

Índice

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	11
1.1 Introducción.....	11
1.2 Objetivo General.....	12
1.3 Objetivos Específicos	12
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	13
2.1. Introducción al fenómeno de fatiga	13
2.1.1. Resistencia a fatiga basada en curvas de Wöhler y Principio de acumulación de daño de Palmgreen-Miner	16
2.1.2. Resistencia a la fatiga en mecánica de fractura	18
2.2. Solución Analítica para mecánica de la fractura.....	22
2.2.1. Desarrollo analítico de tensiones.....	23
2.3. Análisis computacional.....	25
2.3.1. Salomé-Meca.....	30
2.4. Normativa	34
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO	36
3.1 Diseño de la investigación	36
3.2 Selección de la muestra.....	37
3.3 Operacionalización de las variables.....	38
3.4 Recolección de datos	40
3.4.1. Ensayo a flexión en el laboratorio	40
3.4.2. Simulación Computacional.	45
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS	69
4.1 Análisis de resultados en ensayos a flexión en el laboratorio.....	69
4.1.1 Viga IPE 120.	69
4.1.2 Viga IPE 100.	71

4.1.3 Análisis comparativo de resultados entre muestras IPE 120 – IPE 100.....	72
4.2 Análisis de resultados en ensayos a flexión en Salomé-Meca.	74
4.2.1 Simulación de viga IPE 120.	74
4.2.2 Simulación de viga IPE 100.	77
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
REFERENCIAS	84

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Historial de tensiones (adaptado de [31]).	14
Ilustración 2 Comparación de gráficos deformación con respecto al tiempo y tensión-deformación con respecto al tiempo [14].	15
Ilustración 3 Ejemplificación Curvas de Wöhler [39].	16
Ilustración 4 Variación No Lineal de fracción de daño (adaptado de [20].)	18
Ilustración 5 Curva de propagación de una grieta [32].	19
Ilustración 6 Fases de la rotura de una grieta [27].	19
Ilustración 7 Relación entre tasa de desarrollo y factor de intensidad de tensiones lineal [14].	21
Ilustración 8 Relación bilineal de tasa de desarrollo y factor de intensidad de tensiones [14].	21
Ilustración 9 Tensor de tensiones en dos dimensiones [25].	23
Ilustración 10 Componente de tensiones en 3D [29].	25
Ilustración 11 Caso de estudio con tres nodos para elementos finitos [29].	26
Ilustración 12 Enriquecimiento X-FEM (adaptado de [2]).	30
Ilustración 13 Módulo GEOM [40].	31
Ilustración 14 Módulo Mesh [40].	32
Ilustración 15 Módulo Code_Aster [35].	33
Ilustración 16 Módulo ParaVis [40].	34
Ilustración 17 Visualización de cargas estructurales de viento, uso y nieve [41].	35
Ilustración 18 Representación de carga sísmica [42].	35
Ilustración 19 Geometría vista en planta viga IPE 100. [Elaboración propia]	37
Ilustración 20 Geometría vista en planta viga IPE 120. [Elaboración propia].	37
Ilustración 21 Viga dog-bone con grieta inducida. [Elaboración propia].	41
Ilustración 22 Grilla de ubicación en la probeta. [Elaboración propia].	41
Ilustración 23 Trazado de posición de los apoyos en la probeta. [Elaboración propia].	42
Ilustración 24 Trazado de la ubicación de la carga. [Elaboración propia].	42
Ilustración 25 Probeta en prensa hidráulica para ensayo a flexión. [Elaboración propia].	43
Ilustración 26 Probeta plastificada y con grieta propagada. [Elaboración propia].	44
Ilustración 27 Figuras importadas en el módulo Geometry. [Elaboración propia].	46
Ilustración 28 Ventana del Comando Build Compound del módulo Geometry. [Elaboración propia].	46
Ilustración 29 Ventana del Comando Rotation del módulo Geometry [Elaboración propia].	47
Ilustración 30 Interfaz del comando Translation con respecto a una distancia fija. [Elaboración propia].	47
Ilustración 31 Ventana del comando Translation con respecto a un punto determinado. [Elaboración propia].	48
Ilustración 32 Interfaz del comando create group. [Elaboración propia].	48

Ilustración 33 Modelo terminado en módulo Geometry. [Elaboración propia].	49
Ilustración 34 Interfaz de la creación del mallado, módulo Mesh. [Elaboración propia].	49
Ilustración 35 Declaración del volumen del mallado. [Elaboración propia].	50
Ilustración 36 Mallado asignado a la viga tipo dog-bone [Elaboración propia].	50
Ilustración 37 Declaración de grupos al mallado asignado. [Elaboración propia].	51
Ilustración 38 Exportación del modelo con el mallado. [Elaboración propia].	51
Ilustración 39 Grupos creados en el mallado. [Elaboración propia].	52
Ilustración 40 Revisión de unión de los nodos en el mallado. [Elaboración propia].	52
Ilustración 41 Revisión de unión de los elementos en el mallado. [Elaboración propia].	52
Ilustración 42 Comandos del módulo Aster Study. [Elaboración propia].	53
Ilustración 43 Ventana del comando Mesh de Aster Study. [Elaboración propia].	54
Ilustración 44 Pseudocódigo del trabajo realizado en Aster Study [Elaboración propia].	54
Ilustración 45 Ventana de asignación del mallado al modelo. [Elaboración propia].	55
Ilustración 46 Declaración de las propiedades constitutivas del acero. [Elaboración propia].	55
Ilustración 47 Declaración del modelo para asignar el material definido. [Elaboración propia].	56
Ilustración 48 Interfaz para declarar las condiciones de apoyo. [Elaboración propia].	56
Ilustración 49 Visualización de los nodos de aplicación de la carga. [Elaboración propia].	57
Ilustración 50 Asignación del material al tipo de análisis que se realizará. [Elaboración propia].	57
Ilustración 51 Pseudocódigo del análisis lineal de las muestras. [Elaboración propia].	58
Ilustración 52 Definición del tipo de discontinuidad en el modelo. [Elaboración propia].	58
Ilustración 53 Ingreso de datos para el reconocimiento de la discontinuidad. [Elaboración propia].	59
Ilustración 54 Generación del modelo discontinuo. [Elaboración propia].	59
Ilustración 55 Creación del modelo con propiedades XFEM. [Elaboración propia].	60
Ilustración 56 Asignación del material al modelo XFEM. [Elaboración propia].	60
Ilustración 57 Asignación de condiciones iniciales para los apoyos, modelo XFEM. [Elaboración propia].	61
Ilustración 58 Asignación de condiciones iniciales de carga para el modelo XFEM. [Elaboración propia].	61
Ilustración 59 Declaración del análisis mecánico estático para modelo XFEM. [Elaboración propia].	62
Ilustración 60 Asignación de cálculo del factor de intensidad de tensiones. [Elaboración propia].	62
Ilustración 61 Asignación de longitud de propagación por ciclo de carga y radio de ramificación de la grieta. [Elaboración propia].	63
Ilustración 62 Asignación de la ley de Paris. [Elaboración propia].	63

Ilustración 63 Interfaz del comando PROPA_FISS con los parámetros completos. [Elaboración propia].	64
Ilustración 64 Ventana del comando POST_MAIL_XFEM. [Elaboración propia].	64
Ilustración 65 Ventana del comando POST_CHAM_XFEM. [Elaboración propia].	65
Ilustración 66 Ejemplificación de nombre de salida para los resultados. [Elaboración propia].	65
Ilustración 67 Interfaz para establecer condiciones XFEM para los resultados. [Elaboración propia].	65
Ilustración 68 Interfaz para iniciar la simulación. [Elaboración propia].	66
Ilustración 69 Modelo cargado en Paravis. [Elaboración propia].	66
Ilustración 70 Ventana properties del módulo Paravis. [Elaboración propia].	67
Ilustración 71 Grieta propagada en módulo Paravis. [Elaboración propia].	67
Ilustración 72 Modelo agrietado con resultados en interfaz del módulo Paravis. [Elaboración propia].	68
Ilustración 73 Tablas de datos generadas en Paravis. [Elaboración propia].	68
Ilustración 74 Gráfica experimental de propagación de la grieta en viga IPE 120. [Elaboración propia].	70
Ilustración 75 Ubicación en el plano de la ubicación del frente de grieta ensayado en viga IPE 120. [Elaboración propia].	70
Ilustración 76 Gráfica experimental de la propagación de la grieta viga IPE 100. [Elaboración propia].	71
Ilustración 77 Ubicación en el plano de la propagación de la grieta experimental en viga IPE 100. [Elaboración propia].	72
Ilustración 78 Promedio de propagación de las grietas en ensayo experimental. [Elaboración propia].	72
Ilustración 79 Gráfico de aplicación de carga promedio para propagación de carga en ambos tipos de viga. [Elaboración propia].	73
Ilustración 80 Ubicación promedio frente de grieta propagado para cada viga. [Elaboración propia].	73
Ilustración 81 Convergencia del parámetro de variación de grieta y coordenadas en vigas IPE 120. [Elaboración propia].	76
Ilustración 82 Disminución del error asociado a malla en viga IPE 120. [Elaboración propia].	77
Ilustración 83 Convergencia del parámetro de variación de grieta y coordenadas en vigas IPE 100. [Elaboración propia].	79
Ilustración 84 Disminución del error asociado a malla en viga IPE 100. [Elaboración propia].	80
Ilustración 85 Verificación de la muestra IPE 100 experimental con muestra IPE 100 simulada con malla de	81

Ilustración 86 Verificación de la muestra IPE 120 experimental con la muestra IPE 120 simulada con malla de 12.5 mm³. [Elaboración propia]..... 81

Índice de tablas.

Tabla 1 Variables a considerar en la investigación [Elaboración propia].	39
Tabla 2 Dimensiones geométricas de las probetas IPE 100. [Elaboración propia].	44
Tabla 3 Dimensiones geométricas de las probetas IPE 120. [Elaboración propia].	45
Tabla 4 Resultados experimentales para viga IPE 120. [Elaboración propia].	69
Tabla 5 Resultados experimentales para viga IPE 100. [Elaboración propia].	71
Tabla 6 Resultados de la simulación para viga IPE 120 con mallado de 50 mm. [Elaboración propia].	74
Tabla 7 Resultados de la simulación para viga IPE 120 con mallado de 25 mm. [Elaboración propia].	74
Tabla 8 Resultados de la simulación para viga IPE 120 con mallado de 12.5 mm. [Elaboración propia].	75
Tabla 9 Resultados de la simulación para viga IPE 120 con mallado de 10 mm. [Elaboración propia].	75
Tabla 10 Resultados de la simulación para viga IPE 120 con mallado de 5 mm. [Elaboración propia].	75
Tabla 11 Resultados convergentes de la simulación en viga IPE 120. [Elaboración propia].	76
Tabla 12 Error aproximado del mallado para viga IPE 120. [Elaboración propia].	76
Tabla 13 Resultados de la simulación para viga IPE 100 con mallado de 50 mm. [Elaboración propia].	77
Tabla 14 Resultados de la simulación para viga IPE 100 con mallado de 25 mm. [Elaboración propia].	78
Tabla 15 Resultados de la simulación para viga IPE 100 con mallado de 12.5 mm. [Elaboración propia].	78
Tabla 16 Resultados de la simulación para viga IPE 100 con mallado de 10 mm. [Elaboración propia].	78
Tabla 17 Resultados de la simulación para viga IPE 100 con mallado de 5 mm. [Elaboración propia].	78
Tabla 18 Resultados convergentes de la simulación de la viga IPE 100. [Elaboración propia].	79
Tabla 19 Error aproximado del mallado para viga IPE 100. [Elaboración propia].	80