .	166
Definición . . . . .	166
Desplazamiento elemental de un sistema . . . . .	166
<i>Actos de movimiento traslacional, rotatorio, roto-traslacional</i> . . . . .	166
Acto de movimiento traslacional . . . . .	166
Acto de movimiento rotatorio . . . . .	167
Acto de movimiento roto-traslacional . . . . .	171
Análisis del acto de movimiento roto-traslacional . . . . .	173
<i>Descripción geométrica del movimiento rígido</i> . . . . .	175
Descripción geométrica del movimiento rígido plano . . . . .	175
Teorema de Chasles . . . . .	178
Perfiles conjugados . . . . .	179
Transmisiones por rozamiento . . . . .	180
Engranajes . . . . .	181
Descripción geométrica del movimiento polar . . . . .	182
Descripción geométrica del movimiento rígido en general . . . . .	183
<i>Acto de movimiento regular</i> . . . . .	184
Punto de vista lagrangiano y punto de vista euleriano . . . . .	184
Líneas de corriente y líneas de flujo . . . . .	186
Análisis del acto de movimiento regular . . . . .	186
Acto de movimiento homográfico . . . . .	188
Acto de movimiento irrotacional . . . . .	188

Acto de movimiento solenoidal . . . . .	188
Acto de movimiento armónico . . . . .	189
<i>Acto de movimiento de un sistema ligado</i> . . . . .	193
Acto de movimiento de un sistema holónimo . . . . .	194
Acto de movimiento de un sistema no holónimo . . . . .	196
<i>Acto de movimiento virtual</i> . . . . .	198
Desplazamiento y acto de movimiento virtuales . . . . .	198
Representación analítica del acto de movimiento virtual . . . . .	200

### 8. Aceleración

<i>Aceleración de un punto</i> . . . . .	202
Aceleración . . . . .	202
Aceleración en los movimientos: rectilíneo uniforme; circular uniforme, armónico; helicoidal uniforme . . . . .	204
Aceleración en el movimiento plano . . . . .	205
Conocida la aceleración, determinación del movimiento . . . . .	206
<i>Movimiento uniformemente acelerado</i> . . . . .	207
Aceleración de la gravedad . . . . .	207
Movimiento uniformemente acelerado . . . . .	208
<i>Movimiento central</i> . . . . .	210
Movimiento central . . . . .	210
Fórmula de Binet . . . . .	211
Movimiento kepleriano . . . . .	212
Movimiento central elástico . . . . .	213
<i>Distribución de la aceleración en los sistemas</i> . . . . .	215
Aceleración en el movimiento traslacional y en el movimiento rotacional . . . . .	215
Aceleración en el movimiento rígido . . . . .	215
Aceleración en el movimiento rígido plano . . . . .	216

### 9. Cinemática relativa y relativista

<i>Movimiento relativo</i> . . . . .	217
Movimiento absoluto y movimiento relativo . . . . .	217
Postulados de la cinemática clásica . . . . .	218
Fórmulas de transformación . . . . .	218
<i>Velocidad en el movimiento relativo</i> . . . . .	220
Paralelogramo de velocidades . . . . .	220
Acto de movimiento absoluto y acto de movimiento relativo . . . . .	222
<i>Composición de los actos de movimiento</i> . . . . .	222
Acto de movimiento compuesto . . . . .	222
<i>Aceleramiento en el movimiento relativo</i> . . . . .	225
Teorema de Coriolis . . . . .	225

<i>Cinemática relativista</i> . . . . .	227
Coordenadas especiales y temporales de un suceso respecto a dos observadores en movimiento relativo . . . . .	227
Postulados de la cinemática relativista restringida . . . . .	229
Transformación de Lorentz . . . . .	230
Relatividad de la simultaneidad . . . . .	232
Contracción de las longitudes . . . . .	233
Dilatación de los tiempos . . . . .	233
Composición relativista de las velocidades . . . . .	234
El espacio-tiempo pseudo-euclidiano . . . . .	235
El espacio-tiempo riemanniano . . . . .	238

## ESTÁTICA

### 10. Nociones preliminares y estática del punto

<i>Nociones preliminares</i> . . . . .	240
Concepto estático de fuerza . . . . .	240
Equilibrio . . . . .	241
Medida estática de las fuerzas . . . . .	242
<i>Estática del punto</i> . . . . .	242
Equilibrio de un punto libre . . . . .	242
Peso de un punto . . . . .	243
Equilibrio de un punto ligado. Rozamiento . . . . .	244
<i>Estática de los sistemas</i> . . . . .	246
Equilibrio de los sistemas de puntos . . . . .	246

### 11. Estática de los cuerpos rígidos

<i>Sistemas equipolentes de fuerzas actuantes sobre cuerpos rígidos</i> . . . . .	248
Postulados fundamentales sobre la estática de los cuerpos rígidos . . . . .	248
Fuerzas equipolentes. Operaciones invariantes . . . . .	249
Fuerzas concurrentes . . . . .	249
Fuerzas paralelas con resultante no nula . . . . .	249
Fuerzas planas con resultante no nula. Método del polígono funicular . . . . .	250
Reducción de dos fuerzas . . . . .	252
Fuerzas de resultante nula. Pares . . . . .	253
<i>Momento</i> . . . . .	254
Momento de una fuerza respecto a un polo . . . . .	255
Momento de una fuerza respecto a un eje . . . . .	255
Momento de un sistema de fuerzas . . . . .	256
Teorema fundamental . . . . .	257
Reducción de los sistemas de fuerzas actuantes sobre los cuerpos rígidos . . . . .	259
Extensión a los cursores genéricos . . . . .	262
<i>Peso de un cuerpo rígido</i> . . . . .	263
<i>Baricentro</i> . . . . .	263
Propiedades de los baricentros . . . . .	266
Ejemplos de cálculo de baricentros . . . . .	268

<i>Estática de los cuerpos rígidos libres</i> . . . . .	271
Equilibrio de los cuerpos rígidos libres . . . . .	271
Casos particulares . . . . .	273
<i>Estática de los cuerpos rígidos ligados</i> . . . . .	273
Equilibrio de los cuerpos rígidos ligados . . . . .	273
Equilibrio de un cuerpo rígido con un punto fijo . . . . .	274
Equilibrio de un cuerpo rígido con un eje fijo . . . . .	275
Cuerpo rígido apoyado en un plano fijo liso . . . . .	277
Equilibrio de un sólido pesado sobre un plano inclinado liso . . . . .	279
Equilibrio de un sólido apoyado en una superficie lisa . . . . .	280
Apoyos rugosos . . . . .	280
Rozamiento girante . . . . .	282
Cálculo de las reacciones de ligadura . . . . .	284

## 12. Estática de los sistemas deformables

<i>Postulados</i> . . . . .	290
Postulado de las ligaduras adicionales, ecuaciones cardinales de la estática . . . . .	290
Postulados de las presiones o tensiones interiores. Principio estático de la acción y de la reacción . . . . .	291
<i>Estática de los sistemas articulados</i> . . . . .	292
Equilibrio de los sistemas articulados simplemente conexos . . . . .	293
Entramados reticulares . . . . .	295
<i>Estática de los hilos</i> . . . . .	296
Tensión de un hilo . . . . .	296
Solicitud diácreta . . . . .	297
Solicitud continua . . . . .	298
Equilibrio de un hilo homogéneo pesado . . . . .	302
Puentes colgantes . . . . .	304
Arcos resistentes sólo a compresión . . . . .	305
Hilo sobre una superficie lisa . . . . .	306
Hilo sobre superficie rugosa . . . . .	306
<i>Estática de las barras.</i> . . . . .	308
Esfuerzos en una barra . . . . .	308
Ecuaciones de equilibrio . . . . .	309
Barras sometidas a pequeñas variaciones de configuración . . . . .	310
Barras sometidas a variaciones finitas de configuración . . . . .	311
<i>Estática de los cuerpos deformables continuos</i> . . . . .	313
Solicitud continua de cuerpos . . . . .	313
Ecuaciones integrales de equilibrio . . . . .	314
Esfuerzo de un cuerpo continuo . . . . .	316
Tensor de los esfuerzos . . . . .	318
Ecuaciones de equilibrio . . . . .	320
Cuádricas indicatrices de los esfuerzos . . . . .	323

Esfuerzos principales . . . . .	325
Valor medio de los esfuerzos. Desviador . . . . .	326
Esfuerzos planos . . . . .	326
<i>Estática de los fluidos.</i> . . . . .	329
Presión . . . . .	329
Ecuaciones de equilibrio . . . . .	330
Equilibrio de los fluidos pesados. . . . .	331
Principio de Arquímedes . . . . .	333
Estática de los flotadores . . . . .	334
Equilibrio de los gases pesados . . . . .	335
<i>Estática de los cuerpos elásticos.</i> . . . . .	336
Vínculo entre tensiones y deformaciones . . . . .	336
Ecuaciones de equilibrio . . . . .	339
Extensión. Flexión. Torsión. . . . .	341
<i>Estática de los cuerpos plásticos.</i> . . . . .	346
Plasticidad . . . . .	346
Equilibrio elastoplástico . . . . .	347
Esfuerzos planos. Deformación plana. . . . .	348
<i>Estática de las membranas y de las placas</i> . . . . .	350
Equilibrio de las membranas . . . . .	350
Equilibrio de las placas. . . . .	353
<b>13. Principios de los trabajos virtuales</b>	
<i>Inducción del principio de los trabajos virtuales</i> . . . . .	355
Trabajo virtual . . . . .	355
Trabajo virtual en condiciones de equilibrio. . . . .	356
Principio de los trabajos virtuales . . . . .	359
Aplicaciones . . . . .	360
Principio de superposición y principio de inversión. . . . .	363
<i>Estática de los sistemas de ligaduras</i> . . . . .	364
Ecuaciones de equilibrio . . . . .	364
Equilibrio de los sistemas holónomos. . . . .	368
Solicitación activa conservativa . . . . .	370
Equilibrio de los sistemas pesados . . . . .	372
Estabilidad del equilibrio. . . . .	373
<i>Energía interna</i> . . . . .	374
Trabajo virtual interno. . . . .	374
Energía interna . . . . .	376
Energía elástica . . . . .	377
Principio de reciprocidad. . . . .	377