

# Índice

<b>Resumen</b> .....	iii
<b>Abstract</b> .....	iv
Índice de figuras.....	vii
Índice de tablas.....	xiii
<b>Introducción</b> .....	1
<b>I. Marco teórico</b> .....	4
I.1 Compósitos.....	4
I.2 Desarrollo histórico de compósitos.....	5
I.3 Nanocompósito.....	6
I.4 Nanopartículas.....	7
I.4.1 Aplicaciones comerciales de nanopartículas.....	10
I.4.2 Tipos de nanopartículas.....	12
I.5 Nanopartículas de plata.....	13
I.5.1 Síntesis de nanopartículas de plata.....	16
I.6 Polipropileno.....	20
I.6.1 Tipos de polipropileno.....	22
I.7 Extrusión.....	23
I.7.1 Extrusor.....	24
<b>II. Metodología</b> .....	28
II.1 Materiales y reactivos.....	28
Nitrato de plata.....	28
Polietilenglicol.....	28
Dicloroetano.....	29
Diclorometano.....	29
Polipropileno.....	29
II.2. Síntesis.....	30

---

II.2.1 Nanopartículas de plata por método PEG.....	30
II.3 Diseño de experimentos.....	32
II. 4 Preparación de los nanocompósitos mediante extrusora.....	34
II.5 Preparación de los nanocompósitos mediante mezclador Brabender...	37
II.6 Técnicas de caracterización.....	39
II.6.1 Microscopia de fuerza atómica .....	39
II.6.2 Microscopio de luz polarizada (PLM).....	40
II.6.3 Calorimetría diferencial de barrido.....	41
II.6.4 Prueba de impacto Gardner.....	43
II.6.5 Maquina universal.....	45
II.6.6 Difracción de rayos X (DRX).....	51
<b>III. Resultados y discusión.....</b>	<b>54</b>
III.1 Apariencia y procesabilidad de los nanocompósitos.....	54
III.2 Micrografías AFM.....	55
III.3 Termogramas DSC.....	56
III.4 Resistencia al impacto.....	62
III.5 Caracterización mediante PLM.....	63
III.6 Caracterización mediante DRX.....	66
III.7 Maquina Universal.....	72
<b>Conclusiones.....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>82</b>
A.1 NORMA ASTM D 638-03.....	82
<b>Bibliografía.....</b>	<b>83</b>

## Índice de figuras

	<b>pp.</b>
Figura 1.1. Uso de nanopartículas de tipo especificado en productos comerciales. C se refiere a fulerenos y nanotubos de carbono Nagarajan R., 2008.....	11
Figura 1.2. Número de publicaciones registradas en la red de ciencia relacionadas con las nanopartículas, Nagarajan R., 2008.....	12
Figura 1.3. Reacción supuesta durante la obtención de las nanopartículas de plata a partir de polietilenglicol (PEG)(Luo y col., 2005).....	16
Figura 1.4. Mecanismo de formación de nanopartículas de plata a partir de la reducción química en disolución de la sal AgNO <sub>3</sub> .....	17
Figura 1.5. Método de síntesis de nanopartículas de plata empleando reactivos respetuosos con el medio ambiente.....	17
Figura 1.6. Síntesis de nanopartículas de plata empleando DMF como agente reductor. Cuando se emplea el polímero PVP como agente reductor se pueden obtener nanopartículas (arriba) o nanoprismas (abajo) de plata. Cuando se emplea APS se obtienen nanopartículas de plata rodeadas de una capa de sílice (centro).....	18
Figura 1.7. Diferentes nanoestructuras de plata sintetizadas mediante la reducción de nitrato de plata en etilenglicol, empleando polivinilpirrolidona como agente estabilizante.....	19
Figura 1.8. Representación estereoquímica de las configuraciones del PP (a) isotáctico, (b) atáctico y (c) sindiotáctico (Oswald y Menges, 2003)....	21
Figura 1.9. Partes de un extrusor convencional monohusillo (Newton, 2006).....	25
Figura 1.10. Elementos de mezclado para la extrusión de PP: mezcladores y secciones de mezclado (Maier y Calafut, 1998).....	26

---

Figura 2.1. Estructura de la unidad repetitiva del polietilenglicol.....	29
Figura 2.2. PEG y AgNO <sub>3</sub> en agitación para la obtención de nanopartículas de plata.....	30
Figura 2.3. Diclorometano disolviendo la mezcla de PEG y AgNO <sub>3</sub> .....	31
Figura 2.4. Nanopartículas de plata.....	31
Figura 2.5. Obtención de nanopartículas de plata no exitosa ya que no se controló la temperatura.....	32
Figura 2.6. Extrusor con equipos auxiliares.....	34
Figura 2.7. Perfil de temperaturas a el cual fueron sometidos los materiales.....	35
Figura 2.8. Mezcladores distributivos que se utilizaron en la extrusión de los materiales.....	35
Figura 2.9 A) Sistema de enfriamiento B) Máquina peletizadora.....	36
Figura 2.10. Material peletizado con distinta concentración A) 4A con 3% de nanopartículas y 5% de carga B) 6B con 10% de nanopartículas y 10% de carga.....	37
Figura 2.11. A) Mezclador tipo Brabender con campana de extracción, B) Cámara de acceso al interior del mezclador, C) Tornillos de mezclado.....	38
Figura 2.12. A) Molino para triturado de la muestra. B) Malla que retiene los materiales de mayor tamaño.....	38
Figura 2.13. A) Microscopio de Fuerza Atómica (AFM), B) sistema de computo utilizado para la visualización y almacenamiento de micrografías.....	39
Figura 2.14. Microscopio óptico equipado con cámara para captura de imágenes..	41
Figura 2.15. A) Prensa y cápsulas para almacenar el material. B) Capsulas de aluminio selladas.....	42
Figura 2.16. Impactometro BYK utilizado para las pruebas de impacto.....	43

Figura 2.17.A) Molde para el material. B) Material moldeado. C) Pruebas de impacto.....	44
Figura 2.18. Maquina universal Shimazdu en donde se hicieron las pruebas mecánicas.....	45
Figura 2.19A)Prensa de moldeo por calentamiento. B) Prensa Hidráulica.....	47
Figura 2.20. Probetas del material 6B con burbujas, no aptas para ensayos.....	48
Figura 2.21.Molde para la elaboración de probetas.....	49
Figura 2.22.A)Prensa de moldeo por calentamiento. B) Prensa Hidráulica.....	49
Figura 2.23.Probetas obtenidas sin burbujas.....	50
Figura 2.24. A) Probetas. B) Molde de probetas. C) Probeta cortada.....	51
Figura 2.25. DRX modelo D8 Advance utilizado para el análisis de los materiales.....	52
Figura 2.26. Porta muestras del equipo D8 Advance.....	53
Figura 3.1. Aglomeración de las nanopartículas de plata en el nanocomposito.....	54
Figura 3.2. Micrografía obtenida de AFM con nanopartículas al 10% de $\text{AgNO}_3$ ..	55
Figura 3.3. Calentamiento y enfriamiento de PP puro en DSC a velocidades de calentamiento de $10^\circ\text{C}/\text{min}$ y $50^\circ\text{C}/\text{min}$ .....	56
Figura 3.4 Termograma del nanocomposito 1A (3% de $\text{AgNO}_3$ al 5% de carga).Con 2 fases de calentamiento y 1 de enfriamiento.....	57
Figura 3.5 Termograma del nanocomposito 1B(3% de $\text{AgNO}_3$ al 10% de carga).Con 2 fases de calentamiento y 1 de enfriamiento.....	57
Figura 3.6.Termograma del nanocomposito 2A (5% de $\text{AgNO}_3$ al 5% de carga). Con 2 fases de calentamiento y 2 de enfriamiento.....	58
Figura 3.7. Termograma del nanocomposito 2B (5% de $\text{AgNO}_3$ al 10% de carga). Con 2 fases de calentamiento y 2 de enfriamiento.....	58

Figura 3.8. Termograma del nanocompósito 3A (10% de $\text{AgNO}_3$ al 5% de carga). Con 2 fases de calentamiento y 2 de enfriamiento.....	59
Figura 3.9. Termograma del nanocompósito 3B (10% de $\text{AgNO}_3$ al 10% de carga). Con 2 fases de calentamiento y 2 de enfriamiento.....	59
Figura 3.10 Termograma del nanocompósito 5A,(5% de carga, al 5% de $\text{AgNO}_3$ ). Con 2 fases de calentamiento y 1 de enfriamiento.....	60
Figura 3.11 Termograma del nanocompósito 6A (5% de carga, al 5% de $\text{AgNO}_3$ ). Con 2 fases de calentamiento y 1 de enfriamiento.....	60
Figura 3.12. Resistencia al impacto soportada por los materiales medida en unidades de energía "Joules".....	63
Figura 3.13.A) Microfotografía del material 1A.B) 1B. Las flechas señalan las esferulitas de la fase $\beta$ observable por tonalidad característica de la birrefringencia negativa.....	64
Figura 3.14.A) Microfotografía del material 2A.B) 2B. Las flechas señalan las esferulitas de la fase $\beta$ observable por tonalidad característica de la birrefringencia negativa, magnificación.....	64
Figura 3.15.A) Microfotografía del material 3A.B) 3B. Las flechas señalan las esferulitas de la fase $\beta$ observable por tonalidad característica de la birrefringencia negativa.....	64
Figura 3.16.A) Microfotografía del material 4A. B) 4B. Las flechas señalan las esferulitas de la fase $\beta$ observable por tonalidad característica de la birrefringencia negativa.....	65
Figura 3.17.A) Microfotografía del material 5A. B) 5B. Las flechas señalan las esferulitas de la fase $\beta$ observable por tonalidad característica de la birrefringencia negativa.....	65
Figura 3.18. A) Microfotografía del material 6A. B) 6B. Las flechas señalan las esferulitas de la fase $\beta$ observable por tonalidad característica de la birrefringencia negativa.....	65

---

Figura 3.19 Microfotografía de polipropileno con nanopartículas al 3% en peso, las flechas denotan los grupos de nanopartículas, Liang y col., 2007.....	66
Figura 3.20.Difractograma de los materiales 1A y 1B obtenidos por el mezclador Brabender.....	67
Figura 3.21.Difractograma de los materiales 2A y 2B obtenidos por el mezclador Brabender.....	68
Figura 3.22.Difractograma de los materiales 3A y 3B obtenidos por el mezclador Brabender.....	68
Figura 3.23.Difractograma de los materiales 4A y 4B obtenidos por el sistema monohusillo.....	69
Figura 3.24.Difractograma de los materiales 5A y 5B obtenidos por el sistema monohusillo.....	70
Figura 3.25.Difractograma de los materiales 6A y 6B obtenidos por el sistema monohusillo.....	71
Figura 3.26.Comparación de la muestra1A-0305 contra el polipropileno.....	73
Figura 3.27.Comparación de la muestra1B-0310contrael polipropileno.....	74
Figura 3.28.Comparación de la muestra2A-0505contra el polipropileno.....	74
Figura 3.29.Comparación de la muestra2B-0510contra el polipropileno.....	75
Figura 3.30.Comparación de la muestra3A-1005contra el polipropileno.....	75
Figura 3.31.Comparación de la muestra3B-1010contra el polipropileno.....	76
Figura 3.32. Comparación de la muestra 4A-0305contra el polipropileno.....	76
Figura 3.33.Comparación de la muestra 5A-0505contra el polipropileno.....	77
Figura 3.34.Comparación de la muestra 5B-0510contra el polipropileno.....	77
Figura 3.35.Comparación de la muestra 6A-1005contra el polipropileno.....	78

Figura 3.36.Comparación de la muestra 6B-1010contra el polipropileno.....	78
Figura A1. Medidas de probetas para ensayos en máquina universal.....	82

## Índice de tablas

	<b>pp.</b>
<b>Tabla 2.1.</b> Nomenclatura y descripción de los materiales elaborados mediante mezclador Brabender.....	32
<b>Tabla 2.2.</b> Nomenclatura y descripción de los materiales elaborados mediante extrusor monohusillo.....	33
<b>Tabla 3.1.</b> Temperaturas de fusión, cristalización y fase $\beta$ de los materiales analizados por DSC.....	61
<b>Tabla 3.2.</b> Resistencia al impacto soportada en Joules por los materiales.....	62
<b>Tabla 3.2.</b> Porcentajes de alturas obtenidas en los difractogramas de DRX.....	72
<b>Tabla 3.3.</b> Datos obtenidos de la maquina universal con los promedios de los máximos obtenidos.....	79
<b>Tabla A.1.</b> Dimensiones para probeta para pruebas tensiles. Dimensiones del espécimen para el espesor, T, mm [ln].....	82