

CONTENIDO

Prefacio de la quinta edición	XVII
Prefacio de la primera edición	XIX

PARTE I CINEMÁTICA DE MECANISMOS. 1

Capítulo 1 Introducción 3

1.0 Propósito	3
1.1 Cinemática y cinética	3
1.2 Mecanismos y máquinas	4
1.3 Una breve historia de la cinemática	4
1.4 Aplicaciones de la cinemática	5
1.5 El proceso de diseño	6
<i>Diseño, invención, creatividad</i>	6
<i>Identificación de la necesidad</i>	7
<i>Investigación preliminar</i>	7
<i>Planteamiento de objetivos</i>	8
<i>Especificaciones de desempeño</i>	8
<i>Generación de ideas e invención</i>	9
<i>Análisis</i>	10
<i>Selección</i>	10
<i>Diseño detallado</i>	11
<i>Creación de prototipos y pruebas</i>	11
<i>Producción</i>	11
1.6 Otros enfoques al diseño	12
<i>Diseño axiomático</i>	12
1.7 Soluciones múltiples	13
1.8 Factores humanos en la ingeniería	13
1.9 El reporte en ingeniería	13
1.10 Unidades	14
1.11 Un estudio de caso de diseño	16
<i>Educación para la creatividad en ingeniería</i>	16
1.12 Lo que viene	20
1.13 Recursos que acompañan el texto	20
<i>Programas</i>	20
<i>Videos</i>	20
1.14 Referencias	21
1.15 Bibliografía	21

Capítulo 2 Fundamentos de cinemática 24

2.0 Introducción	24
2.1 Grados de libertad (<i>gdl</i>) o movilidad	24
2.2 Tipos de movimiento	25
2.3 Eslabones, juntas y cadenas cinemáticas	25
2.4 Dibujo de diagramas cinemáticos	28
2.5 Determinación del grado de libertad o movilidad	29
<i>Grado de libertad (movilidad) en mecanismos planos</i>	30
<i>Grado de libertad (movilidad) en mecanismos espaciales</i>	31
2.6 Mecanismos y estructuras	31
2.7 Síntesis de número	32
2.8 Paradojas	34
2.9 Isómeros	35
2.10 Transformación de eslabonamientos	36
2.11 Movimiento intermitente	39
2.12 Inversión	39
2.13 La condición de Grashof	41
<i>Clasificación del eslabonamiento de cuatro barras</i>	44

2.14	Eslabonamientos de más de cuatro barras	45
	<i>Eslabonamientos de cinco barras engranados</i>	45
	<i>Eslabonamientos de seis barras</i>	46
	<i>Criterios de rotabilidad tipo Grashof para eslabonamientos de orden alto</i>	46
2.15	Los resortes como eslabones	47
2.16	Mecanismos flexibles	48
2.17	Sistemas microelectromecánicos (MEMS, por sus siglas en inglés)	49
2.18	Consideraciones prácticas	50
	<i>Juntas de pasador contra correderas y semijuntas</i>	50
	<i>¿En voladizo o en doble voladizo?</i>	52
	<i>Eslabones cortos</i>	52
	<i>Relación de apoyo</i>	53
	<i>Correderas comerciales</i>	53
	<i>Eslabonamientos contra levas</i>	53
2.19	Motores y propulsores	54
	<i>Motores eléctricos</i>	54
	<i>Motores neumáticos e hidráulicos</i>	58
	<i>Cilindros neumáticos e hidráulicos</i>	58
	<i>Solenoides</i>	59
2.20	Referencias	59
2.21	Problemas	59
Capítulo 3 Síntesis gráfica de eslabonamientos		69
3.0	Introducción	69
3.1	Síntesis	69
3.2	Generación de función, trayectoria y movimiento	71
3.3	Condiciones límite	72
3.4	Síntesis dimensional	74
	<i>Síntesis de dos posiciones</i>	74
	<i>Síntesis de tres posiciones con pivotes móviles especificados</i>	77
	<i>Síntesis de tres posiciones con los pivotes móviles alternos</i>	78
	<i>Síntesis de tres posiciones con pivotes fijos especificados</i>	79
	<i>Síntesis de posición para más de tres posiciones</i>	82
3.5	Mecanismos de retorno rápido	82
	<i>Mecanismo de retorno rápido de cuatro barras</i>	82
	<i>Mecanismo de retorno rápido de seis barras</i>	83
3.6	Curvas del acoplador	85
3.7	Cognados	92
	<i>Movimiento paralelo</i>	94
	<i>Cognados de cinco barras engranados del mecanismo de cuatro barras</i>	95
3.8	Mecanismos de línea recta	97
	<i>Diseño óptimo de mecanismos de cuatro barras de línea recta</i>	99
3.9	Mecanismos con detenimiento	102
	<i>Mecanismos con detenimiento simple</i>	103
	<i>Mecanismos con doble detenimiento</i>	104
3.10	Otros mecanismos útiles	105
	<i>Movimientos del pistón de velocidad constante</i>	105
	<i>Movimiento de balancín con excursión angular grande</i>	106
	<i>Movimiento circular con centro remoto</i>	108
3.11	Referencias	108
3.12	Bibliografía	109
3.13	Problemas	110
3.14	Proyectos	117
Capítulo 4 Análisis de posición		121
4.0	Introducción	121
4.1	Sistemas de coordenadas	122
4.2	Posición y desplazamiento	123
	<i>Posición</i>	123
	<i>Transformación de coordenadas</i>	123
	<i>Desplazamiento</i>	123

4.3	Traslación, rotación y movimiento complejo	124
	<i>Traslación</i>	125
	<i>Rotación</i>	125
	<i>Movimiento complejo</i>	125
	<i>Teoremas</i>	125
4.4	Análisis gráfico de la posición de mecanismos articulados	126
4.5	Análisis algebraico de posición de mecanismos	126
	<i>Representación en configuración de lazo vectorial de mecanismos</i>	127
	<i>Números complejos como vectores</i>	127
	<i>Ecuación de lazo vectorial para un mecanismo de cuatro barras</i>	128
4.6	Solución de posición de un mecanismo de cuatro barras de manivela-corredera	132
4.7	Solución de posición de un eslabonamiento de cuatro barras corredera-manivela	134
4.8	Solución de posición de un mecanismo de manivela-corredera invertido	136
4.9	Eslabonamientos de más de cuatro barras	138
	<i>Eslabonamiento de cinco barras engranado</i>	138
	<i>Eslabonamientos de seis barras</i>	140
4.10	Posición de cualquier punto en un eslabonamiento	141
4.11	Ángulos de transmisión	142
	<i>Valores extremos del ángulo de transmisión</i>	142
4.12	Posiciones límite de cambio	143
4.13	Circuitos y ramas en mecanismos	144
4.14	Método de solución de Newton-Raphson	145
	<i>Determinación de una raíz unidimensional (método de Newton)</i>	146
	<i>Determinación de raíces multidimensionales (método de Newton-Raphson)</i>	147
	<i>Solución de Newton-Raphson para el mecanismo de cuatro barras</i>	148
	<i>Herramientas para la solución de ecuaciones</i>	148
4.15	Referencias	149
4.16	Problemas	149

Capítulo 5 Síntesis analítica de mecanismos. 158

5.0	Introducción	158
5.1	Tipos de síntesis cinemática	158
5.2	Síntesis de dos posiciones para salida de balancín	159
5.3	Puntos de precisión	160
5.4	Generación de movimiento de dos posiciones mediante síntesis analítica	160
5.5	Comparación de síntesis analítica y gráfica de dos posiciones	164
5.6	Solución de ecuaciones simultáneas	165
5.7	Generación de movimiento de tres posiciones mediante síntesis analítica	167
5.8	Comparación de síntesis analítica y gráfica de tres posiciones	170
5.9	Síntesis para la localización de un pivote fijo especificado	173
5.10	Círculos con punto en el círculo y punto en el centro	176
5.11	Síntesis analítica de cuatro y cinco posiciones	177
5.12	Síntesis analítica de un generador de trayectoria con temporización prescrita	178
5.13	Síntesis analítica de un generador de función de cuatro barras	178
5.14	Otros métodos de síntesis de mecanismos	180
	<i>Métodos de puntos de precisión</i>	182
	<i>Métodos de ecuación de curva del acoplador</i>	183
	<i>Métodos de optimización</i>	183
5.15	Referencias	186
5.16	Problemas	187

Capítulo 6 Análisis de la velocidad. 193

6.0	Introducción	193
6.1	Definición de velocidad	193
6.2	Análisis gráfico de la velocidad	195
6.3	Centros instantáneos de velocidad	198
6.4	Análisis de velocidad con centros instantáneos	202
	<i>Relación de velocidad angular</i>	203
	<i>Ventaja mecánica</i>	204
	<i>Utilización de los centros instantáneos en el diseño de mecanismos</i>	205

6.5	Centradas	206
	<i>Mecanismo "sin eslabones"</i>	208
	<i>Cúspides</i>	208
6.6	Velocidad de deslizamiento	209
6.7	Soluciones analíticas para el análisis de velocidad	211
	<i>Mecanismo de cuatro barras conjuntas de pasador</i>	211
	<i>Manivela-corredera de cuatro barras</i>	213
	<i>Mecanismo corredera-manivela de cuatro barras</i>	215
	<i>Mecanismo de cuatro barras manivela-corredera invertido</i>	216
6.8	Análisis de velocidad del mecanismo de cinco barras engranado	217
6.9	Velocidad de cualquier punto de un mecanismo	218
6.10	Referencias	219
6.11	Problemas	219
Capítulo 7 Análisis de la aceleración		233
7.0	Introducción	233
7.1	Definición de la aceleración	233
7.2	Análisis gráfico de la aceleración	235
7.3	Soluciones analíticas para el análisis de la aceleración	238
	<i>Mecanismo de cuatro barras con juntas de pasador</i>	238
	<i>Mecanismo de cuatro barras manivela-corredera</i>	241
	<i>Mecanismo corredera-manivela de cuatro barras</i>	243
	<i>Aceleración de Coriolis</i>	245
	<i>Mecanismo de cuatro barras manivela-corredera invertido</i>	246
7.4	Análisis de aceleración del mecanismo de cinco barras engranado	249
7.5	Aceleración de cualquier punto de un mecanismo	250
7.6	Tolerancia humana a la aceleración	251
7.7	Sacudimiento	253
7.8	Mecanismos de N barras	255
7.9	Referencias	255
7.10	Problemas	255
7.11	Laboratorio virtual	268
Capítulo 8 Diseño de levas		269
8.0	Introducción	269
8.1	Terminología de levas	269
	<i>Tipo de movimiento del seguidor</i>	270
	<i>Tipo de cierre de junta</i>	270
	<i>Tipo de seguidor</i>	271
	<i>Tipo de leva</i>	272
	<i>Tipo de restricciones de movimiento</i>	272
	<i>Tipo de programa de movimiento</i>	273
8.2	Diagramas SVAJ	273
8.3	Diseño de levas con doble detenimiento: selección de las funciones SVAJ	274
	<i>Ley fundamental de diseño de levas</i>	276
	<i>Movimiento armónico simple (MAS)</i>	276
	<i>Desplazamiento cicloidal</i>	278
	<i>Funciones combinadas</i>	280
	<i>Familia SCCA de funciones de doble detenimiento</i>	281
	<i>Funciones polinomiales</i>	287
	<i>Aplicaciones de polinomios con doble detenimiento</i>	288
8.4	Diseño de una leva con detenimiento simple: selección de las funciones SVAJ	290
	<i>Aplicaciones de polinomios a detenimiento simple</i>	293
	<i>Efecto de la asimetría en la solución polinomial al caso de subida-bajada</i>	294
8.5	Movimiento de trayectoria crítica (CPM)	297
	<i>Polinomios utilizados para movimiento de trayectoria crítica</i>	297
8.6	Dimensionamiento de la leva: ángulo de presión y radio de curvatura	302
	<i>Ángulo de presión: seguidores de rodillo trasladantes</i>	303
	<i>Selección del radio de un círculo primario</i>	305
	<i>Momento de volteo: seguidor de cara plana trasladante</i>	306
	<i>Radio de curvatura: seguidor de rodillo trasladante</i>	306
	<i>Radio de curvatura: seguidor de cara plana trasladante</i>	309

8.7	Consideraciones prácticas de diseño	312
	¿Seguidor trasladante u oscilante?	312
	¿Con cierre de forma o de fuerza?	313
	¿Leva radial o axial?	313
	¿Seguidor de rodillo o de cara plana?	313
	¿Con detenimiento o sin detenimiento?	314
	¿Rectificar o no rectificar?	314
	¿Lubricar o no lubricar?	315
8.8	Referencias	315
8.9	Problemas	315
8.10	Laboratorio virtual	320
8.11	Proyectos	320

Capítulo 9 Trenes de engranes 324

9.0	Introducción	324
9.1	Cilindros rodantes	324
9.2	Ley fundamental de engranaje	325
	<i>La forma de involuta en dientes de engrane.</i>	326
	<i>Ángulo de presión</i>	327
	<i>Cambio de la distancia entre centros</i>	328
	<i>Juego entre dientes</i>	329
9.3	Nomenclatura de diente de engrane	329
9.4	Interferencia y socavado	331
	<i>Formas de diente de cabeza desigual.</i>	332
9.5	Relación de contacto	332
9.6	Tipos de engranes	335
	<i>Engranes rectos, helicoidales y de espina de pescado.</i>	335
	<i>Tornillos sinfín y engranes de tornillo sinfín</i>	335
	<i>Cremallera y piñón.</i>	336
	<i>Engranes cónicos e hipoidales.</i>	337
	<i>Engranes no circulares.</i>	337
	<i>Transmisiones de banda y cadena</i>	338
9.7	Trenes de engranes simples	340
9.8	Trenes de engranes compuestos	340
	<i>Diseño de trenes compuestos.</i>	341
	<i>Diseño de trenes compuestos revertidos</i>	341
	<i>Un algoritmo para el diseño de trenes de engranes compuestos</i>	343
9.9	Trenes de engranes epicíclicos o planetarios	346
	<i>Método tabular.</i>	348
	<i>Método de la fórmula.</i>	351
9.10	Eficiencia de los trenes de engranes	352
9.11	Transmisiones	354
9.12	Diferenciales	358
9.13	Referencias	360
9.14	Bibliografía	360
9.15	Problemas	360

PARTE II DINÁMICA DE MAQUINARIA 369

Capítulo 10 Fundamentos de dinámica 371

10.0	Introducción	371
10.1	Leyes del movimiento de Newton	371
10.2	Modelos dinámicos	372
10.3	Masa	372
10.4	Momento de masa y centro de gravedad	373
10.5	Momento de inercia de masa (segundo momento de masa)	374
10.6	Teorema de ejes paralelos (teorema de transferencia)	375
10.7	Determinación del momento de inercia de masa	376
	<i>Métodos analíticos.</i>	376
	<i>Métodos experimentales.</i>	376

10.8	Radio de giro	377
10.9	Modelado de eslabones rotatorios	377
10.10	Centro de percusión	378
10.11	Modelos dinámicos con parámetros concentrados	380
	<i>Constante de resorte</i>	380
	<i>Amortiguamiento</i>	380
10.12	Sistemas equivalentes	382
	<i>Amortiguadores combinados</i>	383
	<i>Combinación de resortes</i>	384
	<i>Combinación de masas</i>	384
	<i>Relaciones de palanca y engranes</i>	384
10.13	Métodos de solución	389
10.14	Principio de d'Alembert	390
10.15	Métodos de energía: trabajo virtual	391
10.16	Referencias	392
10.17	Problemas	393

Capítulo 11 Análisis de fuerzas dinámicas

11.0	Introducción	398
11.1	Método de solución newtoniano	398
11.2	Un solo eslabón en rotación pura	399
11.3	Análisis de fuerzas de un mecanismo articulado de tres barras de manivela-corredera	401
11.4	Análisis de fuerzas de un mecanismo de cuatro barras	405
11.5	Análisis de fuerzas de un mecanismo de cuatro barras de manivela-corredera	410
11.6	Análisis de fuerzas del mecanismo de manivela-corredera invertido	412
11.7	Análisis de fuerzas: mecanismos con más de cuatro barras	414
11.8	Fuerza y momento de sacudimiento	415
11.9	Programa Linkages	415
11.10	Análisis de fuerzas en mecanismos mediante métodos de energía	416
11.11	Control del par de torsión de entrada: volantes	418
11.12	Índice de transmisión de fuerza en un mecanismo	423
11.13	Consideraciones prácticas	424
11.14	Referencias	425
11.15	Problemas	425
11.16	Laboratorio virtual	435
11.17	Proyectos	435

Capítulo 12 Balanceo

12.0	Introducción	438
12.1	Balanceo estático	438
12.2	Balanceo dinámico	441
12.3	Balancesos de mecanismos articulados	444
	<i>Balanceo completo de fuerzas de mecanismos articulados</i>	445
12.4	Efecto del balanceo en fuerzas de sacudimiento y fuerzas en pasadores	447
12.5	Efecto del balanceo en el par de torsión de entrada	449
12.6	Balanceo del momento de sacudimiento en mecanismos	450
12.7	Medición y corrección del desbalanceo	452
12.8	Referencias	454
12.9	Problemas	455
12.10	Laboratorio virtual	460

Capítulo 13 Dinámica de motores

13.0	Introducción	461
13.1	Diseño del motor	461
13.2	Cinemática del mecanismo de manivela-corredera	466
13.3	Fuerzas del gas y pares de torsión de gas	470
13.4	Masas equivalentes	472
13.5	Fuerzas de inercia y de sacudimiento	475
13.6	Pares de torsión de inercia y de sacudimiento	477
13.7	Par de torsión total del motor	479

13.8	Volantes	479
13.9	Fuerzas de pasador en un motor de un cilindro	480
13.10	Balanceo del motor de un cilindro	485
	<i>Efecto del balanceo del cigüeñal en las fuerzas de los pasadores</i>	487
13.11	Cambios y relaciones de diseño	488
	<i>Relación biela/manivela</i>	488
	<i>Relación diámetro interno del cilindro/carrera</i>	488
	<i>Materiales</i>	489
13.12	Bibliografía	489
13.13	Problemas	489
13.14	Proyectos	493
Capítulo 14 Motores multicilindros		494
14.0	Introducción	494
14.1	Diseños de motores multicilindros	494
14.2	Diagrama de fase de manivelas	496
14.3	Fuerzas de sacudimiento en motores en línea	500
14.4	Par de torsión de inercia en motores en línea	501
14.5	Momento de sacudimiento en motores en línea	502
14.6	Encendido uniforme	503
	<i>Motor con un ciclo de dos tiempos</i>	504
	<i>Motor de cuatro tiempos</i>	506
14.7	Configuraciones de motores en V	510
14.8	Configuraciones de motores opuestas	517
14.9	Balanceo de motores multicilindros	517
	<i>Balanceo secundario en motores de cuatro cilindros en línea</i>	521
	<i>Motor de dos cilindros perfectamente balanceado</i>	523
14.10	Referencias	523
14.11	Bibliografía	523
14.12	Problemas	524
14.13	Proyectos	525
Capítulo 15 Dinámica de levas		527
15.0	Introducción	527
15.1	Análisis de fuerzas dinámicas del sistema leva-seguidor con cierre de fuerza	528
	<i>Respuesta no amortiguada</i>	528
	<i>Respuesta amortiguada</i>	529
15.2	Resonancia	534
15.3	Análisis de fuerzas cinetostáticas del sistema seguidor-leva con cierre de fuerza	535
15.4	Análisis de fuerzas cinetostáticas del sistema de leva-seguidor con cierre de forma	538
15.5	Par de torsión cinetostático en un árbol de levas	541
15.6	Medición de fuerzas dinámicas y aceleraciones	543
15.7	Consideraciones prácticas	544
15.8	Referencias	545
15.9	Bibliografía	545
15.10	Problemas	545
15.11	Laboratorio virtual	548
Capítulo 16 Mecanismos impulsados por leva y servomecanismos		549
16.0	Introducción	549
16.1	Servomotores	550
16.2	Control de servomovimiento	550
	<i>Funciones de servomovimiento</i>	550
16.3	Mecanismos impulsados por leva	551
16.4	Mecanismos servoaccionados	558
16.5	Otros mecanismos	562
16.6	Mecanismos impulsados por levas contra servoconducidos	562
	<i>Flexibilidad</i>	562
	<i>Costo</i>	562

	<i>Confiability</i>	562
	<i>Complejidad</i>	563
	<i>Robustez</i>	563
	<i>Empaque</i>	563
	<i>Capacidad de carga</i>	563
16.7	Referencias	564
16.8	Bibliografía	564
16.9	Problemas	564
Apéndices		566
	A Programas de computadora	566
	B Propiedades de materiales	568
	C Propiedades geométricas	571
	D Características de resortes	573
	E Atlas de curvas de acoplador	577
	F Respuestas de problemas seleccionados	578
	G Ecuaciones para motores multicilíndricos subbalanceados o sobrealanceados	589
Índice analítico		591
Catálogo del DVD		599