



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR  
DE MOTUL**

---

---

**ESTUDIO DE LA ABSORCIÓN DE ENERGÍA AL IMPACTO  
EN LAMINADOS FIBROREFORZADOS A BASE DE  
FIBRAS DE ARAMIDA Y MATRIZ DE POLIPROPILENO.**

**OPCIÓN I**

**TESIS DE LICENCIATURA**

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
INGENIERO ELECTROMECÁNICO**

**PRESENTA:**

**RICARDO ALBERTO GAMBOA CASTELLANOS**

**MOTUL, YUCATÁN, MÉXICO**

**JULIO, 2009.**

## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii

### CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Justificación.....	5
1.5. Delimitaciones (alcances y limitaciones).....	6
1.5.1. Alcances.....	6
1.5.2. Limitaciones.....	7

### CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1. Resumen.....	8
2.2. Características físicas y geométricas de los materiales.....	8
2.2.1. Material homogéneo.....	9
2.2.2. Material heterogéneo.....	9
2.2.3. Material isotrópico.....	9
2.2.4. Material anisotrópico u ortotrópico.....	9
2.3. Materiales compuestos.....	10

2.3.1. Clasificación de los materiales compuestos .....	11
2.3.2. Mecanismos para mejorar el comportamiento de los materiales compuestos.....	13
2.3.3. Ventajas de los materiales compuestos.....	17
2.3.4. Aplicaciones de los materiales compuestos.....	17
2.4. Fibras textiles.....	19
2.4.1. Historia de la aramida.....	22
2.4.2. Proceso de fabricación de fibra de aramida.....	23
2.4.3. Tipos de fibra Kevlar®.....	24
2.5. Matrices poliméricas.....	24
2.5.1. Polímeros termofijos.....	25
2.5.2. Polímeros termoplásticos.....	27
2.5.3. Polipropileno.....	29
2.6. Análisis Mecánico de Materiales.....	30
2.7. Comportamiento mecánico a impacto de los materiales. ....	31
2.7.1. Pruebas de impacto a materiales compuestos.....	32

### **CAPÍTULO III. CONSTRUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS.**

3.1. Resumen.....	37
3.2. Materiales.....	37
3.3. Molienda y tamizado.....	38
3.3.1. Molienda y tamizado de la matriz.....	38
3.3.2. Determinación del tamaño de partícula.....	39
3.4. Impregnación térmica de las preformas por el método de polvos.....	39

3.5. Elaboración de los laminados para las pruebas de impacto.....	41
3.5.1. Nomenclatura de las placas.....	41
3.5.2. Laminados con polipropileno.....	42
3.5.3. Laminados de petatillo.....	43
3.5.4. Cálculo de fracción volumen.....	46
3.5.5. Laminados sin polipropileno en el área de impacto.....	48
3.5.6. Laminados de fibra.....	50
3.5.7. Laminados por el método de embobinado.....	55
3.6. Pruebas a tensión de la fibra reforzante de aramida.....	60
3.6.1. Medición del diámetro.....	61
3.6.2. Pruebas de tensión en el microtensómetro.....	62
3.7. Elaboración de las placas para pruebas de tensión.....	64
3.8. Caracterización mecánica de los materiales compuestos.....	67
3.9. Ensayo de impacto sobre laminados.....	68
3.9.1. Geometría de las muestras sometidas a impacto.....	70
3.9.2. Procedimiento para las pruebas de impacto.....	72
3.10. Microscopía óptica.....	73

#### **CAPÍTULO IV. RESULTADOS.**

Resumen.....	76
4.1. Molienda y tamizado de la matriz.....	76
4.2. Impregnación de las preformas por el método de polvos.....	77
4.3. Laminados de polipropileno.....	78
4.4. Laminados compuestos de petatillo.....	79

4.5. Laminados sin polipropileno en el área de impacto.....	81
4.6. Laminados con fibra unidireccional.....	81
4.7. Pruebas a tensión de la fibra reforzante de aramida.....	82
4.8. Laminados con <i>tabs</i> del material compuesto con aramida Kevlar 129.....	84
4.9. Caracterización mecánica del material compuesto con aramida Kevlar 129.....	85
4.10. Caracterización mecánica del material compuesto con aramida Kevlar 49 y láminas de PP.....	87
4.11. Caracterización mecánica del material compuesto con aramida Kevlar 49 y PP impregnada por el método de polvos.....	88
4.12. Ensayos de impacto sobre laminados.....	89
4.13. Análisis microscópico de las muestras.....	97

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO.**

5.1. Conclusiones.....	104
5.2. Trabajo a futuro.....	105

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 108**

Anexo I. Medidas de las probetas probadas a tensión.....	113
Anexo II. Tablas y gráficas de las pruebas de tensión.....	115

## RESUMEN

Esta tesis de licenciatura estudia el comportamiento de impactos de alta velocidad de un material compuesto fibroreforzado con aramida y matriz termoplástica. Para la realización de este estudio se consideraron cuatro configuraciones: laminados con tejidos de fibra aramida Kevlar® 129 con matriz de polipropileno (PP), laminados con tejido de aramida Kevlar® 129 sin PP en el área de impacto, laminados con mechas de fibra continua de aramida Kevlar® 49 con láminas de PP y laminados con mechas de fibra continua de Kevlar® 49 impregnadas con polipropileno por el método de polvos. Todas estas configuraciones en un arreglo bidireccional 0°/90°, los cuales tiene un comportamiento ortotrópico.

Para determinar el comportamiento frente a un impacto de alta velocidad de estos laminados se evaluaron experimentalmente: el número de capas de los laminados, la influencia de una matriz polimérica en el textil, el límite balístico y la influencia en el comportamiento al usar tafetán (petatillo) de aramida y mecha continua de aramida. A partir de estos ensayos se estableció una metodología para la realización de pruebas de impacto sobre materiales compuestos fibroreforzados, que incluye un estudio para el diseño óptimo de la geometría de probeta a utilizarse en los ensayos de impacto.

Los resultados demuestran que al agregar una matriz como medio de disipación de energía, el material compuesto con fibra Kevlar® 129, mejoró en un 40% sus propiedades al impacto. Mientras que el material compuesto con Kevlar® 49 tuvo que duplicarse la cantidad de material usado para resistir el mismo nivel de energía que el arreglo compuesto de tejido.