

## Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Motivación.....	1
1.2. Objetivos.....	1
1.3. Organización de la memoria.....	2
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Introducción.....	4
2.2. El método modal espectral.....	4
2.2.1. Dinámica de estructuras.....	5
2.2.2. Espectro y pseudo espectro de respuesta.....	10
2.2.3. Análisis modal espectral.....	13
2.3. Diafragmas rígidos.....	14
2.3.1. Diafragmas rígidos en estructuras 3D.....	16
2.3.1. Matriz de transformación para nodos esclavos.....	17
2.4. Programación en base a objetos.....	18
2.5. SAFE_TB.....	19
2.5.1. Estructura.....	20
2.5.2. ‘Análisis’ en SAFE_TB.....	21
IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL.....	22
3.1. Introducción.....	22
3.2. Estructura del análisis modal espectral.....	23
3.2.1. ‘EigenAnalysis’.....	23
3.2.2. ‘model’.....	24

3.2.3. ‘constraintHandler’ .....	25
3.2.4 ‘dofNumberer’ .....	26
3.2.5. ‘analysisModel’ .....	26
3.2.9. ‘systemOfEquation’ .....	27
3.3. Función ‘analyze’ .....	28
3.3.1. Iniciar el análisis.....	28
3.3.2. Determinar valores iniciales.....	29
3.3.3. Problema de valores y vectores propios.....	34
3.3.4. Análisis modal espectral.....	37
3.3.5. Determinar fuerzas resistentes .....	42
3.3.6. Determinar desplazamientos .....	44
<b>IMPLEMENTACIÓN DE LA RESTRICCIÓN DE MÚLTIPLES NODOS TIPO DIAGRAMA RÍGIDO .....</b>	<b>46</b>
4.1. Introducción .....	46
4.2. Estructura de la clase ‘rigidDiaphragmConstraint’ .....	46
4.3. Funcionamiento de la clase ‘rigidDiaphragmConstraint’ .....	47
<b>PRESENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>51</b>
5.1. Introducción .....	51
5.2. Estructuras en 2D.....	51
5.2.1. Marco 2D de un piso .....	51
5.2.2. Marco 2D de un piso con masa distribuida .....	55
5.2.3. Marco 2D de tres pisos con masa distribuida.....	59
5.3. Estructuras en 3D.....	66
5.3.1. Marco 3D de un piso .....	66

5.3.3. Marco 3D en dos direcciones de un piso con diafragma rígido .....	72
CONCLUSIONES.....	79
6.1. Conclusiones.....	79
BIBLIOGRAFÍA .....	81
ANEXOS .....	82
Anexo 1 .....	82
Anexo 2.....	84
Anexo 3.....	87
Anexo 4 .....	90
Anexo 5.....	94

### **Índice de tablas**

Tabla 1, Periodos modelo 1.....	53
Tabla 2, Modos de vibrar normalizadas modelo 1. ....	53
Tabla 3, desplazamientos análisis modal espectral modelo 1. ....	54
Tabla 4, fuerzas resistentes análisis modal espectral modelo 1.....	55
Tabla 5, periodos modelo 2. ....	56
Tabla 6, modos de vibrar normalizados modelo 2. ....	57
Tabla 7, desplazamientos análisis modal espectral modelo 2. ....	58
Tabla 8, fuerzas resistentes análisis modal espectral.....	59
Tabla 9, Periodos modelo 3.....	61
Tabla 10, modos de vibrar normalizados modelo 3.....	62

Tabla 11, desplazamientos análisis modal espectral modelo 3. ....	64
Tabla 12, fuerzas resistentes análisis modal espectral.....	66
Tabla 13, periodos modelo 4. ....	68
Tabla 14, modos de vibrar normalizados modelo 4.....	69
Tabla 15, desplazamientos análisis modal espectral modelo 4. ....	70
Tabla 16, fuerzas resistentes modelo 4.....	72
Tabla 17, Periodos modelo 5.....	74
Tabla 18, modos de vibrar normalizados modelo 5.....	75
Tabla 19, desplazamientos análisis modal espectral modelo 5. ....	76
Tabla 20, fuerzas resistentes análisis modal espectral modelo 5.....	78

### **Índice de figuras**

Figura 1, Sistema de N-GDL.....	6
Figura 2, Acelerograma. ....	11
Figura 3, espectro de respuesta.....	12
Figura 4, losa con carga ortogonal.....	15
Figura 5, losa con carga transversal.....	15
Figura 6, diafragma rígido.....	16
Figura 7, sistemas de coordenadas 2D y 3D.....	33
Figura 8, Modelo 3 marco 2D con masa puntual. ....	52
Figura 9, Modelo 2 marco 2D. ....	56
Figura 10, Modelo 4 marco 2D 4 niveles. ....	60
Figura 11, modelo 4, marco 3D.....	67
Figura 12, marco en 3D con diafragma rígido.....	73

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1, Definición de vector de movimiento y matrices de masa, amortiguamiento y rigidez. ....	6
Ecuación 2, Ecuación de equilibrio de fuerzas para un sistema de N-GDL.....	7
Ecuación 3, Propiedad de ortogonalidad entre modos. ....	7
Ecuación 4, Respuesta del sistema expresada en función de los modos de vibrar.....	8
Ecuación 5, Desarrollo de la ecuación de equilibrio. ....	8
Ecuación 6, Definición de matrices generalizadas de masa, amortiguamiento y rigidez..	8
Ecuación 7, Ecuación de equilibrio de los n sistemas de un GDL. ....	8
Ecuación 8, Ecuación matricial de equilibrio de fuerza. ....	9
Ecuación 9, solución por partes del grado de libertad 'r'. ....	9
Ecuación 10, Factor de participación modal. ....	9
Ecuación 11, Equilibrio de fuerzas en sistema con excitación en la base. ....	10
Ecuación 12, Factor de participación modal para un sistema excitado en la base. ....	10
Ecuación 13, Definición del espectro de respuesta ....	11
Ecuación 14, valor aproximado de velocidad y aceleración. ....	12
Ecuación 15, Pseudo espectro de respuesta.....	12
Ecuación 16, Respuesta máxima del 'r' grado de libertad del sistema. ....	13
Ecuación 17, Combinación 'Raíz cuadrada de la suma de los cuadrados'.....	13
Ecuación 18, Combinación 'combinación cuadrática completa' o 'CQC'. ....	14
Ecuación 19, posición de un punto dentro de un diafragma rígido. ....	17
Ecuación 20, movimiento nodo esclavo con respecto al nodo maestro, diafragma rígido.	17
Ecuación 21, movimiento nodo esclavo con respecto al nodo maestro, diafragma rígido.	17
Ecuación 22, relación de movimiento nodo esclavo / nodo maestro.....	18

Ecuación 23, fuerza estática en nodo esclavo.....	18
Ecuación 24, fuerza estática nodo maestro.....	18
Ecuación 25, determinar valores pasivos. ....	28
Ecuación 26, matriz de rigidez elemento 'uniaxial spring'.....	31
Ecuación 27, matriz de rigidez elemento 'elastic beam column 2D'. ....	32
Ecuación 28, matriz local de masa para masa puntual. ....	33
Ecuación 29, matrices de masa y rigidez y vector de influencia ordenados. ....	36
Ecuación 30, ecuación de Guyan.....	37
Ecuación 31, función 'eig' MATLAB.....	37
Ecuación 32, factor de participación modal. ....	39
Ecuación 33, desplazamientos y aceleraciones modales del sistema. ....	39
Ecuación 34, matriz de aceleración modal. ....	39
Ecuación 35, aceleración y desplazamiento pasivos. ....	40
Ecuación 36, matriz modal amplificada. ....	41
Ecuación 37, determinar sub matriz de desplazamientos modales.....	41
Ecuación 38, grados de libertad sometidos a la restricción de diafragma rígido. ....	47
Ecuación 39, 'ID' en diafragmas rígidos luego de 'constraintHandler.handle'. ....	49
Ecuación 40, 'ID' en diafragmas rígidos luego de 'DOFNumberer.numberDOF'. ....	49
Ecuación 41, 'ID' en diafragmas rígidos luego de 'constraintHandler.doneNumberingDOF'. .....	50
Ecuación 42, efecto de la matriz de transformación.....	50

### **Índice de diagramas**

Diagrama 1, Componentes de SAFE_TB.....	20
---	----

Diagrama 2, diagrama de flujo análisis modal espectral. ....	22
Diagrama 3, clases agregadas para el análisis modal espectral. ....	23
Diagrama 4, diagrama de flujo 'iniciar análisis'.....	29
Diagrama 5, diagrama de flujo 'determinar valores iniciales'.....	30
Diagrama 6, diagrama de flujo 'análisis modal espectral'.....	38
Diagrama 7, diagrama de flujo 'determinar esfuerzos internos'. ....	43
Diagrama 8, diagrama de flujo 'determinar desplazamientos'. ....	45