

# Índice

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Modelo de Navarro y De los Ríos</b>	<b>15</b>
2.1	Modelo de Navarro y De los Ríos para placas infinitas . . . . .	15
2.2	Modelo NR aplicado a placas entalladas . . . . .	21
2.3	Modelo NR para cargas biaxiales proporcionales . . . . .	23
2.4	Modelo NR biaxial aplicado a placas entalladas . . . . .	27
2.5	Resolución numérica del modelo NR . . . . .	29
<b>3</b>	<b>Métodos alternativos de resolución numérica</b>	<b>35</b>
3.1	Método basado en Newton-Cotes . . . . .	35
3.1.1	Aplicación a un caso particular . . . . .	36
3.2	Método propuesto por Erdogan, Gupta y Cook . . . . .	39
3.2.1	Aplicación a un caso particular . . . . .	40
<b>4</b>	<b>Resolución numérica del modelo biaxial para placas entalladas</b>	<b>45</b>
4.1	Tensiones elásticas . . . . .	45
4.2	Tensiones debido al resto de dislocaciones . . . . .	49
4.3	Ecuaciones integrales . . . . .	50
<b>5</b>	<b>Diseño de la geometría para ensayos experimentales</b>	<b>53</b>
5.1	Análisis de tensiones elásticas en placas con agujero . . . . .	54
5.2	Análisis de tensiones elásticas sobre probetas cilíndricas entalladas . . . . .	58
<b>6</b>	<b>Desarrollo experimental</b>	<b>63</b>
6.1	Material . . . . .	63
6.2	Preparación de la probeta . . . . .	64

6.3	Ensayos de fatiga a tracción-compresión . . . . .	64
6.4	Ensayos de fatiga a torsión alternativa . . . . .	65
6.5	Punto de iniciación y dirección de grieta . . . . .	66
<b>7</b>	<b>Resultados y discusión</b>	<b>67</b>
7.1	Resultados numéricos . . . . .	67
7.1.1	Análisis de sensibilidad a los parámetros del modelo NR	72
7.2	Resultados experimentales . . . . .	74
7.2.1	Curvas S-N . . . . .	74
7.2.2	Direcciones de grieta y puntos de iniciación alrededor de la entalla . . . . .	74
7.3	Comparación de resultados numéricos con experimentales . . .	76
7.4	Punto de iniciación dentro de la entalla . . . . .	80
<b>8</b>	<b>Conclusiones y trabajos futuros</b>	<b>83</b>
8.1	Resolución numérica del modelo NR . . . . .	83
8.2	Diseño de la probeta . . . . .	84
8.3	Resultados numéricos . . . . .	84
8.4	Resultados experimentales . . . . .	85
8.5	Trabajos futuros . . . . .	86
	<b>Apéndice</b>	<b>92</b>
<b>A</b>	<b>Expresión de los núcleos para la solución biaxial</b>	<b>95</b>
<b>B</b>	<b>Tablas de datos de ensayos de fatiga</b>	<b>99</b>

# Índice de Figuras

2.1	Esquema de grieta, zona plástica, barrera y microestructura del material. . . . .	16
2.2	Esquema de grieta, zona plástica y barrera. Coordenadas adimensionales. . . . .	18
2.3	Ejemplo de distribución de dislocaciones y tensiones de fricción utilizando las ecuaciones (2.2) y (2.3). . . . .	19
2.4	Placa infinita con agujero cilíndrico pasante, sometida a tracción uniaxial . . . . .	23
2.5	Placa con grieta sometida a esfuerzos biaxiales . . . . .	24
2.6	Placa entallada sometida a esfuerzos biaxiales. . . . .	28
2.7	Placa infinita con grieta sometida a una carga de tracción uniaxial. . . . .	31
2.8	Ejemplo de los intervalos de integración utilizados por Chaves et al [13] para la resolución de este caso. . . . .	31
3.1	Esquema del método de integración del tipo Newton-Cotes. . . . .	36
3.2	Comparación entre la función de distribución de dislocaciones numérica obtenida mediante un método basado en NC y la teórica obtenida mediante la ecuación 2.2. . . . .	38
3.3	Error relativo del método basado en NC en función de $N$ . . . . .	39
3.4	Comparación entre la función de distribución de dislocaciones numérica obtenida mediante el método de Erdogan, Gupta y Cook y la teórica. . . . .	41
3.5	Error relativo del método de Erdogan, Gupta y Cook en función de $N$ . . . . .	42
3.6	Error porcentual en función de la distancia adimensional mínima entre un punto de integración y la singularidad. . . . .	43
3.7	Comparación entre el error relativo del método de Erdogan, Gupta y Cook para distintos $N$ y para $N = 751$ . . . . .	43

4.1	Variables utilizadas para resolver el problema elástico a lo largo de la línea de grieta . . . . .	46
4.2	Combinación de esfuerzos axiales y tangenciales sobre una placa infinita con una entalla circular. . . . .	47
4.3	Relación entre esfuerzos tangenciales y axiales sobre una placa. . .	48
5.1	Esquema de la placa sobre la cual se analizan las tensiones elásticas mediante la técnica de elementos finitos. . . . .	55
5.2	$k_t$ máximo para una placa en función de los parámetros geométricos de la entalla ( $h_n$ y $t_s$ ). Espesor de la placa $t_s = 6.25mm$ . . . . .	56
5.3	Posición de $k_t$ máximo para una placa con dos entallas de distinto diámetro. . . . .	57
5.4	Esquema de la probeta sobre la cual se analizan las tensiones elásticas mediante la técnica de elementos finitos. . . . .	58
5.5	$k_{tmax}$ para una probeta de diámetro $d_s = 17mm$ con agujeros de distinto diámetro $d_n$ en función de la relación $h_n/d_s$ . . . . .	59
5.6	Relación $k_{ts}/k_{tp}$ en función de $d_n$ para probetas de distintos diámetros. . . . .	60
5.7	Posición de $k_t$ máximo para una probeta de diámetro $d_s = 6.25mm$ con dos entallas de distinto diámetro e igual profundidad $h_n = 2mm$ . 60	
6.1	Microestructura del acero AISI 304L. . . . .	64
6.2	Esquema de la probeta ensayada a tracción y vista de corte de la sección mínima. Unidades expresadas en mm. . . . .	65
6.3	Esquema de la probeta ensayada a torsión alternativa y vista de corte de la sección mínima. Unidades expresadas en mm. . . . .	66
7.1	Predicción numérica del límite de fatiga a tracción para el acero AISI 304L en función de la relación $d_n/D$ . . . . .	69
7.2	Predicción numérica del límite de fatiga a torsión para el acero AISI 304L en función de la relación $d_n/D$ . . . . .	70
7.3	Predicción numérica del límite de fatiga a tracción para el acero AISI 304L junto con un material de relación $\tau_{FL}/\sigma_{FL} = 0.51$ en función de la relación $d_n/D$ . . . . .	71
7.4	Variaciones de $\theta$ (a) y $\theta_1$ (b) en función de la relación $D/d_n$ . . . .	72
7.5	Variaciones en la aproximación del diagrama de Kitagawa-Takahashi del material debido a cambios en los parámetros $a_0$ y $f$ de la ecuación 2.10. . . . .	73

---

7.6	Cambios en la predicción del modelo NR para distintos valores de $a_0$ y $f$ en la ecuación 2.10. . . . .	74
7.7	Curva S-N para ensayos uniaxiales realizado sobre probetas tipo reloj de arena con agujeros de $d_n = 1mm$ . Relación de carga $R = -1$ . . . . .	75
7.8	Curva S-N para ensayos a torsión alternativa sobre probetas tipo reloj de arena con agujeros de $d_n = 1mm$ . . . . .	76
7.9	Ensamble de fotografías de la entalla y las grietas para una probeta ensayada a fatiga axial. $R = -1$ . $\sigma_y^\infty = 235MPa$ . $d_n = 1mm$ . $N = 220.000$ . Aumento 100X . . . . .	77
7.10	Ensamble de fotografías de la entalla y las grietas para una probeta ensayada a fatiga en torsión alternativa. $\tau^\infty = 235MPa$ . $d_n = 1mm$ . $N = 414.000$ . Aumento 10X. . . . .	77
7.11	Predicción teórica y resultados experimentales para ensayos a tracción y torsión. . . . .	78
7.12	Microfotografía de la zona de fractura de una probeta ensayada a fatiga axial y esquema de la zona aumentada. $R = -1$ . $\sigma = 230MPa$ . $N = 241.000$ . Aumento: 50X. . . . .	81
A.1	Esquema de las variables utilizadas en la expresión de los <i>Núcleos</i> . . . . .	95



# Índice de Tablas

3.1	Valores de $\sigma_3$ obtenidos y error porcentual. Método de Newton-Cotes	38
3.2	Valores de $\sigma_3$ obtenidos y error porcentual. Método de Erdogan et al. . . . .	41
6.1	Propiedades del acero AISI 304L [36]. . . . .	63
7.1	Puntos de iniciación y direcciones de grieta predichos por el modelo NR. . . . .	72
7.2	Puntos de iniciación y direcciones de grieta obtenidos experimentalmente. . . . .	76
7.3	Puntos de iniciación y direcciones teóricos y experimentales. . . . .	79
7.4	Comparación de los resultados experimentales con los nuevos resultados teóricos. . . . .	79
B.1	Resultados de los ensayos a fatiga realizados. . . . .	99

