

# CONTENIDO

Prefacio      xiii

Reconocimientos      xviii

Lista de símbolos      xviii

## CAPÍTULO 1

---

### Fundamentos de vibración      2

<b>1.1</b>	<b>Comentarios preliminares</b>	<b>3</b>
<b>1.2</b>	<b>Breve historia del estudio de la vibración</b>	<b>4</b>
1.2.1	Orígenes del estudio de la vibración	4
1.2.2	De Galileo a Rayleigh	6
1.2.3	Contribuciones recientes	9
<b>1.3</b>	<b>Importancia del estudio de la vibración</b>	<b>10</b>
<b>1.4</b>	<b>Conceptos básicos de la vibración</b>	<b>13</b>
1.4.1	Vibración	13
1.4.2	Partes elementales de sistemas vibratorios	13
1.4.3	Cantidad de grados de libertad	14
1.4.4	Sistemas discretos y continuos	15
<b>1.5</b>	<b>Clasificación de la vibración</b>	<b>16</b>
1.5.1	Vibración libre y forzada	16
1.5.2	Vibración no amortiguada y amortiguada	16
1.5.3	Vibración lineal y no lineal	16
1.5.4	Vibración determinística y aleatoria	16
<b>1.6</b>	<b>Procedimiento del análisis de la vibración</b>	<b>17</b>
<b>1.7</b>	<b>Elementos de resorte</b>	<b>21</b>
1.7.1	Resortes no lineales	22
1.7.2	Linealización de un resorte no lineal	23
1.7.3	Constante de resorte de elementos elásticos	25
1.7.4	Combinación de resortes	28
1.7.5	Constante de resorte asociada con la fuerza de restauración producida por la gravedad	36
<b>1.8</b>	<b>Elementos de masa o inercia</b>	<b>37</b>
1.8.1	Combinación de masas	38
<b>1.9</b>	<b>Elementos de amortiguamiento</b>	<b>42</b>
1.9.1	Construcción de amortiguadores viscosos	43
1.9.2	Linealización de un amortiguador no lineal	49
1.9.3	Combinación de amortiguadores	49

<b>1.10</b>	<b>Movimiento armónico</b>	<b>51</b>
1.10.1	Representación vectorial del movimiento armónico	52
1.10.2	Representación por medio de números complejos del movimiento armónico	53
1.10.3	Álgebra compleja	55
1.10.4	Operaciones con funciones armónicas	55
1.10.5	Definiciones y terminología	58
<b>1.11</b>	<b>Análisis armónico</b>	<b>61</b>
1.11.1	Expansión de la serie de Fourier	61
1.11.2	Serie de Fourier compleja	63
1.11.3	Espectro de frecuencia	64
1.11.4	Representaciones en el dominio del tiempo y la frecuencia	65
1.11.5	Funciones par e impar	65
1.11.6	Expansiones de medio rango	67
1.11.7	Cálculo numérico de coeficientes	68
<b>1.12</b>	<b>Ejemplos resueltos utilizando MATLAB</b>	<b>72</b>
<b>1.13</b>	<b>Literatura acerca de la vibración</b>	<b>75</b>
	<b>Resumen del capítulo</b>	<b>76</b>
	<b>Referencias</b>	<b>76</b>
	<b>Preguntas de repaso</b>	<b>78</b>
	<b>Problemas</b>	<b>81</b>
	<b>Proyectos de diseño</b>	<b>111</b>

## CAPÍTULO 2

---

### Vibración libre de sistemas de un solo grado de libertad      114

<b>2.1</b>	<b>Introducción</b>	<b>116</b>
<b>2.2</b>	<b>Vibración libre de un sistema traslacional no amortiguado</b>	<b>118</b>
2.2.1	Ecuación de movimiento basada en la segunda ley del movimiento de Newton	118
2.2.2	Ecuación de movimiento utilizando otros métodos	120
2.2.3	Ecuación del movimiento de un sistema de resorte-masa en posición vertical	121
2.2.4	Solución	123
2.2.5	Movimiento armónico	124
<b>2.3</b>	<b>Vibración libre de un sistema torsional no amortiguado</b>	<b>135</b>
2.3.1	Ecuación de movimiento	136
2.3.2	Solución	136

**2.4 Respuesta de sistemas de primer orden y constante de tiempo 139**

**2.5 Método de la energía de Rayleigh 141**

**2.6 Vibración libre con amortiguamiento viscoso 146**

2.6.1 Ecuación de movimiento 146

2.6.2 Solución 147

2.6.3 Decremento logarítmico 152

2.6.4 Energía disipada en amortiguamiento viscoso 154

2.6.5 Sistemas torsionales con amortiguamiento viscoso 156

**2.7 Representación gráfica de raíces características y soluciones correspondientes 162**

2.7.1 Raíces de la ecuación característica 162

2.7.2 Representación gráfica de raíces y soluciones correspondientes 163

**2.8 Variaciones de parámetros y representaciones del lugar geométrico de las raíces 164**

2.8.1 Interpretaciones de  $\omega_n$ ,  $\omega_d$ ,  $\zeta$  y  $\tau$  en el plano  $s$  164

2.8.2 Lugar geométrico de las raíces y variaciones de parámetro 167

**2.9 Vibración libre con amortiguamiento de Coulomb 173**

2.9.1 Ecuación de movimiento 174

2.9.2 Solución 175

2.9.3 Sistemas torsionales con amortiguamiento de Coulomb 177

**2.10 Vibración libre con amortiguamiento histerético 179**

**2.11 Estabilidad de sistemas 185**

**2.12 Ejemplos resueltos utilizando MATLAB 189**

Resumen del capítulo 195

Referencias 196

Preguntas de repaso 196

Problemas 201

Proyectos de diseño 237

**CAPÍTULO 3**

**Vibración armónicamente excitada 240**

**3.1 Introducción 242**

**3.2 Ecuación de movimiento 242**

**3.3 Respuesta de un sistema no amortiguado sometido a una fuerza armónica 243**

3.3.1 Respuesta total 247

3.3.2 Fenómeno de batido 247

**3.4 Respuesta de un sistema amortiguado sometido a una fuerza armónica 250**

3.4.1 Respuesta total 254

3.4.2 Factor de calidad y ancho de banda 255

**3.5 Respuesta de un sistema amortiguado sometido a  $F(t) = F_0 e^{i\omega t}$  257**

**3.6 Respuesta de un sistema amortiguado sometido al movimiento armónico de la base 259**

3.6.1 Fuerza transmitida 261

3.6.2 Movimiento relativo 262

**3.7 Respuesta de un sistema amortiguado sometido a desbalance rotatorio 265**

**3.8 Vibración forzada con amortiguamiento de Coulomb 269**

**3.9 Vibración forzada con amortiguamiento de histéresis 273**

**3.10 Movimiento forzado con otros tipos de amortiguamiento 275**

**3.11 Autoexcitación y análisis de estabilidad 276**

3.11.1 Análisis de estabilidad dinámica 276

3.11.2 Inestabilidad dinámica provocada por el flujo de un fluido 279

**3.12 Método de la función de transferencia 285**

**3.13 Soluciones obtenidas utilizando transformadas de Laplace 288**

**3.14 Funciones de transferencia de frecuencia 291**

3.14.1 Relación entre la función de transferencia general  $T(s)$  y la función de transferencia de frecuencia  $T(i\omega)$  293

3.14.2 Representación de las características de respuesta de frecuencia 294

**3.15 Ejemplos resueltos utilizando MATLAB 297**

Resumen del capítulo 302

Referencias 302

Preguntas de repaso 303

Problemas 307

Proyectos de diseño 328

**CAPÍTULO 4**

**Vibración en condiciones forzadas 330**

**4.1 Introducción 331**

**4.2 Respuesta bajo una fuerza periódica general 332**

4.2.1 Sistemas de primer orden 333

4.2.2 Sistemas de segundo orden 339

**4.3 Respuesta bajo una fuerza periódica de forma irregular 345**

**4.4 Respuesta bajo una fuerza no periódica 347**

**4.5 Integral de convolución 347**

4.5.1 Respuesta a un impulso 348

4.5.2 Respuesta a una condición forzada general 351

4.5.3 Respuesta a excitación de la base 352

**4.6 Espectro de respuesta 359**

4.6.1	Espectro de respuesta para excitación de la base	361
4.6.2	Espectros de respuesta a sismos	365
4.6.3	Diseño bajo un ambiente de choque	368
<b>4.7</b>	<b>Transformada de Laplace</b>	<b>371</b>
4.7.1	Respuestas transitoria y de estado estable	371
4.7.2	Respuesta de sistemas de primer orden	372
4.7.3	Respuesta de sistemas de segundo orden	374
4.7.4	Respuesta a una fuerza gradual	379
4.7.5	Análisis de la respuesta escalonada	385
4.7.6	Descripción de una respuesta transitoria	386
<b>4.8</b>	<b>Métodos numéricos</b>	<b>392</b>
4.8.1	Métodos de Runge-Kutta	393
<b>4.9</b>	<b>Respuesta a condiciones forzadas irregulares obtenida aplicando métodos numéricos</b>	<b>396</b>
<b>4.10</b>	<b>Ejemplos resueltos utilizando MATLAB</b>	<b>400</b>
	Resumen del capítulo	403
	Referencias	404
	Preguntas de repaso	404
	Problemas	407
	Proyectos de diseño	428

CAPÍTULO 5

Sistemas de dos grados de libertad 430

<b>5.1</b>	<b>Introducción</b>	<b>431</b>
<b>5.2</b>	<b>Ecuaciones de movimiento para vibración forzada</b>	<b>435</b>
<b>5.3</b>	<b>Análisis de vibración libre de un sistema no amortiguado</b>	<b>436</b>
<b>5.4</b>	<b>Sistema torsional</b>	<b>444</b>
<b>5.5</b>	<b>Acoplamiento de coordenadas y coordenadas principales</b>	<b>449</b>
<b>5.6</b>	<b>Análisis de vibración forzada</b>	<b>455</b>
<b>5.7</b>	<b>Sistemas semidefinidos</b>	<b>458</b>
<b>5.8</b>	<b>Autoexcitación y análisis de estabilidad</b>	<b>461</b>
<b>5.9</b>	<b>Método de la función de transferencia</b>	<b>462</b>
<b>5.10</b>	<b>Soluciones obtenidas aplicando la transformada de Laplace</b>	<b>464</b>
<b>5.11</b>	<b>Soluciones obtenidas utilizando funciones de transferencia de frecuencia</b>	<b>472</b>
<b>5.12</b>	<b>Ejemplos resueltos utilizando MATLAB</b>	<b>475</b>
	Resumen del capítulo	481

<b>Referencias</b>	<b>481</b>
<b>Preguntas de repaso</b>	<b>482</b>
<b>Problemas</b>	<b>484</b>
<b>Proyectos de diseño</b>	<b>507</b>

CAPÍTULO 6

Sistemas de varios grados de libertad 508

<b>6.1</b>	<b>Introducción</b>	<b>510</b>
<b>6.2</b>	<b>Modelado de sistemas continuos como sistemas de varios grados de libertad</b>	<b>510</b>
<b>6.3</b>	<b>Uso de la segunda ley de Newton para derivar ecuaciones de movimiento</b>	<b>511</b>
<b>6.4</b>	<b>Coefficientes de influencia</b>	<b>516</b>
6.4.1	Coefficientes de influencia de rigidez	517
6.4.2	Coefficientes de influencia de flexibilidad	521
6.4.3	Coefficientes de influencia de inercia	525
<b>6.5</b>	<b>Expresiones de energía potencial y cinética en forma matricial</b>	<b>527</b>
<b>6.6</b>	<b>Coordenadas generalizadas y fuerzas generalizadas</b>	<b>529</b>
<b>6.7</b>	<b>Uso de las ecuaciones de Lagrange para derivar ecuaciones de movimiento</b>	<b>530</b>
<b>6.8</b>	<b>Ecuaciones de movimiento de sistemas no amortiguados en forma matricial</b>	<b>534</b>
<b>6.9</b>	<b>Problema de valor eigen</b>	<b>535</b>
<b>6.10</b>	<b>Solución del problema de valor eigen</b>	<b>537</b>
6.10.1	Solución de la ecuación característica (polinomial)	537
6.10.2	Ortogonalidad de los modos normales	542
6.10.3	Valores eigen repetidos	545
<b>6.11</b>	<b>Teorema de expansión</b>	<b>547</b>
<b>6.12</b>	<b>Sistemas no restringidos</b>	<b>547</b>
<b>6.13</b>	<b>Vibración libre de sistemas no amortiguados</b>	<b>551</b>
<b>6.14</b>	<b>Vibración forzada de sistemas no amortiguados mediante análisis modal</b>	<b>554</b>
<b>6.15</b>	<b>Vibración forzada de sistemas viscosamente amortiguados</b>	<b>561</b>
<b>6.16</b>	<b>Autoexcitación y análisis de estabilidad</b>	<b>566</b>
<b>6.17</b>	<b>Ejemplos resueltos utilizando MATLAB</b>	<b>568</b>
	Resumen del capítulo	576
	Referencias	576
	Preguntas de repaso	577
	Problemas	581
	Proyectos de diseño	601

**CAPÍTULO 7**

**Determinación de frecuencias y modos naturales 602**

**7.1 Introducción 603**  
**7.2 Fórmula de Dunkerley 604**  
**7.3 Método de Rayleigh 606**  
 7.3.1 Propiedades del cociente de Rayleigh 607  
 7.3.2 Cálculo de la frecuencia natural fundamental 609  
 7.3.3 Frecuencia fundamental de vigas y flechas 610  
**7.4 Método de Holzer 613**  
 7.4.1 Sistemas torsionales 613  
 7.4.2 Sistemas de resorte-masa 616  
**7.5 Método de iteración matricial 617**  
 7.5.1 Convergencia a la frecuencia natural más alta 619  
 7.5.2 Cálculo de frecuencias naturales intermedias 619  
**7.6 Método de Jacobi 624**  
**7.7 Problema de valor eigen estándar 626**  
 7.7.1 Descomposición de Choleski 627  
 7.7.2 Otros métodos de solución 629  
**7.8 Ejemplos resueltos utilizando MATLAB 629**  
**Resumen del capítulo 632**  
**Referencias 632**  
**Preguntas de repaso 633**  
**Problemas 636**  
**Proyectos de diseño 643**

**CAPÍTULO 8**

**Control de la vibración 644**

**8.1 Introducción 646**  
**8.2 Nomógrafo de vibración y criterios de vibración 646**  
**8.3 Reducción de la vibración en la fuente 650**  
**8.4 Balanceo de máquinas rotatorias 651**  
 8.4.1 Balanceo en un plano 651  
 8.4.2 Balanceo en dos planos 654  
**8.5 Remolineo de flechas rotatorias 659**  
 8.5.1 Ecuaciones de movimiento 659  
 8.5.2 Velocidades críticas 661  
 8.5.3 Respuesta del sistema 661  
 8.5.4 Análisis de estabilidad 663  
**8.6 Balanceo de motores recíprocos 665**  
 8.6.1 Fuerzas desbalanceadas debido a fluctuaciones en la presión de gas 665

8.6.2 Fuerzas desbalanceadas debido a inercia de las partes móviles 667  
 8.6.3 Balanceo de motores recíprocos 669  
**8.7 Control de vibración 671**  
**8.8 Control de frecuencias naturales 671**  
**8.9 Introducción al amortiguamiento 672**  
**8.10 Aislamiento de la vibración 673**  
 8.10.1 Sistema de aislamiento de vibración con cimiento rígido 676  
 8.10.2 Sistema de aislamiento de vibración con movimiento de la base 685  
 8.10.3 Sistema de aislamiento de vibración con cimiento flexible 692  
 8.10.4 Sistema de aislamiento de vibración con cimiento parcialmente flexible 693  
 8.10.5 Aislamiento contra choques 694  
 8.10.6 Control de vibración activo 698  
**8.11 Absorbedores de vibración 702**  
 8.11.1 Absorbedor de vibración dinámico no amortiguado 703  
 8.11.2 Absorbedor de vibración dinámico amortiguado 708  
**8.12 Ejemplos resueltos utilizando MATLAB 712**  
**Resumen del capítulo 718**  
**Referencias 718**  
**Preguntas de repaso 720**  
**Problemas 722**  
**Proyecto de diseño 735**  
**Respuestas a problemas seleccionados 736**  
**Índice 744**

Los capítulos 9 al 12 y apéndices se encuentran (en español) en el sitio web de este libro.

**CAPÍTULO 9**

**Sistemas continuos 9-1**

**9.1 Introducción 9-3**  
**9.2 Vibración transversal de una cuerda o cable 9-3**  
 9.2.1 Ecuación de movimiento 9-3  
 9.2.2 Condiciones iniciales y límite 9-5  
 9.2.3 Vibración libre de una cuerda uniforme 9-6  
 9.2.4 Vibración libre de una cuerda con dos extremos fijos 9-6  
 9.2.5 Solución de la onda viajera 9-10  
**9.3 Vibración longitudinal de una barra o varilla 9-11**  
 9.3.1 Ecuación de movimiento y solución 9-11  
 9.3.2 Ortogonalidad de funciones normales 9-13

<b>9.4</b>	<b>Vibración torsional de una flecha o varilla</b>	<b>9-18</b>			
<b>9.5</b>	<b>Vibración lateral de vigas</b>	<b>9-21</b>			
9.5.1	Ecuación de movimiento	9-21			
9.5.2	Condiciones iniciales	9-23			
9.5.3	Vibración libre	9-23			
9.5.4	Condiciones límite	9-24			
9.5.5	Ortogonalidad de funciones normales	9-26			
9.5.6	Vibración forzada	9-29			
9.5.7	Efecto de una fuerza axial	9-31			
9.5.8	Efectos de inercia rotatoria y deformación por cortante	9-34			
9.5.9	Otros efectos	9-38			
<b>9.6</b>	<b>Vibración de membranas</b>	<b>9-38</b>			
9.6.1	Ecuación de movimiento	9-38			
9.6.2	Condiciones iniciales y límite	9-40			
<b>9.7</b>	<b>Método de Rayleigh</b>	<b>9-41</b>			
<b>9.8</b>	<b>Método de Rayleigh-Ritz</b>	<b>9-43</b>			
<b>9.9</b>	<b>Ejemplos resueltos utilizando MATLAB</b>	<b>9-46</b>			
	<b>Resumen del capítulo</b>	<b>9-48</b>			
	<b>Referencias</b>	<b>9-49</b>			
	<b>Preguntas de repaso</b>	<b>9-50</b>			
	<b>Problemas</b>	<b>9-53</b>			
	<b>Proyecto de diseño</b>	<b>9-65</b>			
			10.7.1	Uso de las mediciones operacionales de deflexión	10-28
			10.7.2	Uso de una prueba modal	10-28
			<b>10.8</b>	<b>Análisis modal experimental</b>	<b>10-29</b>
			10.8.1	La idea básica	10-29
			10.8.2	Equipo necesario	10-29
			10.8.3	Procesamiento de señales digitales	10-31
			10.8.4	Análisis de señales aleatorias	10-33
			10.8.5	Determinación de datos modales a partir de picos observados	10-35
			10.8.6	Determinación de los datos modales con la gráfica de Nyquist	10-38
			10.8.7	Medición de modos	10-39
			<b>10.9</b>	<b>Monitoreo y diagnóstico de la condición de una máquina</b>	<b>10-42</b>
			10.9.1	Criterios de severidad de vibración	10-42
			10.9.2	Técnicas de mantenimiento de máquinas	10-42
			10.9.3	Técnicas de monitoreo de la condición de máquinas	10-44
			10.9.4	Técnicas de monitoreo de vibración	10-45
			10.9.5	Sistemas de instrumentación	10-50
			10.9.6	Selección del parámetro de monitoreo	10-50
			<b>10.10</b>	<b>Ejemplos resueltos utilizando MATLAB</b>	<b>10-51</b>
				<b>Resumen del capítulo</b>	<b>10-54</b>
				<b>Referencias</b>	<b>10-54</b>
				<b>Preguntas de repaso</b>	<b>10-55</b>
				<b>Problemas</b>	<b>10-58</b>
				<b>Proyectos de diseño</b>	<b>10-64</b>
<b>CAPÍTULO 10</b>					
<b>Medición de vibración y aplicaciones 10-1</b>					
<b>10.1</b>	<b>Introducción</b>	<b>10-2</b>			
<b>10.2</b>	<b>Transductores</b>	<b>10-4</b>			
10.2.1	Transductores de resistencia variable	10-4			
10.2.2	Transductores piezoeléctricos	10-7			
10.2.3	Transductores electrodinámicos	10-8			
10.2.4	Transductor de transformador diferencial variable lineal	10-9			
<b>10.3</b>	<b>Detectores de vibración</b>	<b>10-10</b>			
10.3.1	Vibrómetro	10-11			
10.3.2	Acelerómetro	10-13			
10.3.3	Velómetro	10-15			
10.3.4	Distorsión de fase	10-17			
<b>10.4</b>	<b>Instrumentos de medición de frecuencia</b>	<b>10-19</b>			
<b>10.5</b>	<b>Excitadores de vibración</b>	<b>10-21</b>			
10.5.1	Excitadores mecánicos	10-21			
10.5.2	Agitador electrodinámico	10-22			
<b>10.6</b>	<b>Análisis de señales</b>	<b>10-24</b>			
10.6.1	Analizadores de espectros	10-24			
10.6.2	Filtro pasabanda	10-25			
10.6.3	Analizadores de ancho de banda de porcentaje constante y de ancho de banda constante	10-27			
<b>10.7</b>	<b>Prueba dinámica de máquinas y estructuras</b>	<b>10-28</b>			
			10.7.1	Uso de las mediciones operacionales de deflexión	10-28
			10.7.2	Uso de una prueba modal	10-28
			<b>10.8</b>	<b>Análisis modal experimental</b>	<b>10-29</b>
			10.8.1	La idea básica	10-29
			10.8.2	Equipo necesario	10-29
			10.8.3	Procesamiento de señales digitales	10-31
			10.8.4	Análisis de señales aleatorias	10-33
			10.8.5	Determinación de datos modales a partir de picos observados	10-35
			10.8.6	Determinación de los datos modales con la gráfica de Nyquist	10-38
			10.8.7	Medición de modos	10-39
			<b>10.9</b>	<b>Monitoreo y diagnóstico de la condición de una máquina</b>	<b>10-42</b>
			10.9.1	Criterios de severidad de vibración	10-42
			10.9.2	Técnicas de mantenimiento de máquinas	10-42
			10.9.3	Técnicas de monitoreo de la condición de máquinas	10-44
			10.9.4	Técnicas de monitoreo de vibración	10-45
			10.9.5	Sistemas de instrumentación	10-50
			10.9.6	Selección del parámetro de monitoreo	10-50
			<b>10.10</b>	<b>Ejemplos resueltos utilizando MATLAB</b>	<b>10-51</b>
				<b>Resumen del capítulo</b>	<b>10-54</b>
				<b>Referencias</b>	<b>10-54</b>
				<b>Preguntas de repaso</b>	<b>10-55</b>
				<b>Problemas</b>	<b>10-58</b>
				<b>Proyectos de diseño</b>	<b>10-64</b>
<b>CAPÍTULO 11</b>					
<b>Métodos de integración numérica en el análisis de vibración 11-1</b>					
<b>11.1</b>	<b>Introducción</b>	<b>11-2</b>			
<b>11.2</b>	<b>Método de diferencia finita</b>	<b>11-3</b>			
<b>11.3</b>	<b>Método de diferencia central para sistemas de un solo grado de libertad</b>	<b>11-4</b>			
<b>11.4</b>	<b>Método de Runge-Kutta para sistemas de un solo grado de libertad</b>	<b>11-7</b>			
<b>11.5</b>	<b>Método de diferencia central para sistemas de varios grados de libertad</b>	<b>11-8</b>			
<b>11.6</b>	<b>Método de diferencia finita para sistemas continuos</b>	<b>11-12</b>			
11.6.1	Vibración longitudinal de barras	11-12			
11.6.2	Vibración transversal de vigas	11-16			
<b>11.7</b>	<b>Método de Runge-Kutta para sistemas de varios grados de libertad</b>	<b>11-20</b>			
<b>11.8</b>	<b>Método de Houbolt</b>	<b>11-22</b>			

<b>11.9</b>	<b>Método de Wilson</b>	<b>11-25</b>	
<b>11.10</b>	<b>Método de Newmark</b>	<b>11-28</b>	
<b>11.11</b>	<b>Ejemplos resueltos utilizando MATLAB</b>	<b>11-31</b>	
	<b>Resumen del capítulo</b>	<b>11-37</b>	
	<b>Referencias</b>	<b>11-37</b>	
	<b>Preguntas de repaso</b>	<b>11-38</b>	
	<b>Problemas</b>	<b>11-40</b>	

**CAPÍTULO 12**

<b>Método de los elementos finitos 12-1</b>			
<b>12.1</b>	<b>Introducción</b>	<b>12-2</b>	
<b>12.2</b>	<b>Ecuaciones de movimiento de un elemento</b>	<b>12-3</b>	
<b>12.3</b>	<b>Matriz de masa, matriz de rigidez y vector de fuerza</b>	<b>12-5</b>	
	12.3.1 Elemento de una barra	12-5	
	12.3.2 Elemento de torsión	12-7	
	12.3.3 Elemento de una viga	12-8	
<b>12.4</b>	<b>Transformación de matrices y vectores de un elemento</b>	<b>12-11</b>	
<b>12.5</b>	<b>Ecuaciones de movimiento del sistema completo de elementos finitos</b>	<b>12-13</b>	
<b>12.6</b>	<b>Incorporación de condiciones límite</b>	<b>12-15</b>	
<b>12.7</b>	<b>Matrices de masa consistente y de masa concentrada</b>	<b>12-24</b>	
	12.7.1 Matriz de masa concentrada para un elemento de una barra	12-24	
	12.7.2 Matriz de masa concentrada para un elemento de una viga	12-24	
	12.7.3 Matrices de masa concentrada en comparación con matrices de masa consistente	12-25	
<b>12.8</b>	<b>Ejemplos resueltos utilizando MATLAB</b>	<b>12-27</b>	
	<b>Resumen del capítulo</b>	<b>12-30</b>	
	<b>Referencias</b>	<b>12-30</b>	
	<b>Preguntas de repaso</b>	<b>12-31</b>	
	<b>Problemas</b>	<b>12-33</b>	

**APÉNDICE A**

<b>Relaciones matemáticas y propiedades de materiales</b>	<b>A1</b>
---	-----------

**APÉNDICE B**

<b>Deflexión de vigas y placas</b>	<b>A4</b>
------------------------------------	-----------

**APÉNDICE C**

<b>Matrices</b>	<b>A6</b>
-----------------	-----------

**APÉNDICE D**

<b>Transformada de Laplace</b>	<b>A13</b>
--------------------------------	------------

**APÉNDICE E**

<b>Unidades</b>	<b>A21</b>
-----------------	------------

**APÉNDICE F**

<b>Introducción a MATLAB</b>	<b>A24</b>
------------------------------	------------

**Material en inglés en sitio web**

**CAPÍTULO 13**

<b>Nonlinear Vibration</b>	<b>13-1</b>
----------------------------	-------------

**CAPÍTULO 14**

<b>Random Vibration</b>	<b>14-1</b>
-------------------------	-------------