

# Índice

Resumen	II
Abstract	III
Índice	IV
<b>1. Introducción.</b>	<b>1</b>
<b>2. Generalidades sobre materiales compuestos.</b>	<b>5</b>
2.1. Introducción. . . . .	6
2.1.1. ¿Qué es un material compuesto? . . . . .	6
2.1.2. Clasificación de materiales compuestos. . . . .	6
2.1.3. Polímeros reforzados con fibras. . . . .	8
2.2. Propiedades mecánicas de los compuestos. . . . .	10
2.2.1. Fibras discontinuas. . . . .	12
2.3. Teoría de laminados . . . . .	15
2.3.1. Comportamiento ortotrópico de una lámina. . . . .	15
2.3.2. Relaciones constitutivas en materiales ortotrópicos. . . . .	15
2.3.3. Variación de las constantes elásticas con el ángulo respecto a los ejes principales . . . . .	18
2.4. Laminados multicapa. . . . .	20
2.4.1. Nomenclatura de laminados. . . . .	21
2.4.2. Propiedades mecánicas de laminados multicapa. . . . .	21
2.5. Resistencia de laminados unidireccionales. . . . .	22
2.5.1. Resistencia longitudinal a la tracción, $\sigma_{\parallel}^*$ . . . . .	22
2.5.2. Resistencia longitudinal a la compresión, $\sigma_{\parallel,comp}^*$ . . . . .	23
2.5.3. Resistencia transversal, $\sigma_{\perp}^*$ . . . . .	23
2.5.4. Resistencia al corte, $\tau_{\#}^*$ . . . . .	23
2.5.5. Criterio de falla para estados biaxiales de tensión. . . . .	24
<b>3. Fatiga en materiales compuestos FRP's.</b>	<b>28</b>

---

3.1.	¿Que es la fatiga? . . . . .	29
3.2.	Curvas S-N. . . . .	30
3.3.	Diagrama CAL. . . . .	32
3.4.	Normas para ensayos de fatiga. . . . .	35
3.4.1.	La norma DNV. . . . .	37
3.4.2.	La norma ASTM 3039: ensayo de tracción. . . . .	37
3.4.3.	La norma ASTM 3410: ensayo de compresión. . . . .	39
3.4.4.	La norma ASTM 3479: ensayo de fatiga tracción-tracción. . . . .	39
3.5.	Construcción de una Curva S-N. . . . .	41
3.6.	Análisis de costos para la construcción de un CAL. . . . .	42
3.6.1.	Costos fijos . . . . .	42
3.6.2.	Ensayos a 1Hz . . . . .	42
3.6.3.	Ensayos a 10Hz. . . . .	43
3.7.	Bases de datos existentes para compuestos FRP. . . . .	43
3.7.1.	La base de datos de SANDIA. . . . .	44
3.7.2.	La base de datos de FACT. . . . .	45
3.7.3.	Comparación de las bases de datos. . . . .	46
3.8.	El algoritmo Rainflow. . . . .	47
3.8.1.	Ejemplo de aplicación del algoritmo Rainflow. . . . .	49
3.9.	Tratamiento del problema de fatiga en una pala. . . . .	49
<b>4.</b>	<b>Método experimental</b>	<b>53</b>
4.1.	Introducción. . . . .	54
4.2.	Material ensayado. . . . .	54
4.3.	Probetas utilizadas. . . . .	55
4.3.1.	Ensayos estáticos. . . . .	55
4.3.2.	Ensayos de fatiga tracción-tracción (R=0,1). . . . .	56
4.3.3.	Ensayos de fatiga tracción-compresión (R=-1). . . . .	56
4.3.4.	Corte de las probetas. . . . .	57
4.4.	Máquinas de ensayos mecánicos utilizadas. . . . .	58
4.5.	Problema con las mordazas. . . . .	59
4.5.1.	Utilización de tabs. . . . .	60
4.6.	Ensayos realizados. . . . .	62
4.7.	Frecuencia de trabajo. . . . .	62
4.8.	Instrumentación con strain gages. . . . .	63
4.9.	Medición de deformación con Extensómetro. . . . .	63
<b>5.</b>	<b>Resultados y discusión.</b>	<b>65</b>

5.1. Ensayos estáticos. . . . .	66
5.2. Ensayos de fatiga. . . . .	69
5.2.1. Fatiga tracción-tracción. . . . .	69
5.2.2. Fatiga tracción-compresión. . . . .	73
5.2.3. Diagrama CAL. . . . .	76
5.3. Discusión. . . . .	76
5.4. Ejemplo de Aplicación. . . . .	79
5.5. Conclusiones. . . . .	83
5.6. Análisis de Costos. . . . .	83
<b>Bibliografía</b>	<b>85</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>88</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>89</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>90</b>