



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MÉRIDA



---

**“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES  
COMPUESTOS A BASE DE DESECHOS DE MADERA Y  
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD”**

**OPCIÓN I**

(TESIS PROFESIONAL)

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

PRESENTA:  
**OSVALDO MARTÍNEZ DOMÍNGUEZ**

MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO  
2008



## CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 ALCANCE Y ESTRUCTURA DE LA TESIS .....	1
1.2 PERSPECTIVA TÉCNICA.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3 O.3.1 OBJETIVO GENERALES.....	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
<b>CAPÍTULO 2: CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....</b>	<b>5</b>
2.1 MATERIALES COMPUESTOS.....	5
2.1.1 CLASIFICACIÓN.....	6
2.1.2 MATRICES METÁLICAS Y ALEACIONES.....	7
2.1.3 MATRICES CERÁMICAS.....	8
2.1.4 MATRICES POLIMÉRICAS.....	8
2.1.5 MATERIALES COMPUESTOS POLIMÉRICOS CON FIBRAS VEGETALES.....	10
2.2 POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.....	13
2.3 AGENTES ACOPLANTES.....	15
2.4 APLICACIONES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS POLIMÉRICOS A BASE DE DESECHOS DE MADERA.....	17
2.5 EXTRUSIÓN.....	20
2.5.1 EXTRUSORES MONO-HUSILLO.....	21
2.5.2 EXTRUSORES DOBLE-HUSILLO.....	23

2.6 RESISTENCIA DE LOS MATERIALES.....	26
2.6.1 ESFUERZO.....	27
2.6.2 DEFORMACIÓN.....	28
2.6.3 ELASTICIDAD.....	30
2.6.4 RELACIÓN ENTRE EL ESFUERZO Y LA DEFORMACIÓN.....	31
2.6.5 EL MÓDULO ELÁSTICO.....	33
2.6.6 DIAGRAMAS ESFUERZO DEFORMACIÓN.....	33
2.6.7 RESISTENCIA A LA Tensión.....	36
2.6.8 LÍMITE ELÁSTICO.....	37
2.6.9 ESFUERZO ÚLTIMO.....	37
<b>CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>46</b>
3.1 MATERIALES.....	46
3.1.1 DESECHOS DE MADERA (DM).....	46
3.1.2 POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE).....	47
3.1.3 AGENTE ACOPLANTE (AA).....	47
3.2 TRATAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS DESECHOS DE MADERA.....	48
3.2.1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD.....	48
3.2.2 ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO.....	49
3.2.3 ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN INICIAL DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA.....	50
3.2.4 REDUCCIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA.....	52

3.3 REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL HDPE Y DEL AGENTE ACOPLANTE.....	55
3.4 FORMULACIÓN.....	55
3.4.1 PREPARACIÓN DE MEZCLAS.....	58
3.4.2 PROCESAMIENTO POR EXTRUSIÓN.....	59
3.4.2.1 PRUEBAS PRELIMINARES.....	59
3.4.2.2 OBTENCIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS.....	61
3.5 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.....	62
3.5.1 INTRODUCCIÓN.....	62
3.5.2 PREPARACIÓN DE PROBETAS A TENSIÓN.....	63
3.5.2.1 ENSAYOS PRELIMINARES.....	63
3.5.2.1 ENSAYOS PRELIMINARES.....	63
3.5.2.2 CONDICIONES FINALES DE PREPARACIÓN.....	63
3.5.3 PREPARACIÓN DE PROBETAS PARA PRUEBAS A FLEXIÓN.....	65
3.5.4 PREPARACION DE PROBETAS PARA PRUEBAS A IMPACTO.....	66
3.5.5 PRUEBAS MECÁNICAS A FLEXIÓN.....	67
3.5.6 PRUEBAS MECÁNICAS A TENSIÓN.....	68
3.5.7 PRUEBAS MECÁNICAS DE IMPACTO IZOD.....	69
3.5.7.1 SELECCIÓN DEL MARTILLO PARA IMPACTO.....	69
3.5.7.2 CONDICIONES FINALES PARA LA PRUEBA DE IMPACTO.....	70
3.6 ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA.....	70

3.7 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN REAL DE LOS MATERIALES COMPUESTOS.....	71
<b>CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>74</b>
4.1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD.....	74
4.2 ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO.....	75
4.3 ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN INICIAL DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA.....	77
4.4 REDUCCIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA.....	80
4.5 PROCESAMIENTO POR EXTRUSIÓN.....	82
4.5.1 PRUEBAS PRELIMINARES.....	82
4.5.2 OBTENCIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS.....	83
4.6 PRUEBAS MECÁNICAS A FLEXIÓN.....	85
4.7 PRUEBAS MECÁNICAS A TENSIÓN.....	90
4.8 PRUEBAS MECÁNICAS DE IMPACTO IZOD.....	95
4.9 ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA.....	98
4.10 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN REAL DE LOS MATERIALES COMPUESTOS.....	100
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>102</b>
5.1 PRUEBA DE HUMEDAD.....	102
5.2 ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO.....	102

5.3 DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA.....	103
5.4 PROCESAMIENTO POR EXTRUSIÓN.....	103
5.5 PRUEBAS MECÁNICAS A FLEXIÓN.....	103
5.6 PRUEBAS MECÁNICAS A Tensión.....	104
5.7 PRUEBAS MECÁNICAS DE IMPACTO IZOD.....	104
5.8. CONCLUSIÓN GENERAL.....	105
5.9 RECOMENDACIONES.....	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106

## RESUMEN

El presente trabajo de tesis consiste en un estudio preliminar sobre la preparación de materiales compuestos a base de polietileno de alta densidad y desechos de madera, generados en la ciudad de Mérida y sus áreas circunvecinas, para su aplicación potencial como materiales estructurales sustitutos de materiales convencionales. Para tal fin, se emplearon los desechos de madera dándoles un tratamiento mínimo con la intención de implementar a futuro un proceso de bajo costo, el cual permita obtener productos a partir de este tipo de materiales con los menores costos posibles. En este trabajo, se determinó el rango de temperaturas de procesamiento adecuadas para este tipo de materiales, así como un proceso básico inicial para formular este tipo de materiales. Se obtuvieron materiales compuestos con formulaciones desde 5 hasta 70 % en peso de desechos de madera. Así mismo, se evaluó la influencia de un agente acoplante y una ayuda de proceso sobre las propiedades mecánicas a tensión, flexión e impacto. En general, se lograron formular materiales compuestos con concentraciones de hasta 70% en peso de desechos de madera. Así mismo se demostró que el uso de un agente acoplante mejora las propiedades mecánicas de los materiales, aumentando su resistencia a la flexión, tensión e impacto.