

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido	Página
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	12
1.1 Introducción.....	12
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo general	13
1.2.2 Objetivos específicos	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	14
2.1 Estructuras sometidas a vibraciones.....	14
2.2 Caso de estudio: Acero	15
2.2.1 Historia del acero.....	15
2.2.2 Propiedades del acero	17
2.2.3 Tipos de acero estructural	19
2.2.4 Usos del acero	20
2.3 Mecánica de fractura	21
2.3.1 Fractura dúctil.....	21
2.3.2 Fractura frágil	23
2.4 El fenómeno de fatiga.....	24
2.4.1 Generación de fatiga	25
2.4.2 Ejemplos de fallas por fatiga	29
2.5 Métodos numéricos para el análisis de grietas producidas por fatiga	31
2.5.1 Conceptos básicos de cálculo matricial.....	32
2.5.2 Método de elementos finitos.....	36

2.5.3	Método de elementos finitos extendido	41
2.5.4	Software de análisis de elementos finitos: Salomé-Meca	44
CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO		46
3.1	Metodología.....	46
3.2	Casos de estudios	50
3.3	Análisis no intrusivo con modelos simplificados	53
3.3.1	Geometría y mallado modelo global.....	53
3.3.2	Geometría y mallado modelo local	57
3.3.3	Proyección desplazamientos modelo global-local	60
3.3.4	Condiciones del análisis	70
3.3.5	Análisis modelo global	71
3.3.6	Análisis modelo local	76
3.3.7	Cálculo de error y fuerzas de compensación.....	83
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		85
4.1	Resultados solución sin grieta análisis lineal global-local.....	85
4.2	Resultados solución con grieta análisis global-local.....	88
4.2.1.	Modelo con grieta ubicada en $Z=1900$	88
4.2.2.	Modelo con grieta ubicada en $Z=1950$	93
4.2.3.	Modelo con grieta ubicada en $Z=2000$	98
4.3	Análisis de resultados.....	103
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		110
BIBLIOGRAFÍA.....		111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Contenido	Página
Ilustración 1: Componentes de la vibración	15
Ilustración 2: Puente Coalbrookdale.....	17
Ilustración3: Muestra esquemáticamente los perfiles macroscópicos característicos de fractura.....	22
Ilustración 4: Etapas de la fractura	23
Ilustración 5: Marcas en forma de V	24
Ilustración 6: Líneas en forma de abanico	24
Ilustración 7: Tensión cíclica vs tiempo con amplitud simétrica	25
Ilustración 8: Tensión cíclica vs tiempo con ciclo de carga repetida	25
Ilustración 9: Tensión con variación de amplitud y frecuencia.....	26
Ilustración 10: Etapas I y II de propagación	28
Ilustración 11: Enromado y agudizamiento de la grieta.....	28
Ilustración 12: Esquema de rotura por fatiga.....	29
Ilustración 13: Accidente del Boeing 737-200	30
Ilustración 14: Estado del edificio tras el accidente del Boeing 747.....	30
Ilustración 15:Parte de uno de los brazos de la plataforma Alexander L. Kielland.....	31
Ilustración 16: Identificación de elemento y nudo en la estructura.....	33
Ilustración 17: Pórtico con sus grados de libertad	34
Ilustración 18: Identificación de los parámetros que actúan en la deformación de un resorte	35
Ilustración 19: Estructuras simuladas con Método de Elementos Finitos	37
Ilustración 20: Fuerzas actuantes sobre un elemento finito	39
Ilustración 21: Elemento con malla estándar y enriquecida.....	42
Ilustración 22: Modelo de un elemento con discontinuidad	44

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 23: Descomposición de estructura en modelo local y global	47
Ilustración 24: Modelo global-local no intrusivo 2D.....	48
Ilustración 25: Modelo global-local no intrusivo 3D.....	48
Ilustración 26: Algoritmo análisis global-local primal-dual	49
Ilustración 27: Modelo simple del pórtico (1D)	51
Ilustración 28: Sección viga y pilar	51
Ilustración 29: Discretización estructura porticada.....	52
Ilustración 30: Representación acoplamiento caso de estudio	52
Ilustración 31: Creación de nodos y elementos	54
Ilustración 32: Geometría global creada en Geometry	54
Ilustración 33: Creación de grupos modelo global	55
Ilustración 34: Creación de malla modelo global	56
Ilustración 35: Creación de grupos en la malla modelo global	56
Ilustración 36: Malla modelo global.....	57
Ilustración 37: Geometría modelo local	57
Ilustración 38: Geometría grupos desp_izq y desp_der	58
Ilustración 39: Creación de malla modelo local	58
Ilustración 40: Creación grupos en la malla modelo local	59
Ilustración 41: Malla modelo local.....	59
Ilustración 42: Malla grid	60
Ilustración 43: Acoplamiento mallas local y global.....	60
Ilustración 44: Deformación viga debida a momento flector	61
Ilustración 45: Desplazamientos producidos por la rotación del momento flector	61
Ilustración 46: Deformación viga debida a momento torsor	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 47: Desplazamientos producidos por la rotación del momento torsor	63
Ilustración 48: Función calc_depl parte I	65
Ilustración 49: Función calc_depl parte II (giro en y)	66
Ilustración 50: Función calc_depl parte III (giro en z)	67
Ilustración 51: Función calc_depl parte IV (giro en x)	68
Ilustración 52: Función calc_depl parte V (desplazamiento total)	68
Ilustración 53: Resultado función calc_depl aplicando fuerzas en x e y	69
Ilustración 54: Resultado función calc_depl aplicando momento torsor	69
Ilustración 55: Condiciones del análisis parte I	70
Ilustración 56: Condiciones del análisis parte II	71
Ilustración 57: Análisis global parte I	72
Ilustración 58: Análisis global parte II	73
Ilustración 59: Análisis global parte III	74
Ilustración 60: Análisis global parte IV	75
Ilustración 61: Análisis global parte V	76
Ilustración 62: Análisis local sin grieta parte I	77
Ilustración 63: Análisis local sin grieta parte II	78
Ilustración 64: Análisis local sin grieta parte III	78
Ilustración 65: Análisis local con grieta parte I	79
Ilustración 66: Análisis local con grieta parte II	80
Ilustración 67: Análisis local con grieta parte III	80
Ilustración 68: Análisis local con grieta parte IV	81
Ilustración 69: Análisis local con grieta parte V	82
Ilustración 70: Análisis local con grieta parte VI	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 71: Cálculo de error y fuerzas de compensación	84
Ilustración 72: Finalización del código.....	84
Ilustración 73: Resultado análisis global-local sin grieta con modelo local de 500	85
Ilustración 74: Visualización resultados modelo local 500 sin grieta	86
Ilustración 75: Resultado análisis global-local sin grieta con modelo local de 750	86
Ilustración 76: Visualización resultados modelo local 750 sin grieta	87
Ilustración 77: Resultado análisis global-local sin grieta con modelo local de 1000	87
Ilustración 78: Visualización resultados modelo local 1000 sin grieta	87
Ilustración 79: Ubicación grieta $z=1900$	89
Ilustración 80: Resultado análisis global-local con grieta en $z=1900$	90
Ilustración 81: Visualización resultados modelo local 500 con grieta en $z=1900$	91
Ilustración 82: Resultado análisis global-local con grieta en $z=1900$	91
Ilustración 83: Visualización resultados modelo local 750 con grieta en $z=1900$	92
Ilustración 84: Resultado análisis global-local con grieta en $z=1900$	92
Ilustración 85: Visualización resultados modelo local 1000 con grieta en $z=1900$	93
Ilustración 86: Ubicación grieta $z=1950$	94
Ilustración 87: Resultado análisis global-local con grieta en $z=1950$	95
Ilustración 88: Visualización resultados modelo local 500 con grieta en $z=1950$	95
Ilustración 89: Resultado análisis global-local con grieta en $z=1950$	96
Ilustración 90: Visualización resultados modelo local 750 con grieta en $z=1950$	96
Ilustración 91: Resultado análisis global-local con grieta en $z=1950$	97
Ilustración 92: Visualización resultados modelo local 1000 con grieta en $z=1950$	97
Ilustración 93: Ubicación grieta $z=2000$	98
Ilustración 94: Resultado análisis global-local con grieta en $z=2000$	99

Ilustración 95: Visualización resultados modelo local 500 con grieta en $z=2000$100

Ilustración 96: Resultado análisis global-local con grieta en $z=2000$ 100

Ilustración 97: Visualización resultados modelo local 750 con grieta en $z=2000$101

Ilustración 98: Resultado análisis global-local con grieta en $z=2000$ 101

Ilustración 99: Visualización resultados modelo local 1000 con grieta en $z=2000$102

Ilustración 100: Elementos de búsqueda XFEM modelo local mil y grieta ubicada en $z=2000$ 106

Ilustración 101: Elementos de búsqueda XFEM modelo local 750 y grieta ubicada en $z=2000$106

Ilustración 102: Distorsión de los elementos según Principio de Saint-Venant108

Ilustración 103: Distribución de tensión en un elemento de distinto largo109

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Página
Tabla 1: Largos del modelo local y ubicaciones de la grieta	53
Tabla 2: Número de iteraciones y error obtenido en el análisis global-local Primal-Dual lineal	88
Tabla 3: Número de iteraciones y error obtenido en el análisis global-local Primal-Dual con grieta ubicada en $z=1900$ y $NPS=3$	93
Tabla 4: Número de iteraciones y error obtenido en el análisis global-local Primal-Dual con grieta ubicada en $z=1950$ y $NPS=3$	98
Tabla 5: Número de iteraciones y error obtenido en el análisis global-local Primal-Dual con grieta ubicada en $z=2000$ y $NPS=3$	102

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Contenido	Página
Gráfico 1: Comparación convergencia problema lineal con distintos modelos locales	103
Gráfico 2: Comparación convergencia Primal-Dual con grieta en $z=1900$	104
Gráfico 3: Comparación convergencia Primal-Dual con grieta en $z=1950$	104

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4: Comparación convergencia Primal-Dual con grieta en $z=2000$	105
Gráfico 5: Comparación convergencia Primal-Dual con modelo local 500.....	107
Gráfico 6: Comparación convergencia Primal-Dual con modelo local 750.....	107
Gráfico 7: Comparación convergencia Primal-Dual con modelo local 1000.....	108