



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE QUÍMICA**

**“ESTUDIO DEL NANOCOMPUESTO DE INGENIERÍA ABS CON  
MONTMORILLONITA EXPANDIDA CON DIFERENTES AMINAS, PARA  
OPTIMIZAR SU RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN QUÍMICA POR HIDRÓLISIS”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERA QUÍMICA**

**PRESENTA**

**VANIA CELESTE PEDROZA DE LEÓN**



**MÉXICO, D.F.**

**AÑO 2014**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:**           **Profesor: MARCO ANTONIO URESTI MALDONADO**

**VOCAL:**                 **Profesor: CARLOS GUZMÁN DE LAS CASAS**

**SECRETARIO:**         **Profesor: ALFREDO MACIEL CERDA**

**1er. SUPLENTE:**       **Profesor: FRANCISCO LOPEZ SERRANO RAMOS**

**2° SUPLENTE:**         **Profesor: ANGEL ENRIQUE CHAVEZ CASTELANOS**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATERIALES**

**ASESOR DEL TEMA:**

---

**ALFREDO MACIEL CERDA**

**SUSTENTANTE:**

---

**VANIA CELESTE PEDROZA DE LEÓN**

*“LA INTELIGENCIA MÁS EL CARÁCTER ES EL OBJETIVO DE UNA  
VERDADERA EDUCACIÓN.”*

MARTIN LUTHER KING

## **DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS**

Me alegra que en este momento tan importante de mi vida haya conocido a personas tan excepcionales e inolvidables y con un valor inigualable. Fueron tantos los momentos compartidos con muchas personas que me gustaría plasmarlos en estas líneas y hacerlos inmortales para mí, agradeciéndoles su apoyo, compañía, y más que nada sus conocimientos.

Agradezco principalmente a mis padres, Mirna De León y Salvador Pedroza, quienes me han dado todo lo que he necesitado a lo largo de los años, así como su cariño, apoyo y comprensión. Una pieza clave de que en estos momentos sea una profesionista con amplias expectativas tanto profesionales como personales.

A mí querida hermana Galia, mi hermano Fabián, mi cuñado Jorge y mis sobrinos Diego y Dany, quienes me han dado tantas fuerzas para seguir luchando y no sólo eso, levantarme cuando he caído.

A mi amiga, compañera y confidente Naville Limón quien me ha apoyado, le agradezco su tiempo y su gran influencia para concluir este trabajo que sin duda fue un gran reto para ambas. Con mucho cariño recordaré todos tus consejos y aquellos buenos momentos.

Al Dr. Alfredo Maciel, quien fue mi asesor y amigo, y que gracias a él pude culminar con mi investigación, gracias por sus consejos, por sus regaños que bien me hicieron crecer, por compartirme sus conocimientos y experiencias.

Al honorable jurado.

Al grupo de investigadores, técnicos y administrativos del Instituto de Investigaciones en Materiales, en especial a la M. en C. Adriana Tejeda Cruz por brindarme el apoyo técnico y el manejo del difractómetro de rayos X. A la QFB Damaris Cabrero Palomino del Laboratorio de análisis térmicos, por su apoyo técnico y sus conocimientos en la interpretación de las pruebas térmicas

realizadas. Al I.Q. Ernesto Sánchez Colín, por su apoyo técnico en las pruebas realizadas de tensión. Al I.Q. Miguel Ángel Canseco Martínez en su apoyo técnico del espectrómetro FTIR-ATR. Al Dr. Omar Novelo Peralta por su apoyo en el uso del microscopio de barrido. Al Fis. Carlos Flores Morales por su asistencia en el uso del microscopio de transmisión.

Agradezco profundamente a los ingenieros Víctor Hernández, David Arcadia y David Guijosa de la Facultad de Ingeniería, quienes me apoyaron con su experiencia y tiempo para la extrusión e inyección de las muestras en el Laboratorio de Procesamiento de Polímeros.

Agradezco el apoyo a la Dra. Patricia Castillo Ocampo y a su estudiante del Instituto de Física, por su apoyo en la preparación de muestras en el micrótomo para el microscopio de transmisión.

Agradezco con mucho cariño a Juan Sandoval por su ayuda y comprensión que fueron de gran importancia para la terminación de este trabajo.

A mis amigas topangas de la Facultad de Química, en especial a Laura, Claudia y Grisel. A mis amigos de la carrera de Ingeniería Química, Pedro, Ángel, Mireles y Víctor “el tío”.

A todos mis compañeros Ingenieros que me apoyaron con su amistad a lo largo de estos 5 años en la carrera.

**¡A TODOS Y A CADA UNO, CON MUCHO CARIÑO!**

**¡MUCHAS GRACIAS!**

# TABLA DE CONTENIDO

.....	I
DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS.....	IV
TABLA DE CONTENIDO .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	XIII
ABREVIATURAS Y SIMBOLOS.....	XIV
RESUMEN .....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
ALCANCE DE INVESTIGACIÓN.....	XIX
OBJETIVO GENERAL.....	XIX
OBJETIVOS PARTICULARES.....	XIX
HIPÓTESIS.....	XX
HIPÓTESIS PARTICULARES.....	XX
1. ANTECEDENTES .....	2
1.1. Acrilonitrilo – Butadieno- Estireno (ABS) .....	2
1.1.1. Estructura química.....	2
1.1.2. Propiedades del ABS.....	3
1.1.3. Aplicaciones .....	4
1.2. Arcillas .....	4
1.2.1. Clasificación de filosilicatos .....	5
1.2.2. Montmorillonita .....	7
1.3. Nanocompuestos.....	8
1.3.1. Nanocompuestos poliméricos <sup>[19-20]</sup> .....	9
1.3.2. Tipos de Nanocompuestos arcilla-polímero.....	11
1.3.3. Métodos de síntesis de nanocompuestos arcilla-polímero <sup>[16,20]</sup> .....	12
1.3.4. Propiedades de los Nanocompuestos .....	14
1.4. Degradación de Polímeros <sup>[21-25]</sup> .....	14
1.4.1. Degradación Hidrolítica <sup>[25-27]</sup> .....	16
1.4.2. Proceso de Degradación Hidrolítica en materiales poliméricos .....	16

1.5. Caracterización de Polímeros <sup>[29-32]</sup> .....	18
1.5.1. Análisis Estructural .....	18
1.5.2. Análisis Térmico.....	21
1.6. Propiedades Mecánicas.....	25
1.6.1. Resistencia a la tracción y elongación a la rotura .....	26
1.7. Análisis Morfológico .....	28
1.7.1. Técnicas microscópicas .....	29
1.7.2. Microscopio electrónico de transmisión (TEM) .....	29
1.7.3. Microscopio electrónico de barrido (SEM).....	32
1.8. Procesamiento de polímeros <sup>[50,53]</sup> .....	34
1.8.1. Extrusión.....	34
1.8.2. Inyección .....	35
2. PARTE EXPERIMENTAL .....	38
2.1. Materiales y equipo.....	38
2.1.1. Materias primas .....	38
2.1.2. Equipo.....	39
2.1.3. Diagrama Experimental.....	40
2.2. Modificación de la montmorillonita con aminas .....	40
2.3. Mezclado de la MMT-X con el ABS en estado fundido .....	44
2.4. Molienda .....	46
2.5. Inyección .....	46
2.6. Ciclo hidrolítico.....	47
2.7. Pruebas mecánicas.....	48
2.8. Difracción de rayos X.....	49
2.9. Calorimetría diferencial de barrido (DSC) .....	49
2.10. Microscopía electrónica de transmisión (TEM).....	49
2.1.1. Microscopía electrónica de barrido (SEM).....	50
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	53
3.1. Análisis de resultados por difracción de rayos X.....	53
3.1.1. Caracterización de las arcillas .....	53
3.1.2. Caracterización del ABS virgen y ABS reciclado .....	56
3.1.3. Caracterización de los nanocompuestos.....	56



3.2. Análisis térmico .....	67
3.2.1. Caracterización por calorimetría diferencial de barrido .....	67
3.3. Propiedades mecánicas.....	70
3.3.1. Propiedades mecánicas del ABS <sub>virgen</sub> , ABS <sub>rec</sub> blanco y de sus nanocompuestos con arcillas intercaladas.....	71
3.3.2. Propiedades mecánicas de los nanocompuestos con ABS <sub>nat</sub> .....	79
3.4. Microscopía electrónica .....	84
3.4.1. Microscopía electrónica de transmisión .....	84
3.4.2. Microscopía Electrónica de Barrido .....	88
4. CONCLUSIONES .....	97
4.1 RECOMENDACIONES.....	99
5. BIBLIOGRAFÍA.....	100
ANEXO A. Calentador Solar de Acero Inoxidable con Cubierta de ABS .....	105
ANEXO B. Hoja técnica de la montmorillonita .....	106
ANEXO C. Norma ASTM 638. ASTM D638.....	108
ANEXO D. ASTM E473.....	110
ANEXO E. Hoja de datos técnicos de ABS virgen.....	111
ANEXO F. Hoja de datos técnicos de las aminas .....	112

# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESTRUCTURA QUÍMICA DEL ABS.....	2
FIGURA 2. ESTRUCTURA DEL ABS. ....	2
FIGURA 3. PANEL DE INSTRUMENTOS DE UN AUTOMÓVIL.....	4
FIGURA 4. ESTRUCTURAS LAMINARES. (A) ESTRUCTURA DE DOS LÁMINAS. (B) ESTRUCTURA DE TRES LÁMINAS.....	5
FIGURA 5. GRUPO BILAMINAR (1:1) DE FILOSILICATOS. ....	6
FIGURA 7. GRUPO BILAMINAR (2:1:1) DE FILOSILICATOS.....	6
FIGURA 6. GRUPO BILAMINAR (2:1:1) DE FILOSILICATOS.....	6
FIGURA 8. ESTRUCTURA DE LA MONTMORILLONITA.....	7
FIGURA 9. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS MÉTODOS DE PREPARACIÓN DE COMPUESTOS DE INTERCALACIÓN DE POLÍMEROS.....	11
FIGURA 10. TIPOS DE NANOCOMPUESTOS ARCILLA- POLÍMERO. ....	12
FIGURA 11. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL PROCEDIMIENTO DE “POLIMERIZACIÓN IN SITU”, LLEVADO A CABO PARA LA PREPARACIÓN DE NANOCOMPUESTOS POLIMÉRICOS.....	12
FIGURA 12. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL PROCEDIMIENTO DE “MEZCLADO FUNDIDO”, LLEVADO A CABO PARA LA PREPARACIÓN DE NANOCOMPUESTOS POLIMÉRICOS.....	13
FIGURA 13. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL PROCEDIMIENTO DE “MEZCLADO EN DISOLUCIÓN”, LLEVADO A CABO PARA LA PREPARACIÓN DE NANOCOMPUESTOS POLIMÉRICOS.....	13
FIGURA 14. REACCIÓN DE HIDRÓLISIS EN LOS POLÍMEROS. ....	17
FIGURA 15. ESPECTROS DE RAYOS X DE POLÍMEROS. ....	19
FIGURA 16. RAYOS INCIDENTES Y REFLEJADOS EN DOS PLANOS ADYACENTES DE UN CRISTAL.....	20
FIGURA 17. ESQUEMA DE UN TERMOGRAMA DIFERENCIAL QUE MUESTRA LOS TIPOS DE CAMBIOS ENCONTRADOS EN MATERIALES POLIMÉRICOS. ....	23
FIGURA 18. TERMOGRAMA QUE MUESTRA LAS FASES DE TRANSICIÓN DE UN POLÍMERO.....	24
FIGURA 19. PRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS TRES TIPOS DE TENSIÓN. ....	25
FIGURA 20. CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA. ....	26
FIGURA 21. ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL MICROSCOPIO ÓPTICO DE TRANSMISIÓN. ....	30
FIGURA 22. PREPARACIÓN DE LAS CUCHILLAS. (A) BARRA CORTADA EN CUADROS. (B) CUADROS CORTADOS EN TRIÁNGULOS- CUCHILLAS. (2) PREPARACIÓN DE SOLAPAS. (A) Y (B) SE PEGA UNA CINTA ADHESIVA A LA CUCHILLA FORMANDO LA SOLAPA. .....	31
FIGURA 23. (1) PIRÁMIDE. (A) REBAJAMIENTO CON NAVAJA. (B) PIRÁMIDE FORMADA. (2) MICRÓTOMO QUE COMPRENDE EL BLOQUE Y CUCHILLA. (A) ROTACIÓN DE LA VARA CON EL BLOQUE. (B) ACERCAMIENTO A LA CUCHILLA (MANUAL). (C) ACERCAMIENTO DEL BLOQUE A LA CUCHILLA (AUTOMÁTICO). (3) CORTES FINOS EN HILERA EN EL AGUA. ....	31
FIGURA 24. ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL SEM E IMAGEN OBTENIDA EN 3D. ....	33
FIGURA 25. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UNA EXTRUSORA DE HUSILLO SIMPLE. ....	35
FIGURA 26. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UNA MÁQUINA DE INYECCIÓN. ....	36
FIGURA 27. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.....	40
FIGURA 28. REACCIÓN QUÍMICA DE CUATERNIZACIÓN DE LA SÍNTESIS DE UNA SAL DE AMINA. LA BASICIDAD DE LAS AMINAS PERMITE SU PROTONACIÓN O ALQUILACIÓN, LO QUE DA LUGAR A LAS SALES DE AMONIO. ....	41
FIGURA 29. SÍNTESIS DE LA MMT-X. LOS IONES Na DE LA MONTMORILLONITA REACCIONAN CON EL HCl, PARA FORMAR NaCl. EL INTERCAMBIO IÓNICO SE LLEVA A CABO ENTRE H <sup>+</sup> DEPOSITADOS EN LA SUPERFICIE DE LA ARCILLA, SON REEMPLAZADOS POR LOS CATIONES DEL CLORHIDRATO DE LA AMINA. ....	41
FIGURA 30. ESQUEMA DE LOS PASOS PARA PREPARAR LA ARCILLA MODIFICADA CON LAS DISTINTAS AMINAS (MMT-X).....	42
FIGURA 31. EJEMPLO DE CORTES HECHOS EN UNA MUESTRA OBTENIDA EN LA MÁQUINA EXTRUSORA DE POLÍMEROS.....	46
FIGURA 32. MUESTRAS HIDROLIZADAS A 10, 20 Y 30 CICLOS. ....	48

FIGURA 33. MUESTRAS HIDROLIZADAS A 10 Y 30 CICLOS. ....	48
FIGURA 34. MEDICIONES DE GROSOR Y DE ANCHURA, REALIZADAS EN UNA PROBETA PARA SOMETER A PRUEBAS MECÁNICAS.....	49
FIGURA 35. EJEMPLO DE CORTES REALIZADOS EN PROBETA PARA TEM.....	50
FIGURA 36. MUESTRA DE LA SUPERFICIE RECORTADA PARA OBSERVAR EN SEM (A) ÁREA DE RUPTURA A ESTUDIAR Y (B) ÁREA TRANSVERSAL A ESTUDIAR.....	50
FIGURA 37. MUESTRA DEL ÁREA TRANSVERSAL DE LA PROBETA. EL ATAQUE HIDROLÍTICO OCURRE EN LAS CUATRO CARAS, COMO MUESTRAN LAS FLECHAS.....	51
FIGURA 38. ESTRUCTURAS LAMINARES QUE PRESENTA LA ARCILLA DENTRO DE UNA MATRIZ POLIMÉRICA. ....	53
FIGURA 39. ESPECTRO DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE LA MONTMORILLONITA SÓDICA PURA. ....	54
FIGURA 40. ESPECTRO DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE LA MMT-O. ....	54
FIGURA 41. ESPECTROS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X DEL ABS RECICLADO BLANCO Y EL ABS NATURAL. ....	56
FIGURA 42. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRAS 1,3 Y 5% MMT. EL PICO DE LA MONTMORILLONITA SE MUESTRA EN NEGRO. ..	57
FIGURA 43. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA ABS <sub>NAT</sub> 3% MMT.....	58
FIGURA 44. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA ABS <sub>REC</sub> BLANCO CON 5% DE MMT-O. LA DISTANCIA INTERLAMINAR ES DE $d_{001}=32.3234 \text{ \AA}$ . ....	59
FIGURA 45. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA DE ABS <sub>REC</sub> BLANCO CON 3% DE MMT-D. LA DISTANCIA INTERLAMINAR ES $26.7152 \text{ \AA}$ .....	60
FIGURA 46. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA DE ABS <sub>REC</sub> BLANCO CON 3% DE MMT-T. LA DISTANCIA INTERLAMINAR DE LA MMT-T ES $25.579 \text{ \AA}$ .....	60
FIGURA 47. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA DE ABS <sub>REC</sub> BLANCO CON 5% DE MMT-T. LA DISTANCIA INTERPLANAR ES $25.416 \text{ \AA}$ . ....	61
FIGURA 48. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA DE ABS <sub>REC</sub> BLANCO CON 1% DE MMT-DA. LA DISTANCIA INTERPLANAR DE LA MMT-DA ES $27.997 \text{ \AA}$ . ....	61
FIGURA 49. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA DE ABS <sub>NAT</sub> CON 3% DE MMT-T. LA DISTANCIA INTERPLANAR ES $24.938 \text{ \AA}$ . ....	62
FIGURA 50. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA DE ABS <sub>NAT</sub> CON 5% DE MMT-T. LA DISTANCIA INTERPLANAR ES $22.107 \text{ \AA}$ . ....	63
FIGURA 51. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA DE ABS <sub>NAT</sub> CON 3% DE MMT-DA. LA DISTANCIA INTERPLANAR ES $12.28 \text{ \AA}$ . ....	63
FIGURA 52. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA ABS <sub>NAT</sub> CON 5% DE MMT-DA. LA DISTANCIA INTERPLANAR ES $12.67 \text{ \AA}$ . ....	64
FIGURA 53. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA ABS <sub>REC</sub> BLANCO CON 1% DE MMT. NO SE OBSERVA NINGUNA SEÑAL MENOR A $10^\circ$ .....	64
FIGURA 54. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA ABS <sub>REC</sub> BLANCO CON 1% DE MMT-D. NO SE OBSERVA NINGUNA SEÑAL MENOR A $10^\circ$ .....	65
FIGURA 55. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA ABS <sub>NAT</sub> CON 5% DE MMT. NO SE OBSERVA NINGUNA SEÑAL MENOR A $10^\circ$ .....	65
FIGURA 56. DIFRACTOGRAMA DE LAS MUESTRAS DE MMT-O, MMT-D, MMT-T Y MMT-DA. ....	66
FIGURA 57. TERMOGRAMA DE LA MUESTRA 1% DA, EN LA QUE SE MUESTRA EL VALOR DE LA $T_g$ POR DSC. ....	69
FIGURA 58. TERMOGRAMA DE LA MUESTRA 5% T, EN LA QUE SE MUESTRA EL VALOR DE LA $T_g$ POR DSC. ....	70
FIGURA 59. IMAGEN DE LA MUESTRA 5% MMT-T CON ABS <sub>NAT</sub> OBTENIDA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE TRANSMISIÓN, A UNA MAGNIFICACIÓN DE 200NM. ....	85
FIGURA 60. IMAGEN DE LA MUESTRA 5% MMT-T CON ABS <sub>NAT</sub> OBTENIDA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE TRANSMISIÓN, A UNA MAGNIFICACIÓN DE 50KX. ....	86
FIGURA 61. IMAGEN DE LA MUESTRA 3% MMT-DA CON ABS <sub>REC</sub> OBTENIDA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE TRANSMISIÓN, A UNA MAGNIFICACIÓN DE 30KX. ....	87
FIGURA 62 A. IMÁGENES OBTENIDAS DEL MEB PARA EL ABS <sub>REC</sub> EN LA SUPERFICIE DE RUPTURA. SIN HIDROLISIS (A) 10,000 x. (B) 1,000x. (C) 100x. CON HIDROLISIS (D) 10,000 x. (E) 1,000x. (F) 100x. ....	88
FIGURA 62 A. IMÁGENES OBTENIDAS DEL MEB PARA EL ABS <sub>REC</sub> EN LA SUPERFICIE DE RUPTURA. SIN HIDROLISIS (A) 10,000 x. (B) 1,000x. (C) 100x. CON HIDROLISIS (D) 10,000 x. (E) 1,000x. (F) 100x. ....	89

FIGURA 63. IMÁGENES OBTENIDAS PARA EL ABS <sub>REC</sub> EN LA SUPERFICIE TRANSVERSAL. SIN HIDRÓLISIS (A) 2,500 x. (B) 500 x. CON HIDRÓLISIS (C) 2,500 x. (D) 500 x. ....	90
FIGURA 64. NANOCOMPUESTO CON 5% DE MMT EN LA SUPERFICIE DE RUPTURA. SIN HIDRÓLISIS (A) 10,000 x (B) 1,000 x. (C) 100 x. CON HIDRÓLISIS (D) 10,000 x (E) 1,000 x. (F) 100 x. ....	91
FIGURA 65. IMÁGENES DEL ABS CON 5% DE MMT EN LA SUPERFICIE TRANSVERSAL. SIN HIDRÓLISIS (A) 2,500 x (B) 500 x. CON HIDRÓLISIS (C) 2,500 x (D) 500 x.....	92
FIGURA 66. IMÁGENES DEL ABS CON 5% DE MMT-T EN LA SUPERFICIE DE RUPTURA. SIN HIDRÓLISIS (A) 10,000 x (B) 1,000 x. (C) 100 x. CON HIDRÓLISIS (D) 10,000 x (E) 1,000 x. (F) 100 x. ....	93
FIGURA 67. IMÁGENES DEL ABS CON 5% DE MMT-T EN LA SUPERFICIE TRANSVERSAL. SIN HIDRÓLISIS (A) 2500 x (B) 500 x. CON HIDRÓLISIS (C) 2500 x (D) 500 x. ....	94
FIGURA 68. CALENTADOR SOLAR DE ACERO INOXIDABLE CON RECUBIERTA DE ABS. ....	105

# ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PROPIEDADES FÍSICAS DEL ABS. ....	3
TABLA 2. MUESTRAS PRODUCIDAS EN LA EXTRUSORA CON ABS <sub>REC</sub> BLANCO. ....	45
TABLA 3. MUESTRAS PRODUCIDAS EN LA EXTRUSORA CON ABS <sub>REC</sub> NATURAL. ....	45
TABLA 4. PARÁMETROS DE PROCESO. ....	46
TABLA 5. SOPORTE CONSTRUIDO DE METAL CON ANILLOS CONCÉNTRICOS PARA COLOCAR LAS PROBETAS PARA LOS CICLOS DE HIDRÓLISIS. ....	47
TABLA 6. VALORES EXPERIMENTALES DE D <sub>001</sub> OBTENIDOS DE DISTINTAS ARCILLAS MODIFICADAS CON AMINAS. ....	55
TABLA 7. DISTANCIAS INTERPLANARES DEL ABS <sub>REC</sub> CON MONTMORILLONITA SIN INTERCALANTE. ....	56
TABLA 8. RESULTADOS PARA EL NANOCOMPUESTO DE ABS <sub>NAT</sub> CON 3 Y 5% MMT SIN INTERCALANTE. ....	58
TABLA 9. DISTANCIAS INTERPLANARES DE LOS NANOCOMPUESTOS CON ABS <sub>REC</sub> BLANCO MODIFICADOS CON MMT-X. ....	58
TABLA 10. DISTANCIAS INTERPLANARES DE LOS NANOCOMPUESTOS CON ABS <sub>NAT</sub> CON DISTINTAS AMINAS. ....	62
TABLA 11. TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VÍTREA DE LOS POLÍMEROS DEL GP22, ABS <sub>REC</sub> Y ABS <sub>NAT</sub> POR DSC. .... *EL VALOR DE T <sub>G</sub> DEL ABS ES EL DE LA LITERATURA. ....	67
TABLA 12. VALORES DE T <sub>G</sub> PARA LOS NANOCOMPUESTOS DE ABS <sub>REC</sub> CON ARCILLA MODIFICADA CON AMINAS, POR LA TÉCNICA DE DSC. ....	68
TABLA 13. VALORES DE T <sub>G</sub> PARA LAS MUESTRAS CON ABS <sub>NAT</sub> , POR LA TÉCNICA DSC. ....	69
TABLA 14. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ABS <sub>REC</sub> BLANCO Y ABS <sub>VIRGEN</sub> . ....	71
TABLA 15. PROPIEDADES DE LOS NANOCOMPUESTOS CON ABS <sub>REC</sub> BLANCO A CERO CICLOS DE HIDRÓLISIS. ....	72
TABLA 16. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CICLO HIDROLÍTICO DE LOS NANOCOMPUESTOS MODIFICADOS CON ARCILLA. ....	75
TABLA 17. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ABS <sub>VIR</sub> Y DEL ABS <sub>NAT</sub> SIN INTERCALANTE. ....	79
TABLA 18. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ABS <sub>VIRGEN</sub> , ABS <sub>NAT</sub> Y DE LOS NANOCOMPUESTOS CON ABS <sub>NAT</sub> CON INTERCALANTE. ....	80
TABLA 19. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ABS <sub>VIRGEN</sub> , ABS <sub>NAT</sub> Y DE LOS NANOCOMPUESTOS DE ABS <sub>NAT</sub> CON INTERCALANTE. ....	81

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1. TENSIÓN MÁXI VS CONCENTRACIÓN PARA EL ABS VIRGEN, ABS <sub>REC</sub> Y LOS NANOCOMPUESTOS POLIMÉRICOS CON ABS <sub>REC</sub> CON INTERCALANTE Y ABS <sub>REC</sub> SIN INTERCALANTE.....	73
GRÁFICA 2. DEFORMACIÓN VS CONCENTRACIÓN DE INTERCALANTE DEL ABS <sub>VIRGEN</sub> , ABS <sub>REC</sub> SIN INTERCALANTE Y DE LOS NANOCOMPUESTOS CON INTERCALANTE.....	74
GRÁFICA 3. MÓDULO DE YOUNG CONTRA CONCENTRACIÓN DE INTERCALANTE DEL ABS <sub>VIR</sub> , ABS <sub>REC</sub> SIN INTERCALANTE Y DE LOS NANOCOMPUESTOS CON ABS <sub>REC</sub> CON INTERCALANTE.....	74
GRÁFICA 4. MÓDULO DE YOUNG VS CICLO HIDROLÍTICO DE LOS NANOCOMPUESTOS DE ABS <sub>REC</sub> CON INTERCALANTE.....	76
GRÁFICA 5. TENSIÓN EN LA CARGA MÁXIMA VS CICLO DE HIDRÓLISIS DEL ABS <sub>VIRGEN</sub> , ABS <sub>REC</sub> Y DE LOS NANOCOMPUESTOS CON INTERCALANTE MODIFICADO.....	77
GRÁFICA 6. DEFORMACIÓN A LA RUPTURA.....	79
GRÁFICA 7. GRÁFICA DE LA TENSIÓN CONTRA EL CICLO DE HIDRÓLISIS DEL ABS <sub>NAT</sub> Y LOS NANOCOMPUESTOS CON ABS <sub>NAT</sub> E INTERCALANTE.....	81
GRÁFICA 8. MÓDULO DE YOUNG VS CICLO HIDROLÍTICO DEL ABS <sub>VIRGEN</sub> , ABS <sub>NAT</sub> Y DE LOS NANOCOMPUESTOS CON ABS E INTERCALANTE.....	82
GRÁFICA 9. DEFORMACIÓN A LA RUPTURA VS CICLO DE HIDRÓLISIS DEL ABS <sub>VIRGEN</sub> , ABS <sub>NAT</sub> Y NANOCOMPUESTOS CON ABS <sub>NAT</sub> E INTERCALANTE.....	83

## ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

**3D.** Tercera dimensión.  
**ABS.** Acrilonitrilo butadieno estireno  
**ABS<sub>Nat</sub>.** ABS natural.  
**ABS<sub>rec</sub>.** ABS reciclado.  
**ac.** Acuoso (a).  
**ASTM.** American Society for Testing and Materials. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.  
**CAS.** Chemical abstract service. Servicio Resumido Químico.  
**D.** Dodecilamina  
**d.** distancia interplanar.  
**d<sub>001</sub>.** Distancia interplanar en el plano 001.  
**DA.** Diaminodecano  
**DMTA.** Análisis térmico mecánico dinámico.  
**DSC.** Calorimetría diferencial de barrido.  
**DTA.** Análisis térmico diferencial.  
**Fig.** Figura.  
**FIM.** Microscopio de emisión de iones  
**GP22.** Nombre comercial del ABS virgen  
**HCl.** Ácido clorhídrico.  
**MMT.** Montmorillonita.  
**MMT-D.** Montmorillonita + dodecilamina.  
**MMT-DA.** Montmorillonita + diaminodecano.  
**MMT-O.** Montmorillonita + octadecilamina.  
**MMT-T.** Montmorillonita + tetradecilamina.  
**MMT-X.** Montmorillonita + amina X.  
**NaCl.** Cloruro de sodio.  
**NC.** Nanocompuesto.  
**NCs.** Nanocompuestos.  
**NC-AP.** Nanocompuesto arcilla-polímero.  
**O.** Octadecilamina  
**ODA.** Octadecilamina  
**PEAD.** Polietileno de alta densidad.  
**PEBD.** Polietileno de baja densidad.  
**PELBD.** Polietileno de lineal baja densidad.  
**PET.** Polietileno tereftalato.  
**PC.** Policarbonato.  
**PP.** Polipropileno.  
**S.A. de C.V.** Sociedad Anónima de Capital Variable.  
**SEM.** Microscopio electrónico de barrido.  
**STEM.** Microscopio electrónico de transmisión barrido.  
**STM.** Microscopio de efecto túnel.  
**T.** Tetradecilamina.  
**TEM.** Microscopio electrónico de transmisión.  
**TGA.** Análisis termogravimétrico.  
**T<sub>m</sub>.** Temperatura de fusión.  
**TMA.** Análisis termomecánico.  
**T<sub>g</sub>.** Temperatura de transición vítrea.  
**UNAM.** Universidad Nacional Autónoma de México  
**UV.** Ultravioleta.

## RESUMEN

Se fabricó un nanocompuesto polimérico de ABS reciclado con arcilla modificada orgánicamente. Los porcentajes usados de la arcilla montmorillonita modificada fueron 1%, 3% y 5% en peso. Estos nanocompuestos poliméricos producidos se comparan con el ABS virgen, con el ABS reciclado blanco, con el ABS reciclado de color natural y con el nanocompuesto ABS con montmorillonita sin modificar. Una vez obtenidos los nanocompuestos poliméricos, se caracterizan mediante las técnicas de difracción de rayos X, calorimetría diferencial de barrido, microscopía electrónica de barrido y de transmisión. Las muestras de ABS preparadas se someten a 10, 20 y 30 ciclos de hidrólisis en agua desionizada. Al finalizar los tres ciclos, las muestras se caracterizan para medir los cambios en las propiedades del polímero.

La inclusión de la montmorillonita modificada en el ABS reciclado blanco, provocó un aumento en el módulo de Young, en la resistencia a la tensión y a la deformación, al finalizar el ciclo hidrolítico. El mayor aumento que se alcanzó en el módulo de Young de los nanocompuestos producidos respecto al material reciclado fue de 13.5% para la octadecilamina al 1%, de 11.7% para dodecilamina al 1%, y con montmorillonita al 1% sin intercalante fue de 10.6%. Para el caso de la resistencia a la tensión con respecto al material reciclado, se obtuvo una mejoría del 6.4% con 1% de tetradecilamina. Por último, en los resultados para la deformación en la rotura se obtuvo una mejoría del 5.3% para 3% de tetradecilamina.

Para el caso de los nanocompuestos con ABS reciclado natural, el módulo de Young, al finalizar el ciclo de hidrólisis, aumentó 18.6% con 3% de tetradecilamina y de 20% con 5% de tetradecilamina, con respecto al ABS reciclado natural sin intercalante. Para la tensión no se obtuvieron mejorías, es decir, se mantuvo estable el valor para todos. Por último, en la deformación en la rotura se tiene un aumento de 24.8% con 5% de tetradecilamina, y de 16% con 5% de diaminodecano.



En las micrografías obtenidas con el microscopio de transmisión, se observa que el nanocompuesto presenta una estructura exfoliada, intercalada y con formación cúmulos de arcilla. En el caso de las muestras que sufrieron ataque hidrolítico se observa, según la microscopía de barrido, la formación de concavidades en todo el material de diferentes tamaños que van desde 0.10-0.66 nm, en especial en el material reciclado, por lo que el material es más frágil, cuestión que no se observa tan marcada en los materiales con intercalante.

Las propiedades que resultaron ser mejores que las del ABS reciclado blanco son: la apariencia física, el brillo, el módulo de Young y la resistencia a la tensión después del ciclo de hidrólisis. Y las propiedades que mejoraron en el caso del ABS reciclado natural, fueron el módulo de Young, la deformación a la ruptura, la apariencia física y el brillo del material, de igual manera, al finalizar el ciclo de hidrólisis.

## INTRODUCCIÓN

En el 2002 el consumo de plásticos (PET, HDPE, ABS, PEAD, etc.) fue de 200 millones de toneladas (MTon), mientras que en el año 2012 el consumo creció un 23%, con 246MTon. El continente que encabeza la lista con mayor producción de plásticos es Europa con 25%, le sigue Asia con 16% y Latinoamérica con 4%; mientras que México produce 2%. De todo el ABS que se usa en México se importa el 8% y se exporta el 12%. Estos materiales son derivados del petróleo y, debido a su corta vida funcional, normalmente inferior a un año desde su manufactura, pasan rápidamente a formar parte de los desechos sólidos. Estas razones hacen necesario buscar alternativas que reduzcan la dependencia del petróleo y eviten la acumulación de desechos plásticos. Una alternativa es el reciclaje de estos plásticos, convirtiéndolos en nanocompuestos poliméricos.

Un nanocompuesto polimérico es un material en el que uno de sus componentes tiene un tamaño nanoscópico, de  $10^{-9}$ m, en el presente trabajo es la montmorillonita, y es capaz de mejorar las propiedades del polímero. El ABS es un plástico de ingeniería que pertenece a la familia de los termoplásticos, requisito muy importante para convertirlo en un nanocompuesto. También el ABS es uno de los plásticos con mayor uso debido a que presenta buenas propiedades mecánicas, alta procesabilidad y muy buena apariencia superficial, posee gran estabilidad mecánica incluso a temperaturas muy bajas y baja absorción de humedad.

Los compuestos inorgánicos que se utilizan comúnmente para reforzar al polímero son las arcillas, debido a que presentan estructuras laminares y esto permite que sea más fácil su inclusión dentro de la matriz del polímero. Con el fin de lograr una buena intercalación de la arcilla en la matriz, se usaron cuatro tipos de aminas para aumentar la distancia interlaminar de la arcilla. Se realiza una mezcla del polímero con la arcilla modificada en estado fundido, en una máquina

de extrusión de husillo simple, y, posteriormente, se inyecta para obtener especímenes de acuerdo a la Norma ASTM 638 (ANEXO C). Estos especímenes fueron sometidos a diferentes números de ciclos de hidrólisis y, posteriormente, se determinaron sus propiedades mecánicas, calorimétricas y morfológicas antes y después de la hidrólisis, para evaluar su efecto en el material.

## **ALCANCE DE INVESTIGACIÓN**

En vista del interés que existe en mejorar los materiales poliméricos reciclados, se han tomado en cuenta los factores para sintetizar un nanocompuesto polímero-arcilla. La adición de la arcilla ofrece una amplia posibilidad de efectos en sus propiedades mecánicas, térmicas y en sus resistencias tanto física como química. Con esto en mente, se han planteado los objetivos e hipótesis de la presente tesis.

## **OBJETIVO GENERAL**

“Sintetizar y caracterizar un material nanocompuesto a partir de un polímero de ingeniería reciclado y arcilla modificada con aminas, dispersada en la matriz polimérica, para la fabricación de recipientes de agua para calentadores solares.” (ANEXO A).

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

- El objetivo principal del proyecto es mejorar un nanocompuesto polimérico, en este caso el polímero de ingeniería ABS, para que sea capaz de resistir la hidrólisis a altas temperaturas, así como mejorar su resistencia mecánica.
- Comparar el efecto de cuatro tipos de aminas como modificadores de la MMT, con diferente longitud de la cadena de carbonos, al introducirla en el polímero ABS.
- Efecto de la concentración de las distintas arcillas modificadas con aminas en la matriz polimérica.
- Caracterización del nanocompuesto por difracción de rayos X, microscopía electrónica de transmisión y de barrido.
- Estudio de las propiedades mecánicas y térmicas del nanocompuesto obtenido antes y después del ciclo hidrolítico.

## **HIPÓTESIS**

Al utilizar montmorillonita (MMT) virgen y modificarla estructuralmente con octadecilamina, dodecilamina, tetradecilamina y diaminodecano, se reforzará de manera significativa la resistencia a la hidrólisis del ABS. También será capaz de mejorar sus propiedades mecánicas.

Dada la estructura laminar que posee la MMT, se reducirá el paso de las moléculas de agua a través del ABS.

## **HIPÓTESIS PARTICULARES**

- La inclusión de los intercalantes en arcilla mejorarán las propiedades mecánicas del ABS reciclado.
- Entre mayor sea la longitud de la cadena de carbonos de las aminas, mayor será la distancia interplanar de las arcillas modificadas.
- A mayor concentración de las arcillas modificadas se obtendrán mayores propiedades mecánicas y mayor resistencia a la hidrólisis.
- El estudio del nanocompuesto por difracción de rayos X, microscopía electrónica de transmisión y de barrido permitirá comprobar la obtención de un nanocompuesto polimérico modificado con arcilla.
- El estudio de las propiedades mecánicas y térmicas del nanocompuesto permitirán comprobar el efecto de los ciclos hidrolíticos de los nanocompuestos poliméricos modificados con arcillas.

# **CAPÍTULO I**

# **ANTECEDENTES**

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1. Acrilonitrilo - Butadieno- Estireno (ABS)

El ABS pertenece a una familia muy versátil de termoplásticos que se caracterizan por ser muy duros y resistentes. En la industria se le conoce como termoplástico de ingeniería debido a su compleja elaboración, altas propiedades mecánicas y procesamiento en comparación con otros plásticos comunes. El ABS contiene en su estructura intervalos de 15-30% en peso de acrilonitrilo, 5-30% de butadieno y 45-75% de estireno.

La estructura química de estos monómeros se presenta a continuación. <sup>[1,2]</sup>

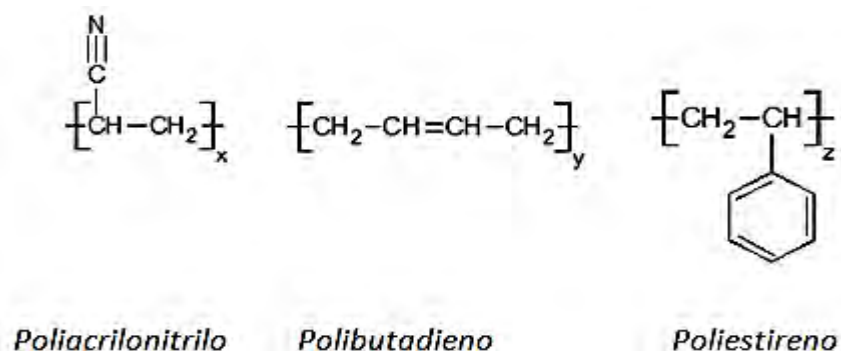


Figura 1. Estructura química del ABS.

#### 1.1.1. Estructura química

El ABS es un sistema de dos fases. La primera es una fase rígida y continua conformada por el estireno y el acrilonitrilo, conocida como “matriz de SAN” (Fig.2). La segunda es una fase flexible elastomérica que está compuesta de partículas dispersas de polibutadieno. Esta última fase tiene una capa de SAN injertada en su superficie. Ambas fases son compatibles en la interfase debido a la matriz de SAN.

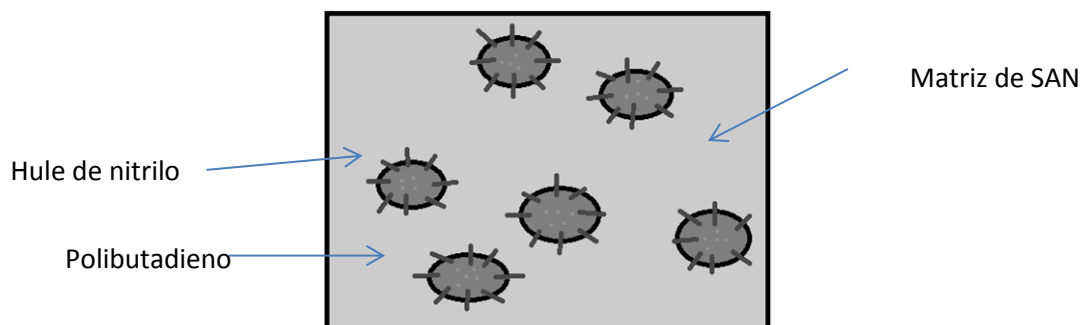


Figura 2. Estructura del ABS.

Cada monómero contribuye a las diferentes propiedades del ABS. El acrilonitrilo contribuye a la resistencia térmica y química, también proporciona dureza y rigidez, en tanto que el estireno contribuye a la facilidad de procesado y a la rigidez. Por último, el butadieno, que es un elastómero, contribuye a la tenacidad a cualquier temperatura y a una mayor resistencia al impacto.

El ABS es resistente a los ácidos (excepto ácidos oxidantes concentrados), alcaloides, sales, aceites, alimentos y productos farmacéuticos. Sin embargo, es atacado por varios tipos de solventes, incluyendo cetonas y ésteres.

### 1.1.2. Propiedades del ABS

Las propiedades físicas y químicas de las resinas de ABS dependen del peso molecular y su distribución, del tamaño y distribución de las partículas de hule, del grado de injerto de hule en el copolímero SAN y del grado de adhesión entre las partículas de hule y la matriz vítrea.

Las propiedades térmicas son importantes tanto para el procesamiento como para el uso final que se le dé a los distintos productos de ABS.

<b>Propiedades físicas del ABS</b>	
<i>Método de polimerización más común</i>	<i>Adición</i>
<i>Grado de cristalinidad</i>	<i>Ninguna (Amorfa)</i>
<i>Alargamiento a la rotura (%)</i>	<i>45</i>
<i>Módulo de elasticidad (MPa)</i>	<i>2100</i>
<i>Resistencia a la Tensión (MPa)</i>	<i>50</i>
<i>Resistencia al impacto Izod (J m<sup>-1</sup>)</i>	<i>200-400</i>
<i>Temperatura de transición vítrea (°C)</i>	<i>105-110</i>
<i>Absorción de agua en 24hrs (%)</i>	<i>0.3-0.7</i>

Tabla 1. Propiedades físicas del ABS.

El ABS puede ser extrudido, moldeado por inyección, soplado y prensado. Generalmente los grados de ABS de bajo impacto son los que más fácil se procesan. Los grados de alto impacto son más complicados por tener una mayor cantidad de caucho, lo cual hace que sea más viscoso. No son altamente



inflamables aunque mantienen la combustión. La mayoría de este tipo de resinas no son tóxicas. <sup>[4,5]</sup>

### 1.1.3. Aplicaciones

Los plásticos de ABS y sus aleaciones son usadas en muchas áreas del mercado como en la industria automotriz, accesorios, transportación, construcción, consumo eléctrico, telecomunicaciones, equipajes, muebles y exportaciones, por mencionar algunos. Todos estos son producidos por ABS de alto y medio impacto.



Figura 3. Panel de instrumentos de un automóvil.

Los sistemas empleados para aprovechar la energía solar pueden ser de diversos tipos. Los más conocidos son los sistemas con paneles fotovoltaicos o térmicos. Los paneles fotovoltaicos convierten directamente la energía solar en energía eléctrica y los colectores solares (o calentadores), en cambio, transforman la energía solar en calor que puede aprovecharse para la producción de agua caliente. En los colectores es donde generalmente se utilizan polímeros como el ABS.

## 1.2. Arcillas

Los minerales arcillosos son filosilicatos, producto de la alteración de minerales preexistentes en la roca. Su tamaño de partícula no sobrepasa los  $2\mu\text{m}$ . Los principales elementos químicos constituyentes de estos minerales son átomos de: silicio, aluminio, hierro, magnesio, hidrógeno y oxígeno. Estos elementos atómicos se combinan y forman estructuras atómicas básicas, que se ordenan en

láminas y, finalmente, al unirse por medio de un enlace forman un mineral de arcilla.

### 1.2.1. Clasificación de filosilicatos

Los filosilicatos están constituidos por una unidad estructural Si-O que es un tetraedro de coordinación. En general, los filosilicatos se clasifican dependiendo de cómo se disponen y enlazan con los iones. Así forman dos tipos fundamentales de poliedros de coordinación: tetraedros y octaedros. El apilamiento de las capas de octaedros y tetraedros se acoplan dando lugar a láminas (Fig. 4), que pueden ser:

- Bilaminar T-O o lamina 1:1
- Trilaminar T-O-T o lamina 2:1
- Cloritas: TO-TO ó lamina 2:1:1

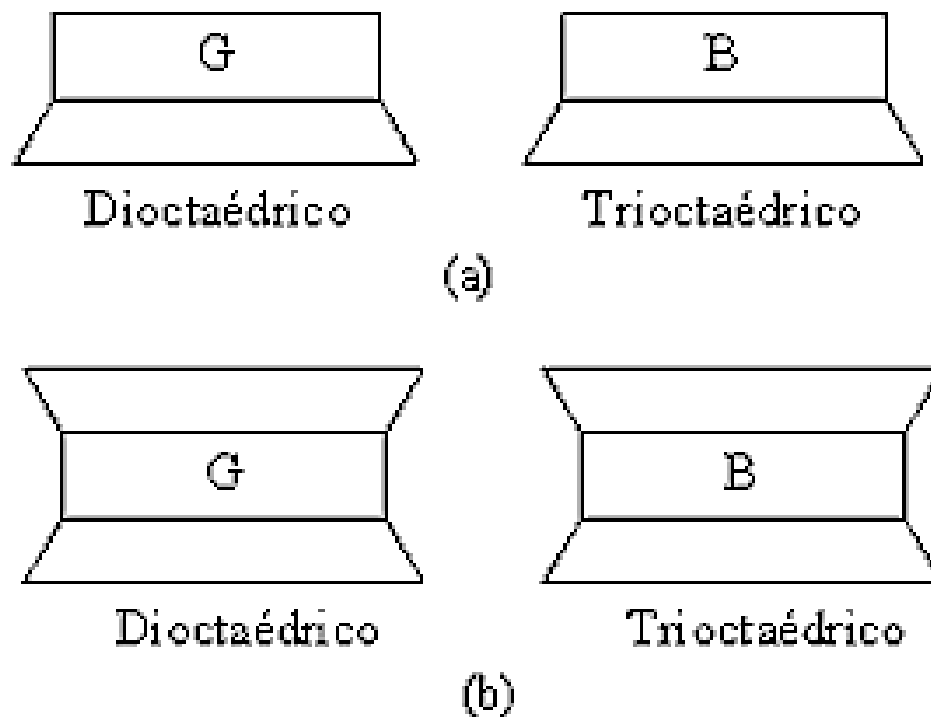


Figura 4. Estructuras laminares. (a) Estructura de dos láminas. (b) Estructura de tres láminas.

Clasificación de los filosilicatos de acuerdo al grupo laminar.

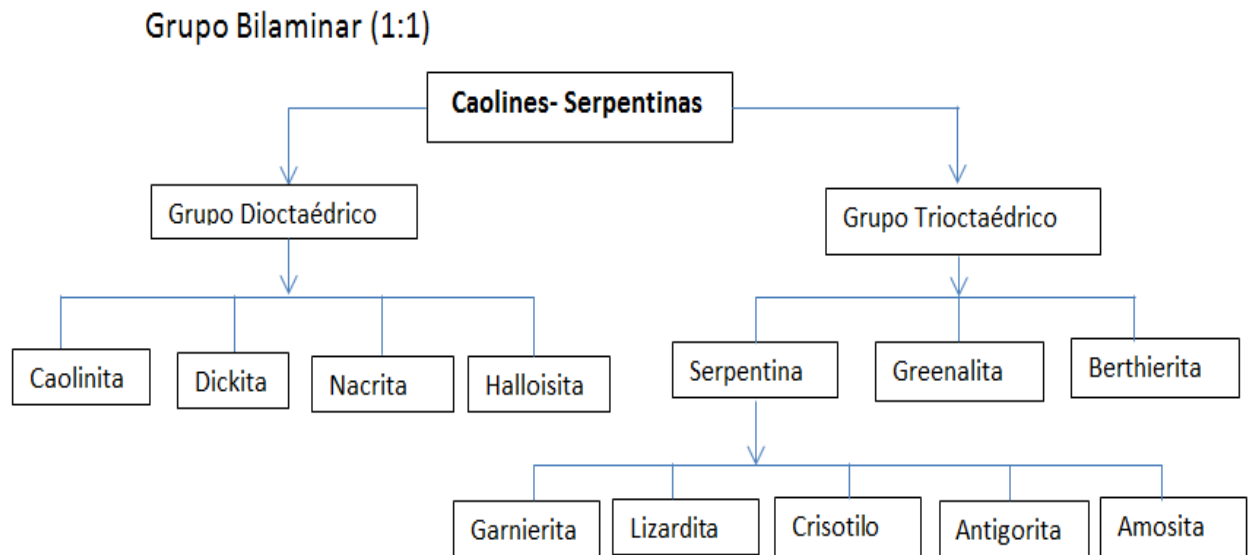


Figura 5. Grupo Bilaminar (1:1) de filosilicatos.

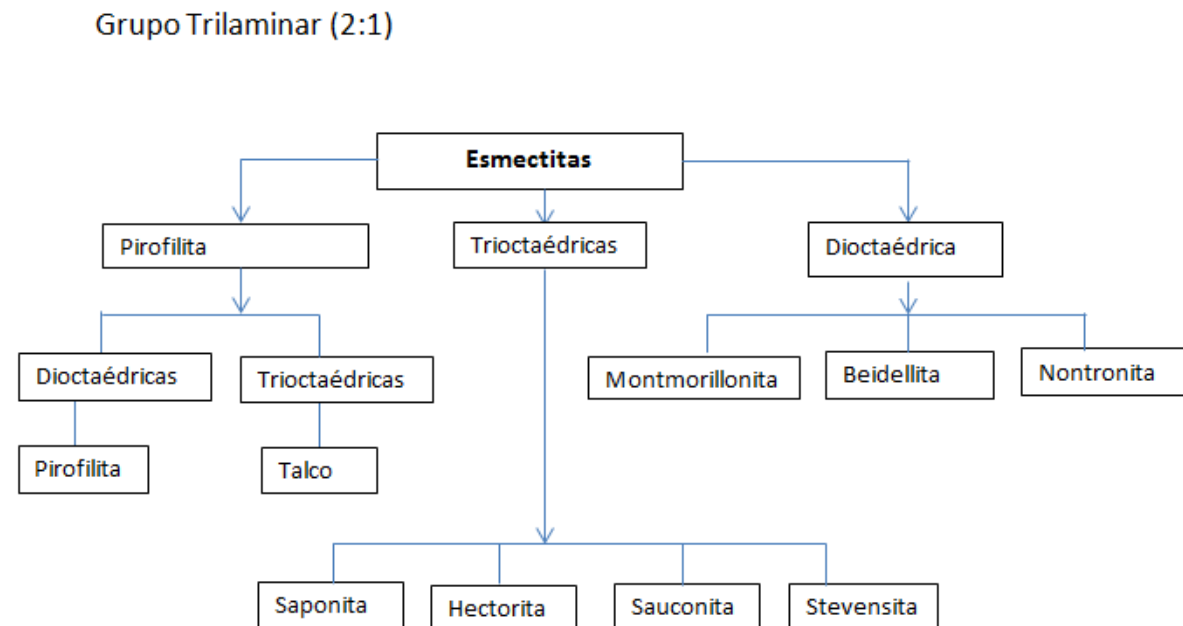


Figura 7. Grupo Bilaminar (2:1:1) de filosilicatos.

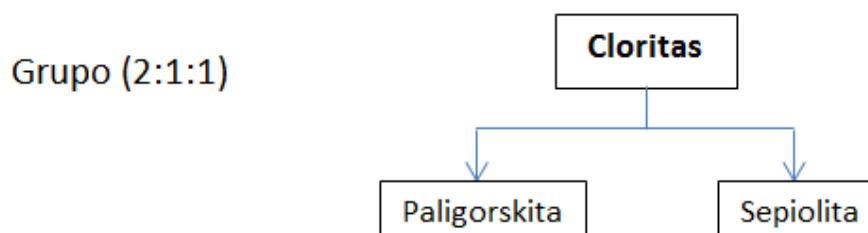


Figura 6. Grupo Bilaminar (2:1:1) de filosilicatos.

## 1.2.2. Montmorillonita

La montmorillonita es un mineral arcilloso del grupo de los silicatos. Su fórmula estructural es  $(OH)_2 Al_2 (Si_2O_5)_2$  ó  $(Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O)$ . Consta de tres capas, la primera está constituida por iones de silicio y oxígeno. Cada ion de silicio se encuentra en el centro de un tetraedro formado por cuatro iones de oxígeno. Otra capa está compuesta por iones aluminio e hidroxilo; los hidroxilos están en los vértices de un octaedro. Una de las capas de hidróxido de aluminio se condensa con dos capas de sílice, como se muestra en la siguiente figura. <sup>[8,9]</sup>

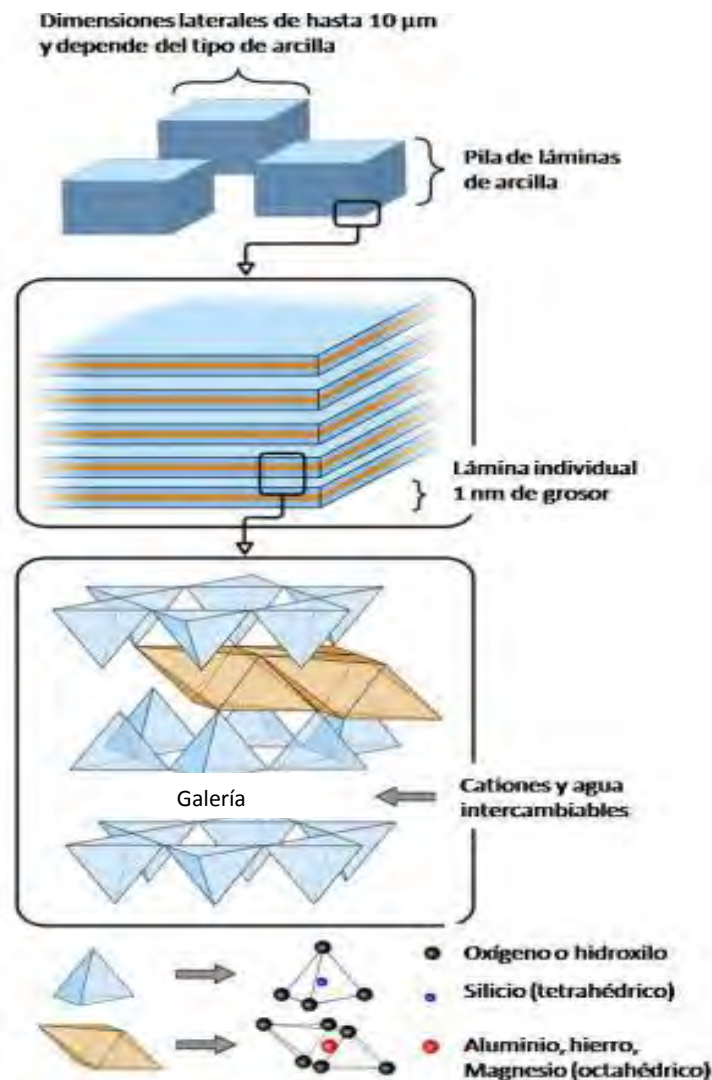


Figura 8. Estructura de la Montmorillonita.

Los cristales de montmorillonita son extremadamente pequeños, con un tamaño que abarca de 0.01 - 2 $\mu$ m. Posee una elevada superficie específica de 80-300m<sup>2</sup>/g.

Debido a ello tienen las propiedades de un coloide, por ejemplo, al ser dispersados en agua u otro líquido, no obedecen las leyes ordinarias de sedimentación, sino que están sujetos al movimiento browniano.

Presentan sustituciones isomórficas que dan lugar a la aparición de carga negativa en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar. Son capaces de cambiar fácilmente los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales o en los espacios interlaminares, por otros existentes en las soluciones acuosas, a este efecto se le conoce como capacidad de intercambio catiónico (CEC). Esto es debido a que presentan, por una parte, un valor elevado del área superficial y a la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados.

La montmorillonita puede absorber agua en el espacio interlaminar gracias a su capacidad de absorción, que está directamente relacionada con la superficie específica y la porosidad. La absorción del agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas, lo que da lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua, la separación entre las láminas aumenta. Las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras. <sup>[12]</sup>

### **1.3. Nanocompuestos**

Un nanocompuesto (NC) está formado por dos materiales. Uno de sus componentes tiene al menos una dimensión que es de tamaño nanoscópica, oscila alrededor de 10<sup>-9</sup> m. A dicho componente se le conoce como refuerzo nanoscópico. Al segundo componente se le llama matriz de unión.

La ciencia y la ingeniería de NCs están progresando a un paso acelerado; su importancia es tal que se les puede encontrar en todos los campos de materiales: plásticos, cerámicos, biomateriales, materiales eléctricos, entre otros. Los materiales que se usan para hacer NCs son de baja tecnología: arcillas, hollín, cenizas.

Mientras que los materiales compuestos tradicionales usan alrededor de 40% en peso de reforzamiento -los refuerzos están en el orden de micrómetros- los NCs muestran una mejora cuando el refuerzo se adiciona en una cantidad menor al 5%. Las teorías tradicionales no prevén que pueda existir un cambio significativo en las propiedades, cuando se agrega tan poco material. Sin embargo, la magnitud de los efectos que estas pequeñas partículas imparten a las propiedades macroscópicas de un compuesto, son suficientemente grandes para que la ciencia siga investigando en esa dirección. Las propiedades del material realmente no cambian por usar un tamaño de partícula cada vez más pequeño, sino que el comportamiento de un material está en función tanto del volumen del material como de las interacciones superficiales. <sup>[18]</sup>

### **1.3.1. Nanocompuestos poliméricos** <sup>[19-20]</sup>

Los NCs poliméricos son materiales en las que sus partículas inorgánicas son dispersadas en una matriz polimérica orgánica con el fin de mejorar drásticamente las propiedades del polímero.

Para la producción de NCs poliméricos se usan polímeros termoplásticos, termoestables o elastómeros reforzados con pequeñas cantidades de partículas de tamaño nanométrico. Hay tres principales materiales constituyentes de los nanocompuestos poliméricos: la matriz, el refuerzo y la región interfacial. La región interfacial es la responsable de la comunicación entre la matriz y la carga. La matriz tiene diferentes propiedades que se le atribuyen debido a su proximidad con la superficie de la carga.

Hay dos maneras de preparar sistemas poliméricos inorgánicos. La Figura 9 muestra una vista esquemática de reacciones de intercalación de polímeros dentro de los espacios interlaminares. Algunos polímeros son directamente intercalados y otros son intercalados por el proceso de polimerización *in situ* de monómeros que han sido preintercalados entre las capas de los materiales huéspedes.

Los compuestos que se forman por la intercalación de materiales inorgánicos laminares con polímeros tienen las siguientes características únicas:

- a) Varios tipos de compuestos son sintetizados por la combinación de una amplia variedad tanto de los polímeros como de los materiales laminares.
- b) Los polímeros pueden ser acomodados en la región interlaminar debido a que las características estructurales de los materiales laminares se conservan.
- c) Los espacios interlaminares se adaptan al tamaño de los polímeros.
- d) Las estabildades estructurales, químicas y térmicas, debido a la rigidez de estructuras inorgánicas, funcionan como una barrera para varios polímeros huéspedes.

Entre el gran número de materiales inorgánicos laminares, los silicatos exhiben la mejor capacidad de intercalarse. En particular, las arcillas del grupo de las esmectitas, tal como la montmorillonita, saponita y hectorita, han sido usadas debido a su excelente habilidad de intercalación.

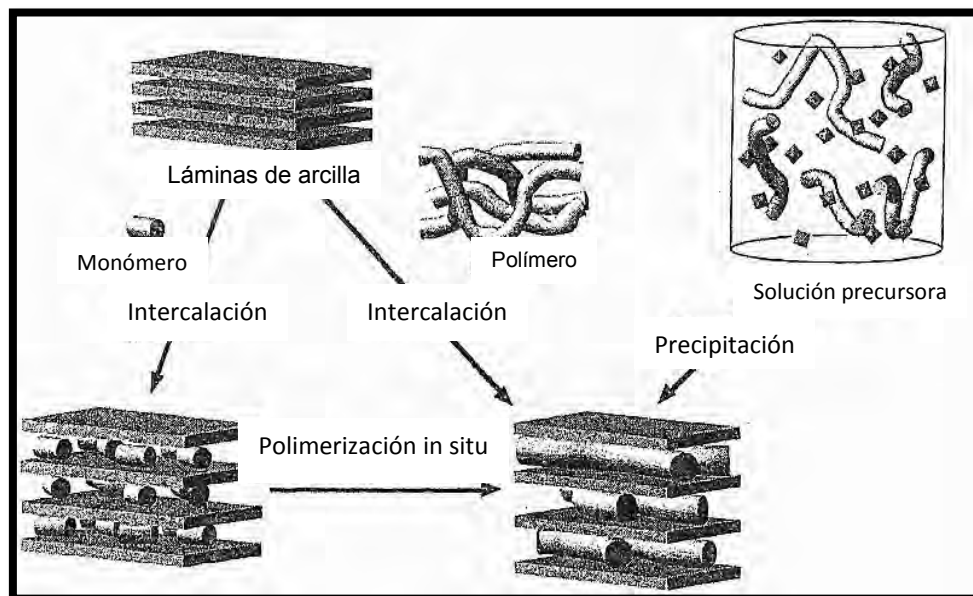


Figura 9. Representación esquemática de los métodos de preparación de compuestos de intercalación de polímeros.

La combinación de arcillas con polímeros que interactúan a un nivel atómico, constituye la base para preparar una importante clase de materiales inorgánicos-orgánicos nanoestructurados.

### 1.3.2. Tipos de Nanocompuestos arcilla-polímero

Desde un punto de vista estructural, los compuestos arcilla-polímero pueden ser clasificados como “compuestos convencionales” y “nanocompuestos”. En un compuesto convencional, las nanocapas de la arcilla se conservan cuando se mezclan con el polímero, pero no hay ninguna intercalación del polímero dentro de la estructura (Figura 10a). Respecto a los NCs arcilla-polímero, son posibles dos tipos: el nanocompuesto intercalado (Figura 10c.), que se forma cuando una o pocas capas moleculares del polímero son insertadas dentro de las galerías de la arcilla con separaciones entre las láminas. Un NC exfoliado (Figura 10b), se forma cuando las láminas del silicato están individualmente dispersadas en la matriz del polímero, la distancia promedio entre las láminas segregadas son dependientes de la cantidad de arcilla cargada. La separación entre las nanocapas exfoliadas pueden ser uniformes (ordenados) o variables (desordenadas).<sup>[18,19]</sup>



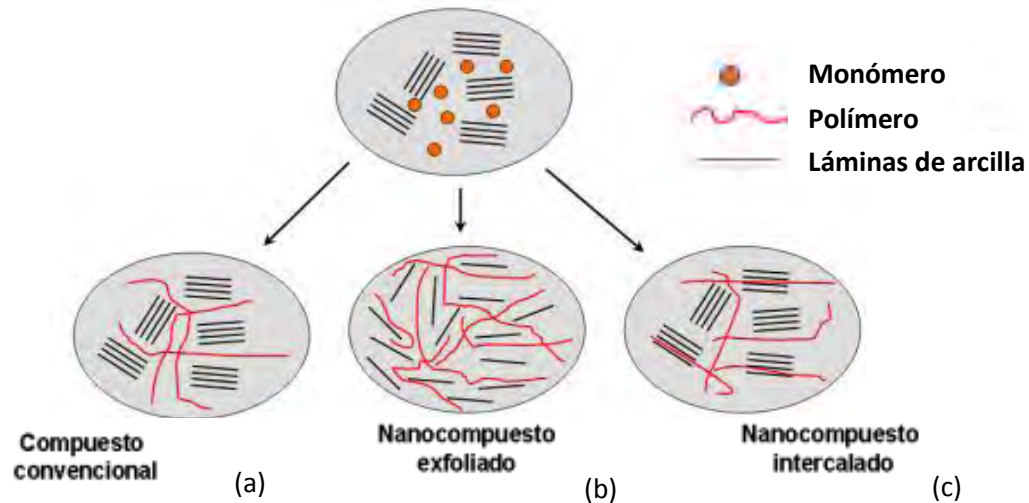


Figura 10. Tipos de nanocompuestos arcilla- polímero.

Un NC exfoliado muestra una mayor homogeneidad que los NCs intercalados. Y, más importante, cada nanocapa en un NC exfoliado contribuye completamente en las interacciones interfaciales con la matriz. Este incremento en las interacciones es la principal razón del porqué la arcilla exfoliada es eficaz en la mejora de las propiedades de los materiales compuestos polímero-arcilla.

### 1.3.3. Métodos de síntesis de nanocompuestos arcilla-polímero <sup>[16,20]</sup>

Existen cinco métodos de síntesis de nanocompuestos arcilla- polímero:

1. Método de intercalación del monómero o polimerización in situ: la polimerización del monómero ocurre entre las capas de arcilla. El resultado es la expansión de la distancia entre las láminas en que éstas son dispersadas al finalizar la polimerización. Figura 11.

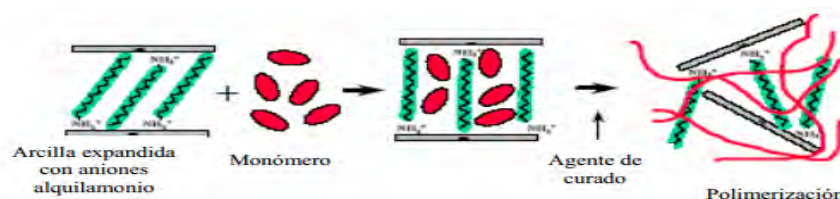


Figura 11. Representación esquemática del procedimiento de "polimerización in situ", llevado a cabo para la preparación de nanocompuestos poliméricos.

2. Método de solución en gel: consiste en producir un nanocompuesto cristalino arcilla-polímero mediante un tratamiento hidrotérmico de un gel que contiene el polímero.
3. Método de intercalación directa del polímero fundido: este procedimiento consiste en mezclar físicamente, a alta temperatura, en una extrusora de doble husillo, el polímero y el compuesto laminar previamente expandido, produciéndose una mezcla en estado fundido. Figura 12.



Figura 12. Representación esquemática del procedimiento de “mezclado fundido”, llevado a cabo para la preparación de nanocompuestos poliméricos.

4. Método de disolvente común: es un proceso en dos etapas en el cual el material laminar expandido es dispersado en una disolución del polímero con el que se desee mezclar, para favorecer la entrada de las macromoléculas en el espacio interlaminar. Posteriormente se procede a la evaporación del disolvente, con lo que se provoca la precipitación del nanocompuesto polimérico. Figura 13.

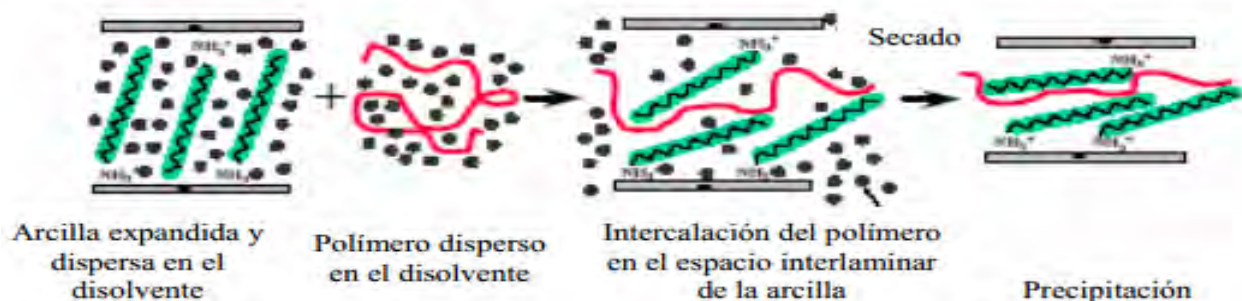


Figura 13. Representación esquemática del procedimiento de “mezclado en disolución”, llevado a cabo para la preparación de nanocompuestos poliméricos.

5. Método de Vulcanización: es un proceso en el cual los cauchos vulcanizados son reforzados con negro de humo para mejorar las propiedades mecánicas.

### **1.3.4. Propiedades de los Nanocompuestos**

Los métodos de producción, sus excelentes propiedades y la diversidad de aplicaciones de los compuestos arcilla-polímero han tenido gran impacto en la industria y, es por eso que su estudio es cada vez más importante.

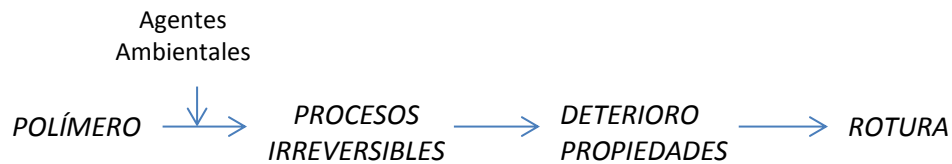
El efecto benéfico de la inclusión de la arcilla a la matriz polimérica se atribuye al efecto que tiene sobre la estructura no polar de los polímeros. Se ha demostrado que los NCs exfoliados muestran un aumento significativo en las propiedades mecánicas a la tensión y a la compresión, una mayor estabilidad térmica, además, mayor retardancia a la flama y una excelente conductividad iónica.

## **1.4. Degradación de Polímeros** <sup>[21-25]</sup>

Los materiales poliméricos también experimentan deterioro mediante interacciones con el ambiente. Sin embargo, para referirse a estas interacciones no deseadas, se utiliza el término degradación en vez de corrosión, ya que los procesos son distintos. La degradación polimérica se debe a factores físicos y químicos, mientras que las reacciones de la corrosión metálica suelen ser electroquímicas. En la degradación de los polímeros tienen lugar gran variedad de reacciones y otros efectos adversos que ocasionan la ruptura de enlaces covalentes (por energía térmica, por reacciones químicas y también por radiación), generalmente va acompañada de una disminución de las características mecánicas del material.

En general, al hablar de degradación de polímeros se hace referencia a procesos irreversibles, que producen cambios en el polímero relacionados con la pérdida de su estructura química, de tal forma que las propiedades físicas del material se deterioran. Si la extensión de la degradación evoluciona a lo largo del

tiempo, puede producirse la rotura del material de acuerdo con la secuencia siguiente:



Los agentes ambientales actuarán de modo distinto según:

- La estructura química, es decir, el tipo de enlace de valencia. A mayor energía de disociación más difícil es la degradación
- Impurezas
- La estructura física del material

Los agentes ambientales pueden ser:

**Agentes químicos:** El más importante es el oxígeno, todos los materiales reaccionan con él a altas temperaturas. Este proceso se conoce como termoxidación o autoxidación. El agua provoca el proceso llamado degradación hidrolítica, especialmente importante en polímeros que sufren con facilidad la hidrólisis en los grupos laterales. La hidrólisis suele estar catalizada por ácidos y bases. En la susceptibilidad de un material frente a la hidrólisis influye la contaminación ambiental. Entre los contaminantes, los más importantes son los óxidos de azufre y nitrógeno.

**Agentes o factores energéticos:** La acción de la temperatura provoca la degradación térmica. La radiación UV da lugar a la llamada fotodegradación. La radiación de alta energía comprende la acción de los rayos X y se conoce como degradación ionizante. Y, por último, la energía mecánica. A la energía que absorbe un material al someterlo a la acción de una tensión y los cambios que como consecuencia de ella se producen, se le conoce como degradación mecánica.

La degradación hidrolítica será el tema a desarrollar para efectos de la investigación del presente trabajo.

### 1.4.1. Degradación Hidrolítica [25-27]

La palabra “hidrólisis” se deriva de las palabras griegas *hydro* que significa “agua” y *lysis* que significa “descomposición por”, es decir, “descomposición por agua”. Las disoluciones acuosas de sales pueden ser neutras, ácidas o básicas, debido a que alguno de los iones procedentes de la sal reaccionan con el agua y generan  $H^+_{(ac)}$  u  $OH^-_{(ac)}$ , se determina el pH por el ácido o la base conjugada que quede libre. A este proceso se le denomina hidrólisis, reacción que consiste en la transferencia de un protón entre el ión de la sal y el agua.

Cabe mencionar que la hidrólisis no siempre tiene que ver con la disolución de una sal, también ocurre en materiales que se disuelven en el agua. Para lograr que se lleve a cabo la hidrólisis en un material, es necesario usar agua que esté completamente libre de iones interferentes, como el agua desionizada. Esto significa que se le han quitado todo los iones excepto el  $H^+$  y  $OH^-$ . Los materiales al entrar en contacto con el agua, están total o parcialmente ionizados, por lo que reaccionan ya sea como ácidos o bases, lo que depende del comportamiento de sus aniones o cationes. Este proceso ocasiona la degradación de un polímero.

### 1.4.2. Proceso de Degradación Hidrolítica en materiales poliméricos

Los polímeros se degradan por hidrólisis hasta llegar, en ocasiones, a sus monómeros. Al entrar en contacto un polímero con el agua, ésta penetra en la matriz polimérica y provoca hinchamiento e hidratación de las moléculas (Figura 14). Los enlaces inestables entre monómeros se rompen mediante la adición de moléculas de agua, donde un hidrógeno del agua se une a un monómero y el grupo hidroxilo se une al monómero adyacente. [28]

La hidrólisis agrega una molécula de agua y rompe un enlace.

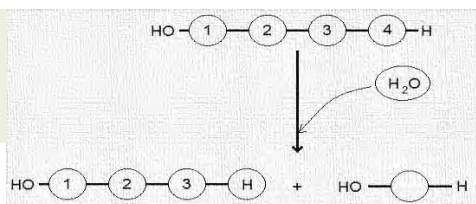


Figura 14. Reacción de hidrólisis en los polímeros.

La ruptura por hidrólisis de los grupos funcionales puede ocurrir tanto en los grupos de la cadena principal como en los sustituyentes laterales, como consecuencia se asocia una disminución del peso molecular.

Causas que intervienen en la degradación hidrolítica:

- **Grupos funcionales.** Existe una relación directa entre la sensibilidad del grupo a la hidrólisis y la degradabilidad del polímero.
- **Solubilidad y permeabilidad al agua.** Depende del carácter hidrofílico o hidrofóbico de los grupos funcionales. Se le llama degradación en masa cuando la rapidez de absorción de agua es superior a la rapidez de hidrólisis. Al proceso inverso se le llama degradación superficial.
- **Factores físico-químicos.** Son responsables el pH, el intercambio iónico y la fuerza iónica. El proceso de degradación puede ser modificado por un cambio de pH en el medio.
- **Morfología.** La morfología del polímero es de gran importancia, ya que la fase amorfa es mucho más accesible al agua que la cristalina y sufre mayor degradación.
- **Propiedades térmicas.** Que un polímero sea flexible o rígido es consecuencia de la movilidad de sus moléculas, que dependen a su vez de la temperatura del procesamiento y de la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) del polímero. La  $T_g$  se ve afectada por la penetración del agua, así la velocidad de hidrólisis aumenta de forma significativa cuando el polímero se encuentra por encima de su  $T_g$ .

- **Estructura química y peso molecular.** Naturaleza de los enlaces inestables.
- **Aditivos:** ácidos, básicos.

Estos factores permiten saber el tipo de modificaciones químicas que deben efectuarse en un polímero para facilitar su biodegradación.

## **1.5. Caracterización de Polímeros** [29-32]

La caracterización de polímeros abarca desde su estructura microscópica, hasta sus propiedades útiles como materiales. La composición y estructura química, el tamaño y la forma, la morfología en estado sólido, el comportamiento frente a la temperatura, frente a esfuerzos, las reacciones que puede sufrir, etc., son todos aspectos de la caracterización de polímeros.

### **1.5.1. Análisis Estructural**

Las propiedades que posee un polímero dependerán en gran medida de su estructura, por tanto es de vital importancia conocer éstas con ayuda de técnicas de caracterización estructurales, como el método por difracción de rayos X, del cual se hablará a continuación.

#### **1.5.1.1. Difracción de rayos X**

Históricamente, el entendimiento que se tiene de los arreglos atómicos y moleculares en los sólidos, ha sido resultado de investigaciones mediante rayos X. La difracción de rayos X es la técnica más comúnmente usada entre las microscopías para estudios estructurales. El tipo de información que se puede obtener incluye la identificación y cuantificación de la fases, cristalinidad, tamaño del cristal, constantes de red, orientación molecular, empaquetamiento y ordenamiento molecular, conformación de estructuras amorfas, espesor laminar y región interlaminar. Los rayos X son radiación electromagnética de la misma naturaleza que la luz, pero con una longitud de onda mucho más corta. Los rayos X usados en difracción tienen longitudes de onda de 0.5-2.5 Å, mientras que la longitud de onda de la luz visible está en el orden de 6000 Å. Por lo que se ubica

entre los rayos gamma y ultravioleta del espectro electromagnético. Su fundamento teórico se basa en la interacción de la estructura cristalina de un sólido con una fuente de rayos X, esta estructura cristalina está presente en muchos sólidos tanto naturales como artificiales. Toda fase cristalina presenta una huella dactilar, que es su diagrama de difracción.

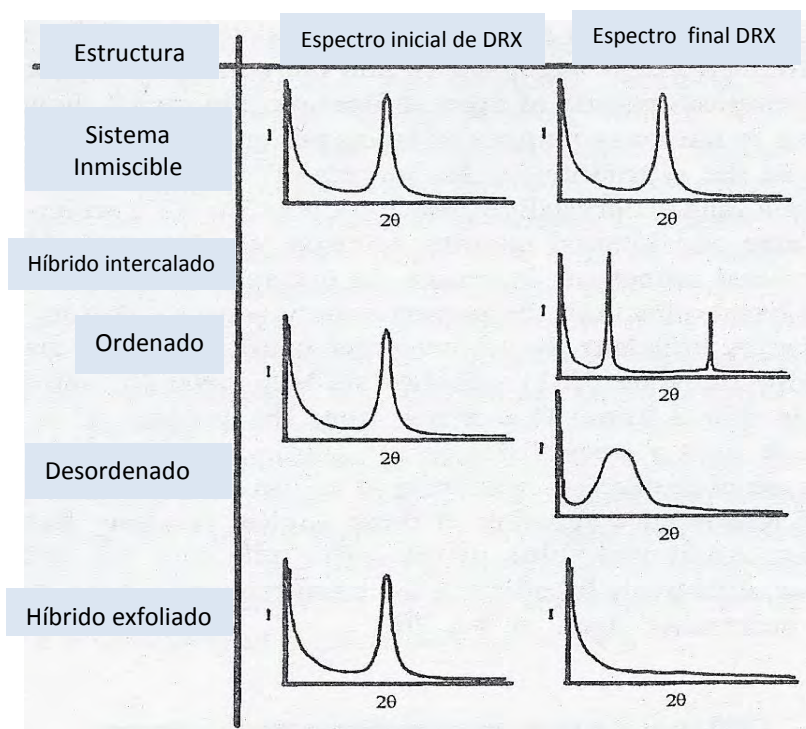


Figura 15. Espectros de rayos X de polímeros.

Existen dos técnicas diferentes para el estudio de cristales por difracción de rayos X: la Ley de Bragg y el método de Laue. Para fines del presente trabajo de investigación se describirá a continuación la Ley de Bragg, que es la que usa el equipo de difracción de rayos X empleado en esta investigación. <sup>[33-34]</sup>



### 1.5.1.2. Ley de Bragg

Fue derivada por los físicos británicos William Henry Bragg y su hijo Lawrence Bragg en 1913. La ley de Bragg permite estudiar las direcciones en las que la difracción de rayos X sobre la superficie de un cristal produce interferencias constructivas, dado que permite predecir los ángulos en los que los rayos X son difractados por un material con estructura atómica periódica (materiales cristalinos). Figura 16.

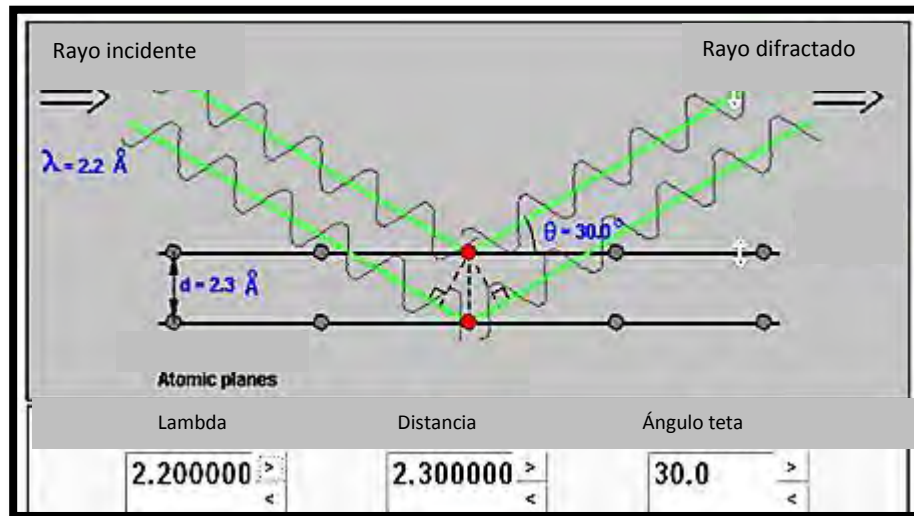


Figura 16. Rayos incidentes y reflejados en dos planos adyacentes de un cristal.

La ley de Bragg confirma la existencia de partículas reales en la escala atómica. Esto la hace una técnica muy poderosa de exploración de la materia.

Sobre la estructura cristalina, se pueden trazar planos paralelos infinitos. Si cogemos uno de estos planos, a una cierta distancia existirá otro plano donde la distribución de puntos que corta será la misma, a la distancia entre estos dos planos se le llama distancia interplanar " $d$ ", tendremos planos infinitos paralelos a distancias múltiplos de " $d$ ". Si por estos planos de la estructura se hace incidir un haz de rayos X, se da el siguiente fenómeno:

*“Si el frente de ondas que se difracta por el primer plano lo hace con ángulo theta ( $\theta$ ), el frente de ondas del segundo plano también se va a difractar con un ángulo theta. Con esta nueva trayectoria que se describe, si los frentes no están en fase, ocurre una interferencia destructiva y se anula uno al otro, pero si los dos salen en fase, hay una interferencia constructiva y el haz difractado no se anula e incrementa su intensidad, y es detectable. Esto ocurre cuando la diferencia de recorrido entre los dos frentes es un múltiplo de la longitud de onda lambda ( $\lambda$ ) y matemáticamente se obtiene una ecuación:”*

Dónde:

n= orden de difracción  
 $\lambda$ = longitud de onda  
d= distancia interplanar  
 $\theta$ = ángulo de Bragg

$$n \lambda = 2 d \text{ sen } \theta$$

**Ley de Bragg**

Esta relación se conoce como la Ley de Bragg y establece la condición esencial que debe cumplirse para que ocurra la difracción. Como cada familia de planos tiene una distancia d, se detectan estos planos a diferentes ángulos. Los resultados serán diferentes según la estructura de lo que se esté midiendo, por lo que se puede caracterizar las fases que componen la muestra con base en los diferentes “picos” de detección, que son en realidad las difracciones de los planos de cada fase.

## **1.5.2. Análisis Térmico**

El análisis térmico abarca al grupo de técnicas en las que se mide una propiedad física de un sistema (sustancia o material) en función de la temperatura, mientras se le somete a un incremento de temperatura controlado. Estas técnicas pueden ser usadas para examinar el estado del material e investigar su proceso de degradación e identificar las temperaturas en que ocurren los cambios significativos.

Los efectos del calor sobre los materiales pueden ser varios y producen cambios en muchas de sus propiedades. Algunos métodos, como el análisis

térmico diferencial (DTA) y la calorimetría diferencial de barrido (DSC), están específicamente diseñados para medir las propiedades térmicas del material (cambios de entropía o entalpía), mientras que otros monitorean las propiedades que cambian con la temperatura, como el análisis térmico mecánico dinámico (DMTA). Otros análisis son el análisis termomecánico (TMA) y el análisis termogravimétrico (TGA), esto implica pérdida de peso del material, ya sea porque se degrada o por sus componentes volátiles.

Para este estudio se utiliza la técnica de calorimetría diferencial de barrido (DSC) para conocer la  $T_g$  del polímero.

### **1.5.2.1. Técnica Calorimetría diferencial de barrido**

La norma ASTM E473 (ANEXO D) define la calorimetría diferencial de barrido (DSC) como la técnica en la que la diferencia de velocidad de flujo de calor en una sustancia y una referencia se mide como una función de la temperatura. La DSC permite el estudio de aquellos procesos en los que se produce una variación entálpica, como puede ser la determinación de calores específicos, puntos de ebullición y cristalización, entalpías de reacción y pureza de compuestos cristalinos. También es útil para medir la temperatura de transición vítrea  $T_g$ .

Una forma de funcionamiento de los equipos de calorimetría es medir la temperatura. Lo que hace esta técnica es utilizar la diferencia de temperaturas que existe entre la muestra y la referencia, esto con el fin de calcular el flujo de calor. Un efecto exotérmico indica el calor que fluye hacia afuera de la muestra, mientras que uno endotérmico indica el calor que fluye del exterior hacia la muestra.

En la otra técnica de medición, hay también dos celdas: una con la muestra y la otra con la referencia. Cuando la muestra absorbe parte del calor que se le está suministrando a la celda, el sistema de control del equipo suministra una potencia calorífica adicional para que ambas celdas tengan la misma temperatura. Esta potencia en exceso es proporcional a la diferencia de capacidades caloríficas

entre la muestra y la referencia. De esta forma se obtiene la capacidad calorífica de la muestra en función de la temperatura.

Éste tipo de información se presenta en un termograma (Figura 17), que generalmente está caracterizado por un pico de absorción de calor que puede ser positivo o negativo. La conductividad térmica, la cantidad de sustancia, la atmosfera de trabajo y la rapidez de calentamiento, son factores importantes en la realización del experimento y tienen gran efecto en las gráficas obtenidas.<sup>[36]</sup>

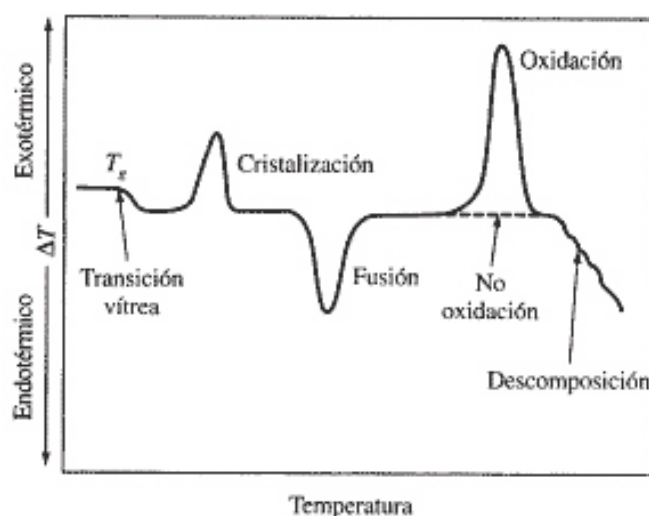


Figura 17. Esquema de un termograma diferencial que muestra los tipos de cambios encontrados en materiales poliméricos.

En general, hay tres tipos de información que se pueden obtener a partir de la DSC:

1. La capacidad calorífica aparente del compuesto de interés.
2. Los parámetros termodinámicos globales como cambios de entalpía, entropía, energía de Gibbs y la capacidad calorífica.
3. Determinación de temperaturas características de transición como: transición vítrea, cristalización, fusión, ebullición, sublimación, descomposición, etc.

La DSC puede trabajar en un intervalo de temperaturas que va desde la temperatura del nitrógeno líquido hasta unos 600°C. Precisamente, la familia de materiales que presenta todas sus transiciones térmicas en ese intervalo, es la de los polímeros.

### 1.5.2.2. Transiciones en polímeros

Para ver como se manifiestan estos procesos en los termogramas que se obtienen por DSC es necesario prestar atención a la Figura 18. Se muestra la forma general de un termograma para un polímero semicristalino típico, que ha sido enfriado rápidamente hasta una temperatura inferior a su  $T_g$ .

Las transiciones que presentará el polímero son las siguientes:

- i. Transición vítrea (transición isofásica)
- ii. Cristalización
- iii. Fusión (transición bifásica)
- iv. Degradación

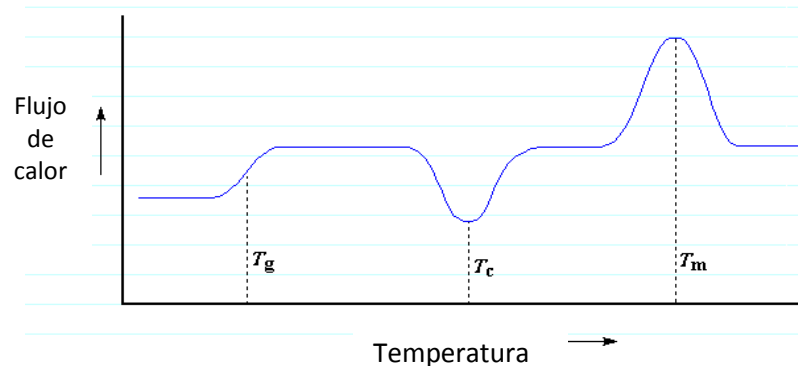


Figura 18. Termograma que muestra las fases de transición de un polímero.

### 1.5.2.3. Temperatura de transición vítrea <sup>[39,40]</sup>

La  $T_g$  es una transición que se manifiesta en los polímeros en las zonas amorfas y en las zonas amorfas de los polímeros semicristalinos, es decir, polímeros cuyas cadenas no están dispuestas según un ordenamiento cristalino, sino que están esparcidas en cualquier ordenamiento, aún es estado sólido.

Cuando se calienta un polímero amorfo, la temperatura se eleva a una rapidez determinada por el calor específico del polímero. Pero cuando se alcanza

la  $T_g$ , el polímero experimenta un incremento en su calor específico. Puesto que la transición vítrea involucra un cambio de calor específico pero no un calor latente, esta transición se denomina transición de segundo orden. Así, el punto de fusión se denomina temperatura de transición de primer orden y la  $T_g$  de segundo orden.

#### 1.5.2.4. Temperatura de fusión

La temperatura fusión ( $T_m$ ) es una transición que se manifiesta en los polímeros cristalinos. Ocurre cuando las cadenas poliméricas abandonan sus estructuras cristalinas y se transforman en un líquido desordenado.

### 1.6. Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas de un material describen el modo en que éste responde a la aplicación de una fuerza o carga. Solamente se pueden ejercer tres tipos de fuerzas mecánicas que afectan a los materiales: compresión, tensión y cizalla. Figura 19.

Las pruebas mecánicas consideran estas fuerzas por separado o combinadas. Las pruebas de tracción, compresión y cizalla, sirven solo para medir una fuerza, mientras que las de flexión, impacto y dureza implican dos o más fuerzas.

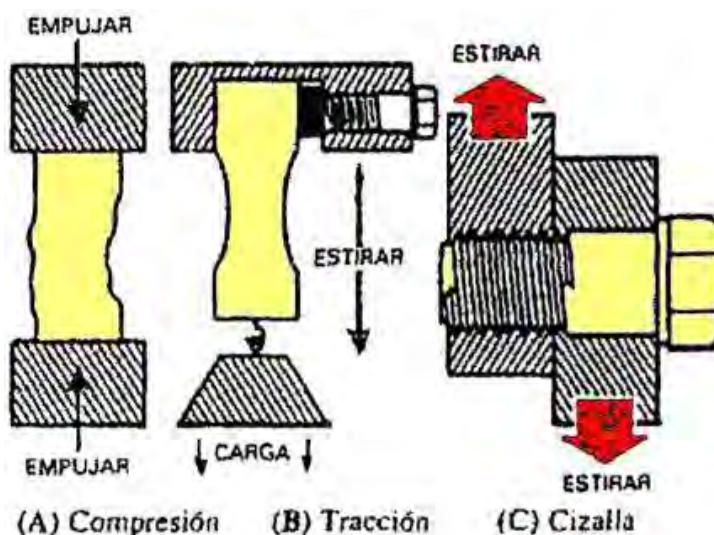


Figura 19. Presentación gráfica de los tres tipos de tensión.

## 1.6.1. Resistencia a la tracción y elongación a la rotura

La resistencia a la tracción es el máximo esfuerzo que un material puede resistir antes de su rotura por estiramiento desde ambos extremos con temperatura, humedad y velocidad específicas. El ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente, hasta que se produce la ruptura de la probeta. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente.

Elongación o extensión es el esfuerzo de tracción al que un material puede estar sujeto antes de su rotura. Para la resistencia a la tracción, el esfuerzo es la relación de la carga sobre el área de sección transversal inicial y se expresa en pascales (Pa). La extensión o aumento de longitud es unitaria y expresa el largo alcanzado entre el largo inicial

### 1.6.1.1. Curva esfuerzo- deformación

En el ensayo a la tracción se mide la deformación (alargamiento) de la probeta entre dos puntos fijos de la misma, a medida que se incrementa la carga aplicada, y se representa gráficamente en función de la esfuerzo (carga aplicada dividida por la sección de la probeta). En general, la curva tensión-deformación presenta cuatro zonas diferenciadas, que se explican a continuación. Figura 20.

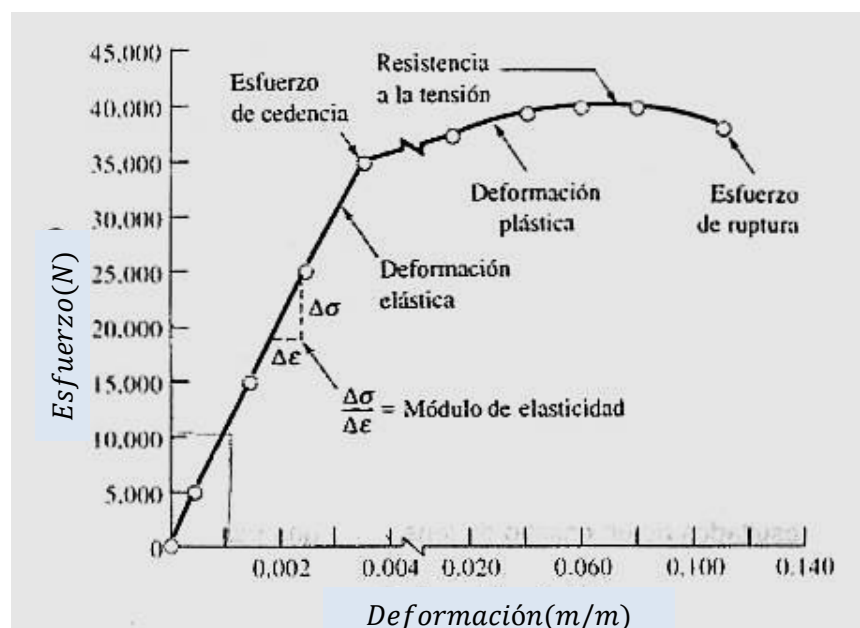


Figura 20. Curva esfuerzo-deformación unitaria.

*Ecuación del esfuerzo axial:*

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \left( \frac{N}{m^2} \right) = \text{Pa}$$

$\sigma$  = esfuerzo axial  
 $F$  = fuerza de tensión transversal  
 $A$  = área de la sección transversal

*Ecuación de deformación unitaria axial media:*

$$\epsilon = \frac{\delta}{L_0} \quad \left( \frac{m}{m} \right)$$

$\epsilon$  = deformación unitaria axial  
 $\delta$  = alargamiento medido  
 $L_0$  = longitud inicial

### **1.6.1.1. 1. Defomaciones elásticas**

En esta zona, las deformaciones se reparten a lo largo de la probeta; son de magnitud pequeña, y, si se retira la carga aplicada, la probeta recuperaría su forma inicial (recuperación elástica). El coeficiente de proporcionalidad entre la tensión y la deformaición se denomina módulo de elasticidad o módulo de Young y es característico del material. La tensión más elevada que se alcanza en esta región, se denomina límite de fluencia y es el que marca la aparición de este fenómeno.

#### **Módulo de Young**

$$Y = \frac{F L_0}{A \delta}$$

Donde el esfuerzo es representado por la fuerza  $F$  por unidad de área sobre la sección inicial  $A$  y la deformación  $\delta$ , producida por el largo inicial  $L_0$ . El módulo de Young tiene las dimensiones de esfuerzo (Pa) / deformación (m/m). El valor del módulo de Young indica la resistencia de un material a una extensión longitudinal



reversible y es un parámetro útil para predecir hasta que punto se estirará una pieza.

### **1.6.1.1.2. Fluencia o cedencia**

Es la deformación brusca de la probeta sin incremento de la carga aplicada. Cuando se llega a un punto del ensayo, las deformaciones se concentran en la parte central de la probeta, y se aprecia una acusada reducción de la sección de la probeta. A partir de este momento, las deformaciones continuarán acumulándose hasta la rotura de la probeta por esa zona. La estricción es la responsable del descenso de la curva esfuerzo deformación; realmente las tensiones no disminuyen hasta la rotura, sucede que lo que se representa es el cociente de la fuerza aplicada (creciente) entre la sección inicial. Cuando se produce la estricción, la sección disminuye. Los materiales frágiles no sufren estricción ni deformaciones plásticas significativas, rompiéndose la probeta de forma brusca.

Terminado el ensayo se determina la carga de rotura, carga última o resistencia a la tracción: la máxima resistida por la probeta dividida por su sección inicial, el alargamiento en % y la estricción en la zona de rotura.

No todos los materiales presentan este fenómeno, en cuyo caso la transición entre la deformación elástica y plástica del material no se aprecia de forma clara.

### **1.6.1.1.3. Deformaciones plásticas**

Si se retira la carga aplicada en dicha zona, la probeta recupera sólo parcialmente su forma quedando deformada permanentemente. Las deformaciones en esta región son más acusadas que en la zona elástica.

## **1.7. Análisis Morfológico**

En la ciencia de los polímeros el término morfología generalmente se refiere a la forma y organización en una escala de tamaño por encima del arreglo atómico, pero más pequeño que el tamaño y la forma de la totalidad de la muestra. El término estructura se refiere más a los detalles locales atómicos y moleculares.

La morfología de polímeros incluye el tamaño y la forma de cargas y aditivos, distribución y asociación de unidades estructurales dentro de la estructura. La morfología de los polímeros se determina por varias técnicas microscópicas ópticas y electrónicas

### **1.7.1. Técnicas microscópicas**

La microscopía es la ciencia que se ocupa de la observación, examen y estudio de objetos muy pequeños con la ayuda del microscopio. En la actualidad, el término microscopio electrónico se refiere a una familia de instrumentos que producen imágenes aumentadas de una muestra.

Las técnicas microscópicas se pueden agrupar en cinco tipos. En primer lugar, situamos el microscopio electrónico de transmisión (TEM), en el que los electrones pasan a través de una muestra delgada (<200nm), y forman una imagen de la sección atravesada. En segundo lugar, está el microscopio electrónico de barrido (SEM); aquí los electrones barren la superficie de una muestra. El TEM transmite los electrones sin realizar un barrido; el SEM ejecuta un barrido pero no transmite los electrones. El tercer tipo, el microscopio electrónico de transmisión-barrido (STEM), que realiza las dos operaciones. El cuarto, es el microscopio de emisión de iones (FIM) que permite observar la estructura atómica de la superficie de la muestra. Finalmente, el microscopio de efecto túnel (STM), se consigue una imagen topográfica a escala atómica de la superficie de la muestra.

### **1.7.2. Microscopio electrónico de transmisión (TEM)**

Este microscopio ha sido llamado de transmisión, ya que el haz de electrones atraviesa una fina membrana para proyectar la imagen bidimensional sobre una pantalla fluorescente, que se encuentra colocada al final de la trayectoria de este flujo de electrones y que requiere de un espacio con vacío para desplazarse a través del sistema de lentes electromagnéticos. El TEM es capaz de aumentar el tamaño de la imagen del objeto hasta un millón de veces. Figura 21.

Esta técnica permite conocer la estructura interna de los nanocompuestos y, para este estudio, se podrá saber si realmente la arcilla se encuentra exfoliada, intercalada o no sufrió ningún cambio.

Algunas ventajas adicionales de esta técnica puede ser rápidamente ajustada para proporcionar un patrón de difracción de electrones de un área seleccionada y permite la identificación de características particulares morfológicas del polímero. La principal desventaja del TEM es que las muestras deben ser muy delgadas, menores a 100nm de grosor. Por lo que el polímero requiere una preparación especial, que consiste en cortar el polímero en piezas micrométricas. Esta técnica recibe el nombre de microtomía. Consiste en obtener cortes ultrafinos que se hacen con el microtomo. <sup>[40,41]</sup>

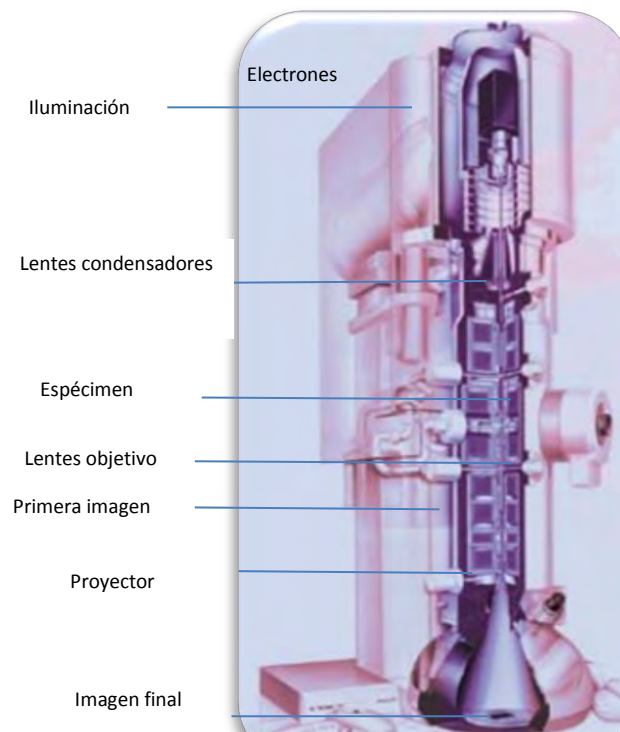


Figura 21. Esquema simplificado del microscopio óptico de transmisión.

### 1.7.2.1. Preparación de cortes para TEM

1. Cuchillas. Son las encargadas de hacer los cortes ultrafinos. Pueden ser de vidrio o de diamante. Se preparan con un cortador de cuchillas. Se usan

barras de vidrio de 6mm de grosor y 25mm de ancho. Se cortan en cuadros y luego se cortan diagonalmente, para así obtener triángulos-cuchillas. Lo cortes en el micrótopo, por su grosor limitado, no se pueden hacer con una cuchilla seca, por lo que debe de hacerse una solapa y llenarla de agua. Para la solapa se puede usar una cinta adhesiva. Figura 22.

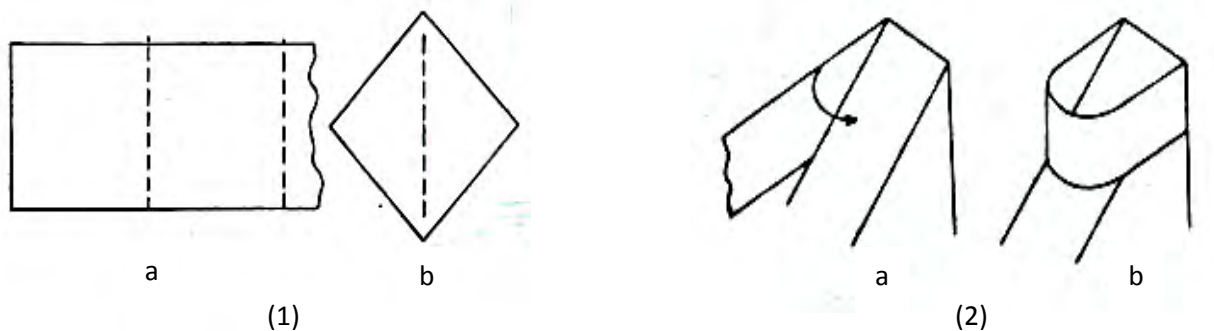


Figura 22. Preparación de las cuchillas. (a) Barra cortada en cuadros. (b) Cuadros cortados en triángulos-cuchillas. (2) Preparación de solapas. (a) y (b) Se pega una cinta adhesiva a la cuchilla formando la solapa.

2. Tallado de la pirámide. Las muestras de polímero deben de tener un tamaño de 0.5mm de largo, para luego ser llevadas al proceso de tallado de la pirámide. Para tal efecto se rebaja la parte terminal del bloque formando una pirámide truncada, con un ángulo aproximado de  $90^\circ$ . Los cortes se hacen con una navaja dura. Se forma una pirámide de 4 paredes iguales, los cortes deben de ser planos. La punta se corta en forma de cuadrado o trapecio, ya que será la que se corte en el micrótopo.

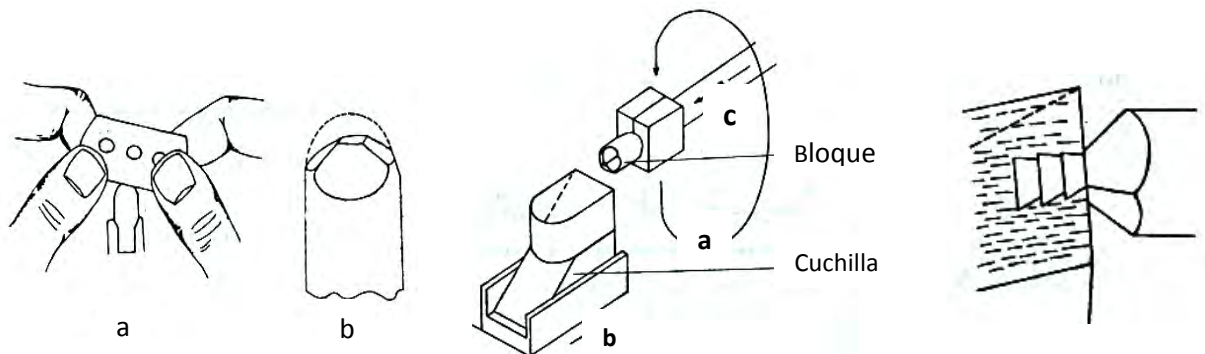


Figura 23. (1) Pirámide. (a) Rebajamiento con navaja. (b) Pirámide formada. (2) Micrótopo que comprende el bloque y cuchilla. (a) Rotación de la vara con el bloque. (b) Acercamiento a la cuchilla (manual). (c) Acercamiento del bloque a la cuchilla (automático). (3) Cortes finos en hilera en el agua.

3. Rejillas. Para la observación de cortes al microscopio se usan rejillas especiales que sirven como portaobjetos, tienen un tamaño de 3mm de diámetro y están hechas de cobre. Generalmente son redondas y con agujeros cuadrados, tienen dos lados, una opaco (parte adherente) y una clara.

Como se mencionó, los cortes para el microscopio deben ser menores a 100nm. Orientándose por los colores interferentes se puede saber el grosor de los cortes. Se pueden usar cortes de color gris (60nm o menos), plata (60-90nm) u oro (90-150nm). Los cortes color rojo, azul y verde no son penetrables por los electrones.

### **1.7.3. Microscopio electrónico de barrido (SEM)**

El SEM tiene una amplia resolución que permite que las muestras puedan ser examinadas con una profundidad mayor. Este instrumento tiene una amplia gama de aumentos, usualmente entre los 10x y 100,000x (5-7nm). Además, la emisión de otras radiaciones, como los rayos X, permite extender su empleo para reconocer la composición elemental de una muestra y la distribución de los elementos dentro de la misma.

Las técnicas de preparación de muestras para el SEM son considerablemente más sencillas que las del TEM, porque se examina la superficie de toda la muestra y no se requiere de ningún corte, sólo se requiere que sean conductoras.

En el SEM la muestra generalmente es recubierta con una capa de carbón o una capa delgada de oro para darle propiedades conductoras a la muestra. Posteriormente, un haz fino de electrones barre la superficie de la muestra. Un detector mide la cantidad de electrones secundarios que son excitados. Es capaz de mostrar figuras en tres dimensiones, proyectados en una imagen digital. <sup>[47]</sup>

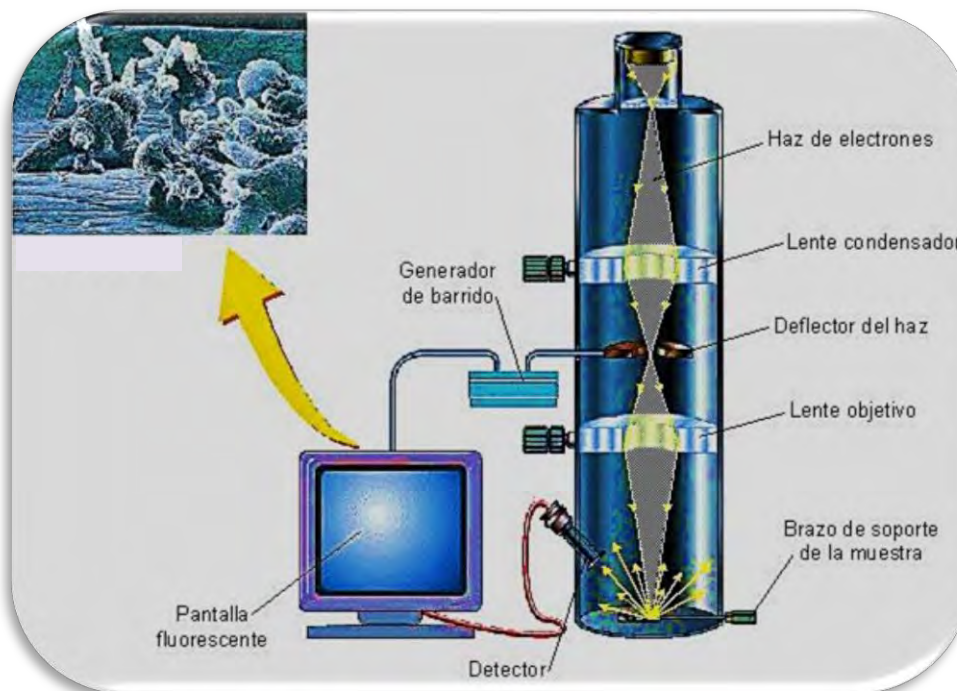


Figura 24. Esquema simplificado del SEM e imagen obtenida en 3D.

Para este estudio, el SEM aporta importante información acerca de la estructura interna y de la superficie externa del nanocompuesto, polimérico antes y después del ciclo hidrolítico. Buscaremos, con esta técnica, conocer el efecto que tuvo la arcilla en la degradación por hidrólisis del polímero.

### 1.7.3.1. Preparación de muestras para el SEM

1. Las muestras sólidas deben de estar limpias y secas. Con ayuda de una cinta conductora de carbón, las muestras se pegan en un portamuestras de forma cilíndrica. El tamaño de las muestras debe de ser de aproximadamente 5mm de grosor.
2. Sputtering. Es la técnica para recubrir con oro el polímero para hacer la muestra conductora. Consiste en una fuente de alimentación en corriente continua regulable de 1 a 3 kV. Se usa como blanco una lámina de oro. El espesor de oro en la muestra dependerá del tiempo de exposición.

## **1.8. Procesamiento de polímeros** <sup>[50,53]</sup>

### **1.8.1. Extrusión**

El proceso de extrusión es cualquier operación de transformación en la que un material puede o no estar fundido y es forzado a pasar a través de una boquilla o dado para producir un artículo de sección transversal constante. Desde el punto de vista de los plásticos, la extrusión es claramente uno de los procesos más importantes de transformación. Muchos materiales compuestos se forman a través de un proceso de extrusión y se pueden utilizar más de dos tipos de materiales para ser extrudidos, con el fin de mejorar sus propiedades o mejorar las propiedades de uno de ellos. Tal es el caso de algunos NCs arcilla-polímero.

El proceso de extrusión se lleva a cabo en máquinas denominadas extrusoras. Aunque existen extrusoras de diversos tipos, las más utilizadas son de husillo simple, por lo que se hará referencia a ellas. Las extrusoras actuales pueden operar entre 10 y 100rpm y, según su tamaño, proporcionar caudales de 2000kg/h de material.

Las extrusoras de husillo se pueden emplear para mezclar y formular compuestos de plástico, producir materia prima y llevar a cabo reacciones químicas. El corazón de un extrusor es un husillo que gira dentro del cilindro y es capaz de bombear un material a una velocidad específica. Los materiales utilizados en el proceso de extrusión son, por lo general, termoplásticos, materiales que se suavizan cuando se calientan y se transforman en fluidos, que posteriormente se endurecen cuando se enfrían y se transforman en sólidos nuevamente. Este fluido continúa a través del cilindro y al final se le hace pasar por un dado que proporciona el perfil o la forma deseada. La sección de husillo y barril de un extrusor tiene cuatro funciones principales: presurizar, calentar, mezclar y bombear. Se puede dividir el extrusor en tres zonas: alimentación, compresión y dosificación. La zona de dosificación va seguida por el cabezal y el dado. Figura 25.

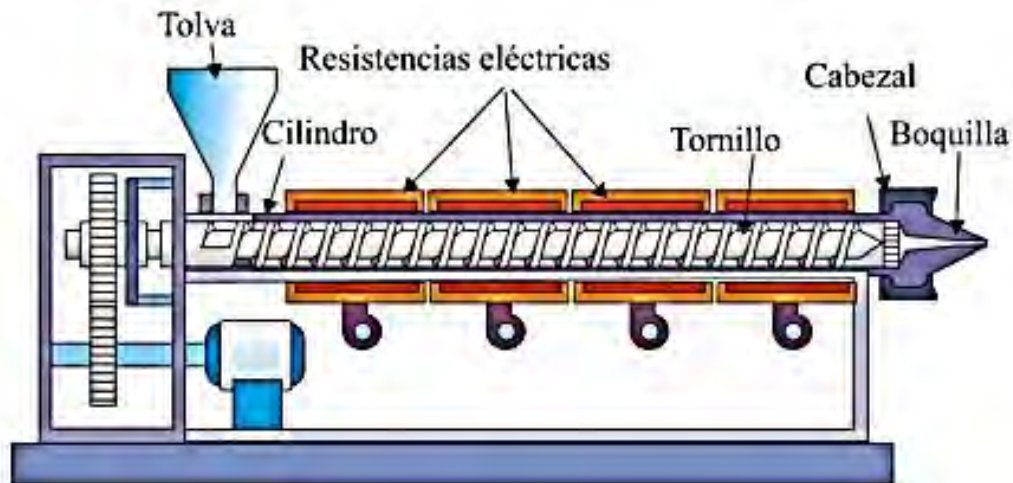


Figura 25. Representación esquemática de una extrusora de husillo simple.

### 1.8.2. Inyección

La inyección es un proceso adecuado para piezas de gran consumo. La materia prima se puede transformar en un producto acabado en un solo paso. Con la inyección se pueden obtener piezas de variado peso y con geometrías complicadas. Las características más importantes del proceso de inyección son las siguientes:

- La pieza se obtiene en una sola etapa
- Se necesita poco o ningún trabajo final sobre la pieza obtenida.
- El proceso es totalmente automatizable.
- Las condiciones de fabricación son fácilmente reproducibles.
- Las piezas acabadas son de gran calidad.

El proceso de obtención de una pieza de plástico por inyección sigue un orden de operaciones que se repite para cada una de las piezas. Este orden se conoce como ciclo de inyección, se divide en las siguientes etapas:

- Cierre del molde,
- inyección: fase de llenado y fase de mantenimiento,
- plastificación o dosificación y enfriamiento,
- apertura del molde y expulsión de la pieza.



En el comienzo de la operación de inyección, el material fundido y homogenizado está localizado en la cámara de inyección (Figura 26), el sistema hidráulico ejerce presión sobre el husillo, el cual se mueve axialmente. El material se expulsa fuera de la cámara de inyección y se introduce en la cavidad dentro del molde. El material fundido solidifica dentro de la cavidad para que la pieza moldeada pueda ser expulsada.

Las variables más importantes en el proceso son: temperatura de inyección y de molde, distancia de carga, tiempo de inyección, de mantenimiento, de enfriamiento, de plastificación, de movimiento, de ciclo, presión de inyección, de mantenimiento y contrapresión.

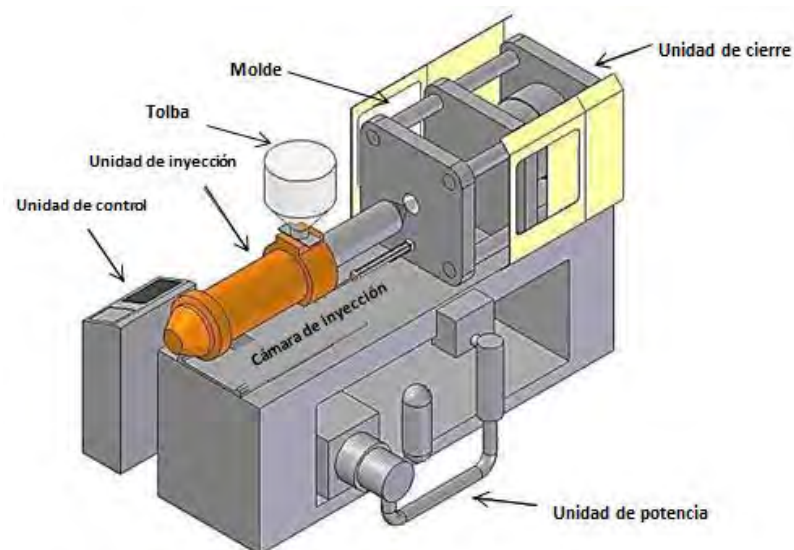


Figura 26. Representación esquemática de una máquina de Inyección.

***CAPÍTULO II***  
***METODOLOGÍA***  
***EXPERIMENTAL***

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

En el presente capítulo se describen las materias primas y equipos que se utilizaron para obtener el NC arcilla-polímero, así como el desarrollo experimental para la obtención de éstos y las técnicas utilizadas para su caracterización.

### 2.1. Materiales y equipo

#### 2.1.1. Materias primas

- El ABS virgen que se utilizó en este estudio fue el Terluran GP-22, color natural, de la compañía BASF. (ANEXO E).
- ABS de color natural recuperado de carretes de alambre, de la compañía Plásticos Los Delfines, S.A. de C.V.
- ABS color blanco recuperado, que tiene una carga de dióxido de titanio, de la compañía Plásticos Los Delfines, S.A. de C.V.
- El tipo de arcilla que se utilizó fue montmorillonita sódica PGN, de la compañía Nanocor®. (ANEXOS B)
- Se utilizaron cuatro tipos diferentes de aminas para modificar la arcilla. Fueron adquiridas en la compañía Sigma-Aldrich®, se enlistan a continuación (ANEXO F):
  - La amina 1-amino-dodecano (Aldrich 325163 dodecilamina >99%,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{NH}_2$ , CAS: 124-22-1).
  - La amina 1-amino-tetradecano (Aldrich T10200 tetradecilamina 95%,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}\text{NH}_2$ , CAS: 2016-42-4).
  - La amina 1-amino-octadecano (Aldrich O1408 octadecilamina TG 90%,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}\text{NH}_2$ , CAS: 124-30-1).
  - La amina 1,10-diamino-decano (Aldrich D14204 1, 10 diaminodecano 97%,  $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_{10}\text{NH}_2$ , CAS: 646-25-3).
- Se utilizó ácido clorhídrico al 36%, adquirido de la compañía J. T. Baker.

### 2.1.2. Equipo

A continuación se enlistan los equipos con los que se procesaron y caracterizaron el polímero y sus mezclas con la montmorillonita modificada (MMT-M), así como los equipos en los cuales se caracterizaron cada uno de los NCs arcilla-polímero (NCs-AP).

- Se utilizó un extrusor de husillo simple, marca Nieto®. Rapidez de husillo 48 rpm y L/D de 21.
- Molino de cuchillas de baja velocidad, marca Colortronic®, modelo M82L.
- Inyectora marca DEMAG®, modelo Ergo Tech 50-270. Fuerza de cierre de 50 toneladas.
- Una máquina de pruebas mecánicas universal, marca Instron®, modelo 5500R.
- Equipo de difracción de rayos X, marca Bruker AXS®, modelo D8 Advance, con monocromador de grafito. Software DIFF. Plus B\_S 200.
- Analizador térmico, marca TA Instruments, modelo SDT Q600 con una resolución de 0.0061°C y precisión de  $\pm 2\%$ .
- Equipo para recubrir las muestras para analizar por microscopia electrónica de barrido de la marca Fine Coat Ion Sputter JFC-110 JEOL.
- Microscopio electrónico de barrido marca Cambridge/Leica, modelo StereoScan 440.
- Equipo de microscopia electrónica de transmisión FE SEM JEOL JSM-7600F.

Se presenta un diagrama de la metodología experimental llevada a cabo en el Instituto de Investigaciones en Materiales, con ayuda del Laboratorio de Procesamiento de Polímeros del anexo de la Facultad de Ingeniería, para el procesamiento del polímero y sus mezclas. La preparación de muestras para el TEM se llevó a cabo en el Instituto de Física, ubicados en Ciudad Universitaria, UNAM en la Ciudad de México.

### 2.1.3. Diagrama Experimental

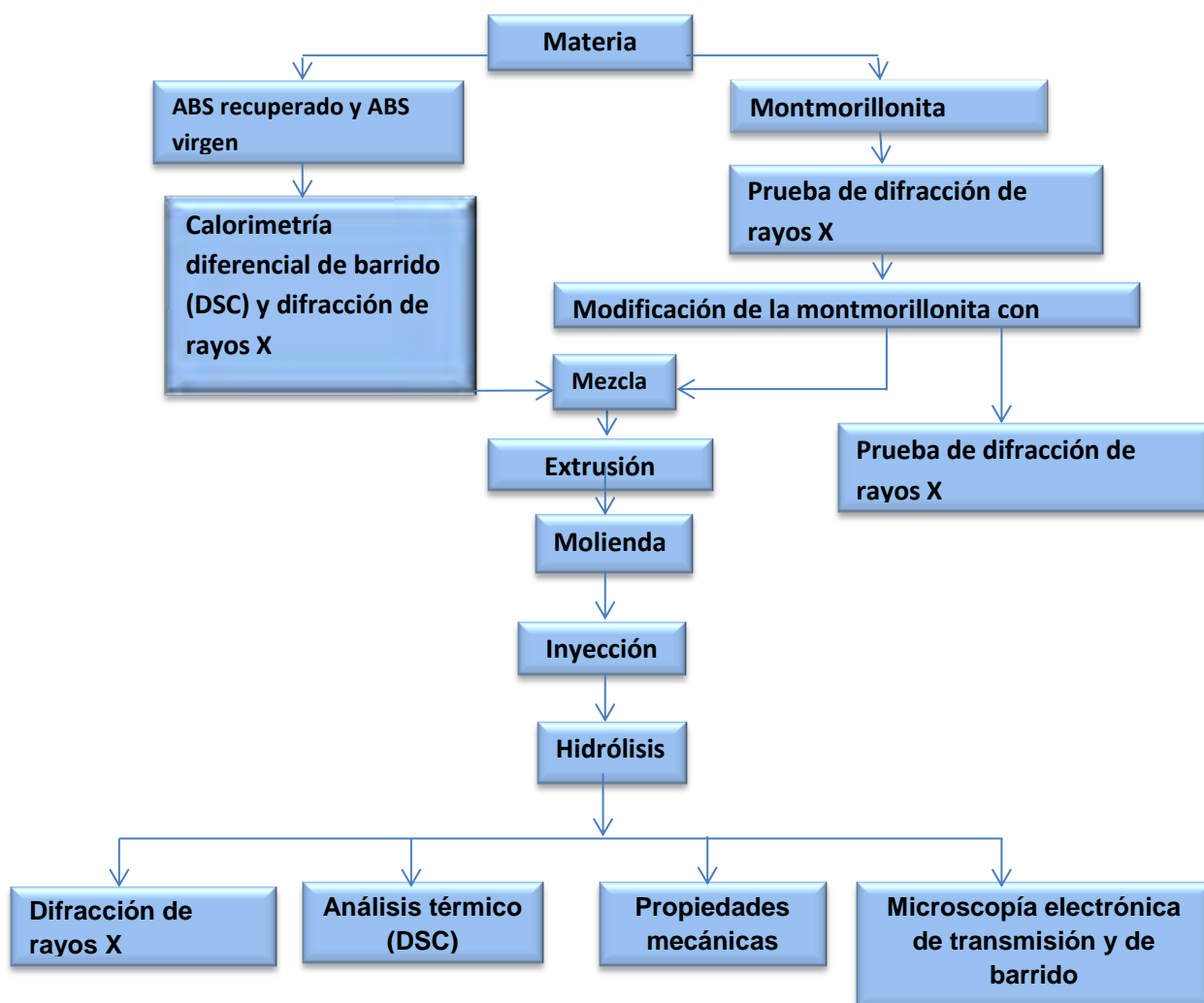


Figura 27. Diagrama de flujo del proceso.

## 2.2. Modificación de la montmorillonita con aminas

Es necesario someter a la montmorillonita a un pre-secado, a una temperatura de 150°C por dos horas, esto para deshidratarla. Se utilizaron 20g de montmorillonita para cada modificación con las aminas. Los siguientes cálculos son para obtener los miligramos de cada compuesto orgánico, X, que reaccionaran con la arcilla. Anexo B.

$$20g [MMT] \times \frac{120 meq}{100g [MMT]} = 24 meq \text{ en } 20g \text{ de } MMT$$

Ec. 1

$$24 \text{ meq} \times \frac{M \left( \frac{\text{mg}}{\text{mol}} \right)}{N \left( \frac{\text{meq}}{\text{mgmol}} \right)} = 24(M) \text{mg} [\text{MMT} - \text{X}]$$

Ec. 2

Donde M es la masa molecular del compuesto orgánico (X) a intercambiar en la arcilla, y N es el número de valencia del catión compuesto orgánico, que en este caso es la amina primaria.

Una vez que se calculan los gramos del compuesto orgánico (X) que reaccionarán con la montmorillonita, se prepara el proceso de protonación. En un vaso de precipitados de 250ml, se adicionan 100ml de agua desionizada y se coloca en una parrilla con agitación continua, se calienta hasta alcanzar una temperatura de 60°C. Se adiciona lentamente ácido clorhídrico concentrado al 36%, seguido de esto, se agrega la amina con cuidado, para así obtener el clorhidrato de la amina correspondiente (Figura 28), mantener la agitación por 10 minutos.

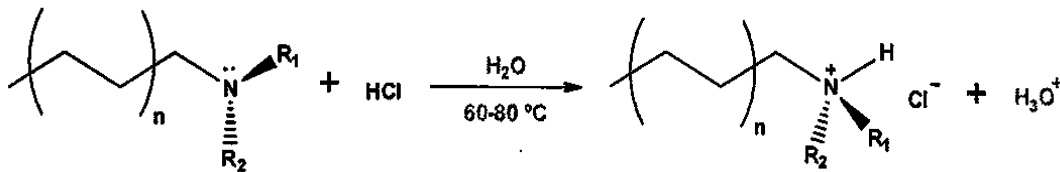


Figura 28. Reacción química de cuaternización de la síntesis de una sal de amina. La basicidad de las aminas permite su protonación o alquilación, lo que da lugar a las sales de amonio.

En un matraz de Erlenmeyer de 1L, se adicionan 700ml de agua destilada y se calienta a 80°C, con agitación vigorosa. Una vez alcanzada la temperatura, se adiciona lentamente 20g de MMT, esto debido a que en un principio se forman grumos que tardan en disolverse. Mantener la agitación por 30 minutos hasta que la MMT se haya hinchado completamente, es decir, se formará una mezcla homogénea de color café claro.

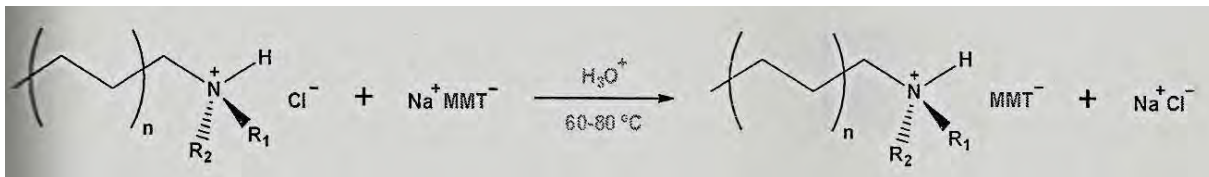


Figura 29. Síntesis de la MMT-X. Los iones Na de la montmorillonita reaccionan con el HCl, para formar NaCl. El intercambio iónico se lleva a cabo entre H<sup>+</sup> depositados en la superficie de la arcilla, son reemplazados por los cationes del clorhidrato de la amina.

Completado el tiempo de mezclado de la amina en la disolución del HCl, se adiciona esta mezcla al matraz donde se encuentra la arcilla completamente dispersada en agua. Es necesario tener cuidado a la hora de la adición, ya que se forma una masa café-blanquecina que impide la movilidad del agitador, por lo que se debe de ayudar, por unos minutos, con una espátula de metal hasta observar dos fases en la mezcla, una líquida, que es el agua, y otra sólida color café claro, que es la arcilla modificada, MMT-X. También, dependiendo de la amina, se formará espuma, por lo que se debe de tener cuidado de que no sobrepase la altura del matraz y pueda derramarse.

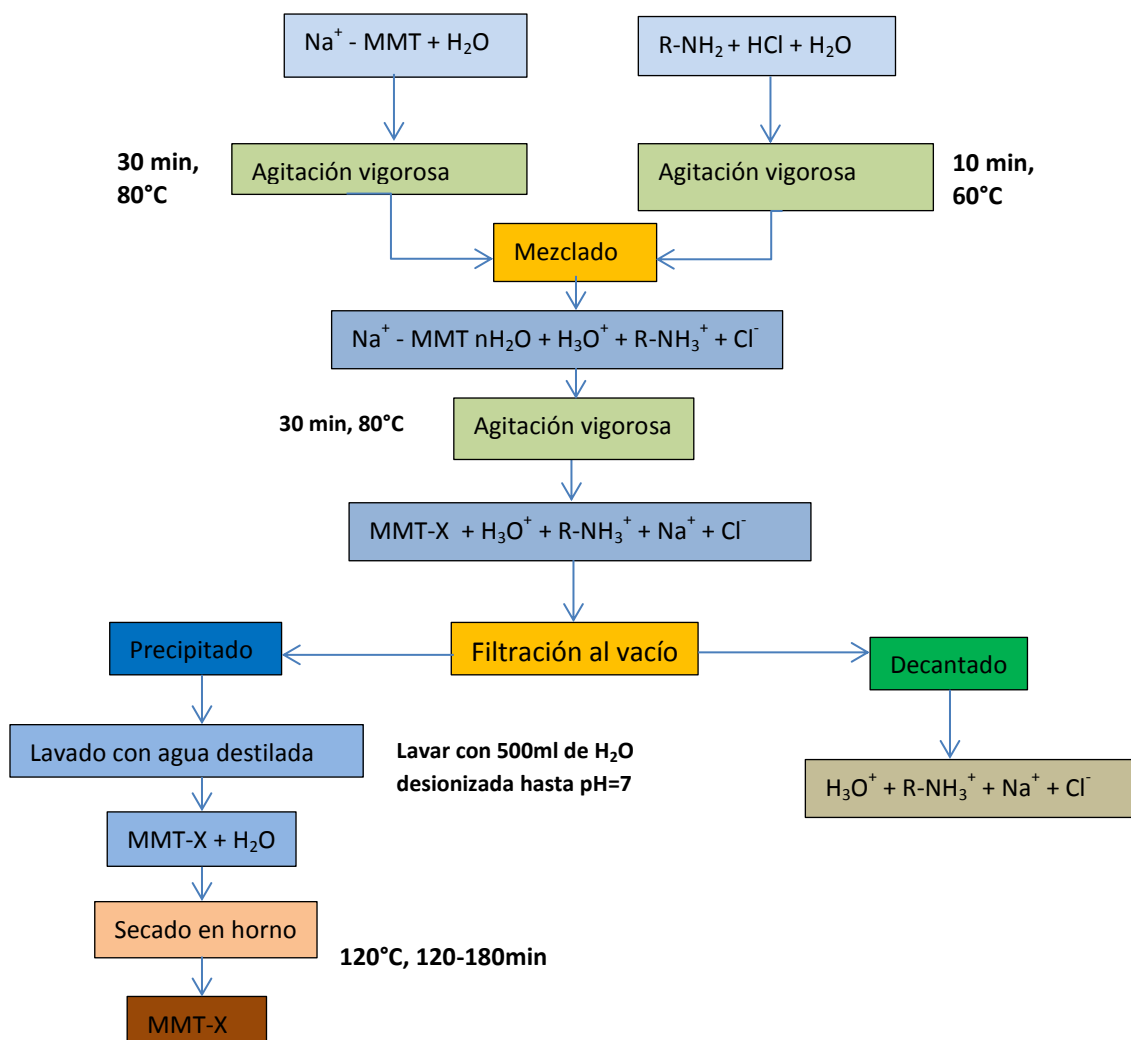


Figura 30. Esquema de los pasos para preparar la arcilla modificada con las distintas aminas (MMT-X).

Al observar dos fases en la mezcla, la del agua y la MMT-X, se mantiene la agitación por 30 minutos a 80°C, para permitir que se lleve a cabo el intercambio iónico en la arcilla <sup>27</sup>. Al terminar este proceso de agitación, se deja enfriar el matraz unos minutos para filtrar al vacío la mezcla. Se lava la arcilla de 3 a 5 veces para obtener un pH lo más cercano a 7. Para ello se coloca la arcilla dentro de un matraz y se adicionan 500ml de agua destilada previamente calentada, agitar de 5-10 minutos, se toma la lectura del pH obtenido y filtrar al vacío nuevamente. Al terminar este proceso, la arcilla ya no contiene ni el ácido clorhídrico ni el ión sodio, por lo que ya se puede secar en el horno de 2 a 3 horas. Después se pulveriza la arcilla con ayuda de un mortero, esto para reducir al mínimo su tamaño de partícula. <sup>27</sup>

El siguiente cálculo que se muestra es para la modificación con octadecilamina (ODA):

- Cálculos para montmorillonita con octadecilamina (MMT-O)  
Peso molecular: 269 g/mol de ODA

$$NH_2 - (CH_2)_{17} - CH_3$$

$$20g [MMT] \times \frac{120 meq}{100g [MMT]} = 24 meq \text{ en } 20g \text{ de } MMT$$

$$24 meq \times \frac{269 \frac{mg}{mol} ODA}{1 \frac{meq}{mgmol ODA}} = 6456 mg [MMT - O]$$

$$6.456 g + 10\% = 7.10 g ODA$$

Se aumenta 10% al valor final teórico del reactivo para que la reacción se desplace hacia los productos y para que la reacción se lleve a cabo sin problemas.

$$7.10 g \frac{ODA}{269g/gmol} = 0.0264gmol ODA$$

Peso molecular del HCl= 36.5 g/mol

Densidad= 1.182g/cm<sup>3</sup>



$$g_{HCl} = \frac{36.5g}{gmol} \times \frac{0.0264g}{mol} = 0.964g \text{ HCl} + 10\%$$

$$= 1.06g \text{ HCl}$$

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$v = \frac{m}{\rho} = \frac{1.06g}{\frac{1.182g}{cm^3}} = 0.897 \text{ ml} \quad \text{si estuviera al 100\% de pureza, pero está al 36\%}$$

$$V_1 C_1 = V_2 C_2$$

$$V_2 = \frac{V_1 C_1}{C_2} = \frac{100\% \times 0.897}{36\%} = 2.5 \text{ ml de HCl al 36 \%}$$

2.5 ml por cada 7.10 g de ODA

### 2.3. Mezclado de la MMT-X con el ABS en estado fundido

Se utilizó ABS virgen, ABS reciclado blanco y ABS reciclado natural, llamados de ahora en adelante GP22, ABS<sub>rec</sub> y ABS<sub>nat</sub>, respectivamente, para este trabajo. Cabe mencionar que estos polímeros también necesitan de una preparación previa para extrudirlos con la MMT-X. Es necesario secarlos al horno a una temperatura de 80-85°C por dos horas, esto para evitar la degradación del polímero por hidrólisis en la extrusora.

Se utilizó una extrusora de tornillo simple con L/D de 21, a una velocidad de 48rpm, con una temperatura en el dado de 180°C. El dado tiene una forma circular, con lo que se tienen tubos con un diámetro externo de 1cm. Al salir, el polímero fundido en forma de tubo se debe de enfriar en una tina con agua.

El peso total que se procesó fue de un kilo para cada muestra. La MMT-X y el ABS<sub>rec</sub> deben de mezclarse manualmente en una bolsa de plástico. Para esto, se moja la arcilla con metanol (10-20ml) y enseguida se mezcla manualmente con el ABS en la campana, de esta manera la arcilla se adhiere al polímero cuando el metanol se evapora.

A continuación se presenta una tabla de las muestras producidas en estado fundido. La primera tabla muestra el diseño de experimentos con el ABS<sub>rec</sub> blanco y la segunda tabla con el ABS<sub>rec</sub> natural.

Muestra	%GP22	%ABS <sub>rec</sub>	%MMT	%MMT-O	%MMT-D	%MMT-T	%MMT-DA
GP22	100	-	-	-	-	-	-
ABS <sub>rec</sub>	-	100	-	-	-	-	-
1%MMT	-	99	1	-	-	-	-
3%MMT	-	97	3	-	-	-	-
5%MMT	-	95	5	-	-	-	-
1% O	-	99	-	1	-	-	-
3% O	-	97	-	3	-	-	-
5% O	-	95	-	5	-	-	-
1% D	-	99	-	-	1	-	-
3% D	-	97	-	-	3	-	-
5% D	-	95	-	-	5	-	-
1% T	-	99	-	-	-	1	-
3% T	-	97	-	-	-	3	-
5% T	-	95	-	-	-	5	-
1% DA	-	99	-	-	-	-	1
3% DA	-	97	-	-	-	-	3
5% DA	-	95	-	-	-	-	5

Tabla 2. Muestras producidas en la extrusora con ABS<sub>rec</sub> blanco.

\*MMT-O = montmorillonita + octadecilamina

MMT-D = montmorillonita + dodecilamina

MMT-T = montmorillonita + tetradecilamina

MMT-DA = montmorillonita + diaminodecano

\*\* Las muestras con número y letra (1 T) representan el porcentaje en peso y el tipo de amina mezcladas con ABS

\*\*\* Las muestras representan 1kilo y los porcentajes están en peso

Muestra	%GP22	%ABS <sub>nat</sub>	%MMT	%MMT-T	%MMT-DA
ABS <sub>nat</sub>	-	100	-	-	-
1%MMT	-	99	1	-	-
5%MMT	-	95	5	-	-
1% T	-	99	-	1	-
5% T	-	95	-	5	-
1% DA	-	99	-	-	1
5% DA	-	95	-	-	5

Tabla 3. Muestras producidas en la extrusora con ABS<sub>rec</sub> natural.

## 2.4. Molienda

Las láminas que se obtienen de la extrusora se cortan con tijeras para obtener pedazos de entre 10 y 20 cm aproximadamente, como se muestra en la siguiente figura.

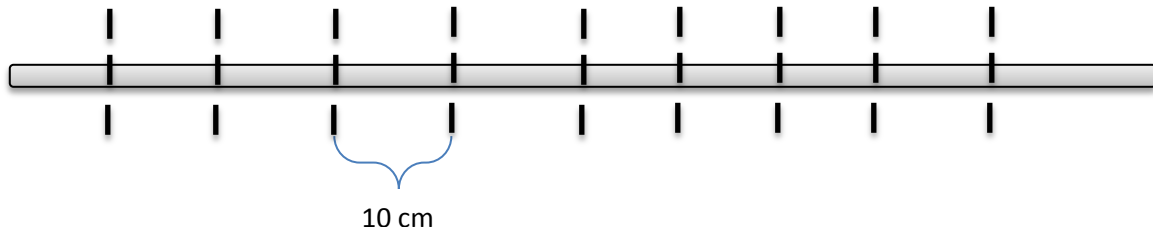


Figura 31. Ejemplo de cortes hechos en una muestra obtenida en la máquina extrusora de polímeros.

Después de cortar las muestras, éstas se secan en un horno a 40°C por dos horas. Posteriormente se les reduce a un tamaño de entre 2 y 7 mm en un molino de cuchillas.

## 2.5. Inyección

Los parámetros que se usaron para procesar las muestras son:

Parámetro	Cantidad
Tiempo control de ciclo (s)	100
Presión de inyección (bar)	1800
Velocidad de inyección (mm/s)	70
Tiempo de enfriamiento (s)	55
Temperatura de alimentación (°C)	30
Temperatura de inyección (°C)	220

Tabla 4. Parámetros de proceso.

Con 1 Kg de muestra se obtienen entre 20-25 probetas, de las cuales se necesitan al menos 20 para realizar las pruebas mecánicas y los ciclos hidrolífticos. Para cada concentración de montmorillonita se requieren 5 probetas.

## 2.6. Ciclo hidrolítico

Para esta prueba se utilizó un recipiente de 21cm de alto y un diámetro de 20cm. Además se mandó a construir un soporte con tres niveles, para que las probetas que se encuentren hasta abajo no se doblen y repartir el peso de las muestras entre los niveles. La siguiente figura muestra el soporte construido.



**Tabla 5. Soporte construido de metal con anillos concéntricos para colocar las probetas para los ciclos de hidrólisis.**

Se colocan las probetas horizontalmente sobre los diferentes niveles del soporte. El soporte, junto con las probetas, se mete en el recipiente previamente cargado con agua desionizada. Se tapa el recipiente para que no haya grandes pérdidas de agua por la evaporación y para mantener la temperatura. El recipiente con las muestras y el agua se coloca encima de la parrilla eléctrica y se calienta a una temperatura de 80-85°C.

Las muestras fueron sometidas a 10, 20 y 30 ciclos para el ABS reciclado blanco. Y a 10 y 30 ciclos, para el ABS reciclado natural, como se muestra en las Figuras 32 y 33. Debido a que un ciclo corresponde a 12 horas a 25°C y 12 horas a 80°C, se programó la parrilla para que en las mañanas calentara y al cabo de 12 horas se apagara.

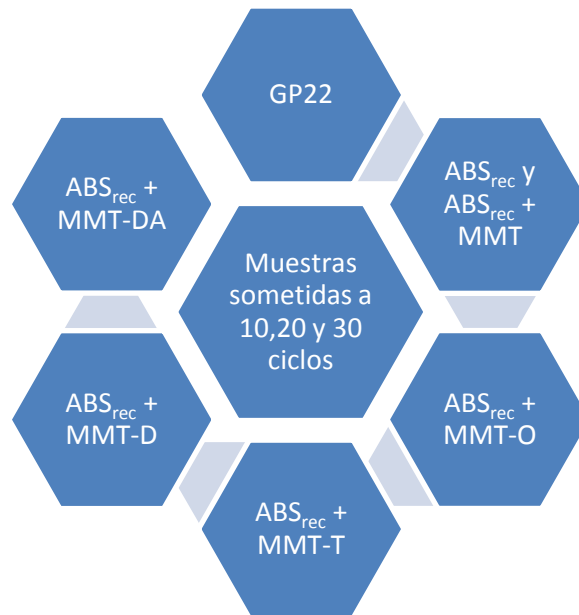


Figura 32. Muestras hidrolizadas a 10,20 y 30 ciclos.



Figura 33. Muestras hidrolizadas a 10 y 30 ciclos.

## 2.7. Pruebas mecánicas

En este estudio se utilizó una máquina para pruebas mecánicas marca Instron, modelo R5500, ubicada en el Laboratorio de Pruebas mecánicas del Instituto de Investigaciones en Materiales. Para cada muestra se utilizan 5 probetas, a las cuales se les tiene que medir el grosor y el ancho. Para el grosor

se deben de tomar tres medidas y obtener un promedio, como se muestra en la siguiente Figura.

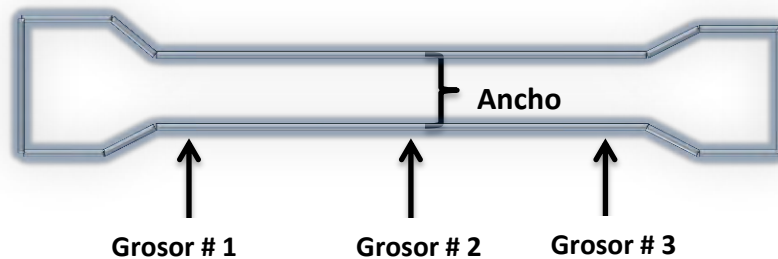


Figura 34. Mediciones de grosor y de anchura, realizadas en una probeta para someter a pruebas mecánicas.

## 2.8. Difracción de rayos X

Para este estudio se mandaron las muestras con y sin hidrólisis. Para las pruebas de hidrólisis se seleccionaron las de 10 y 30 ciclos, que son las más representativas.

Se usó un ángulo de  $2\theta$ , entre 2 a 80 grados, con un cambio en la inclinación del haz con respecto a la muestra de  $2^\circ/\text{min}$ .

## 2.9. Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Se utilizó un analizador térmico marca TA Instruments, modelo SDT Q600, con una precisión de  $\pm 2\%$  y con una resolución de  $0.001^\circ\text{C}$ . Para este estudio se cortaron varios pedazos provenientes de las probetas con y sin hidrólisis y de las muestras obtenidas en la extrusora. El intervalo de calentamiento que se usó es de  $25^\circ\text{C}$  a  $220^\circ\text{C}$ , la rapidez de calentamiento fue de  $10^\circ\text{C}/\text{min}$ , en atmósfera de nitrógeno.

## 2.10. Microscopia electrónica de transmisión (TEM)

Se deben de cortar dos pequeños pedazos de la probeta, de un tamaño aproximadamente 5mm de largo. La probeta se marca con dos líneas diagonales, como se muestra a continuación, para formar un triángulo. Posteriormente se hacen dos cortes transversales de 5mm de largo, Figura 35.



Figura 35. Ejemplo de cortes realizados en probeta para TEM.

En el Instituto de Física se cortaron las muestras para microscopía de transmisión. Para realizar los cortes de un tamaño menor 50nm, se usó LEICA EM FC6.

Los cortes se colocan en unas rejillas especiales de cobre de 3 mm de diámetro de cobre, que sirven como portaobjetos. El equipo que se usó es un microscopio electrónico de barrido, marca Cambridge/Leica, modelo StereoScan 440. Se tomaron fotografías a X30K y X50K, con un voltaje de 120kv, en la probeta con mayor porcentaje de arcilla.

### 2.1.1. Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Se realizan dos tipos de corte, uno paralelo al área de ruptura y otro también paralelo al anterior, como se muestra en la Figura 36. En el primer corte se puede observar el ataque hidrolítico (área sombreada de azul). El segundo corte, se observa la superficie que estuvo en contacto directo con el agua (área sombreada de rojo). Esto para observar cómo afectaron los ciclos de hidrólisis en el polímero.

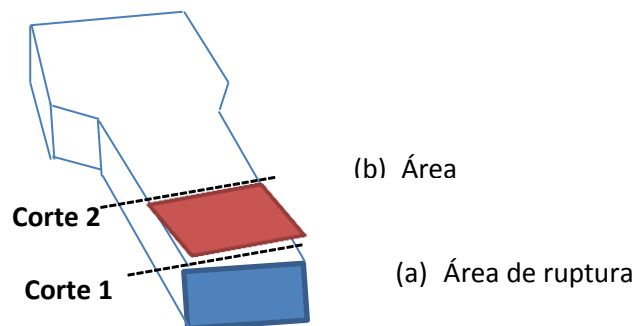


Figura 36. Muestra de la superficie recortada para observar en SEM (a) área de ruptura a estudiar y (b) área transversal a estudiar.

Se toman estos dos tipos de cortes debido a que el ataque hidrolítico afecta tanto la superficie exterior como la interior, como muestra la Figura 37.

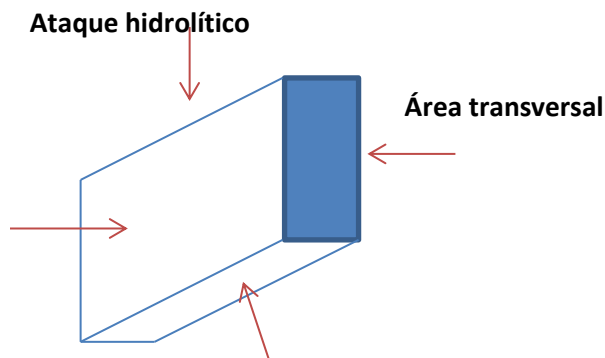


Figura 37. Muestra del área transversal de la probeta. El ataque hidrolítico ocurre en las cuatro caras, como muestran las flechas.

Los cortes deben tener un tamaño de entre 2 y 4mm. El último paso es dorarlas, esto se realiza debido a que el ABS no es un material conductor. Las muestras se dejan por 5 minutos en el equipo de erosión catódica. Ya doradas se llevan al microscopio electrónico de barrido. Se usó un voltaje de 20kV con un detector de electrones retrodispersado.



***CAPÍTULO III***  
***ANÁLISIS DE***  
***RESULTADOS***

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1. Análisis de resultados por difracción de rayos X

Esta técnica permite conocer tanto la estructura cristalina de un material como las distancias interplanares de éste. Con esta técnica se determina la estructura interna de la arcilla antes y después de ser modificada con aminas, para determinar si se logró exfoliar la arcilla en la matriz polimérica o se formó un nanocompuesto intercalado. Los posibles arreglos de la arcilla intercalada se presentan en la Figura 38. De acuerdo a los difractogramas que se obtengan, podremos clasificar el tipo de dispersión se logró en el nanocompuesto.

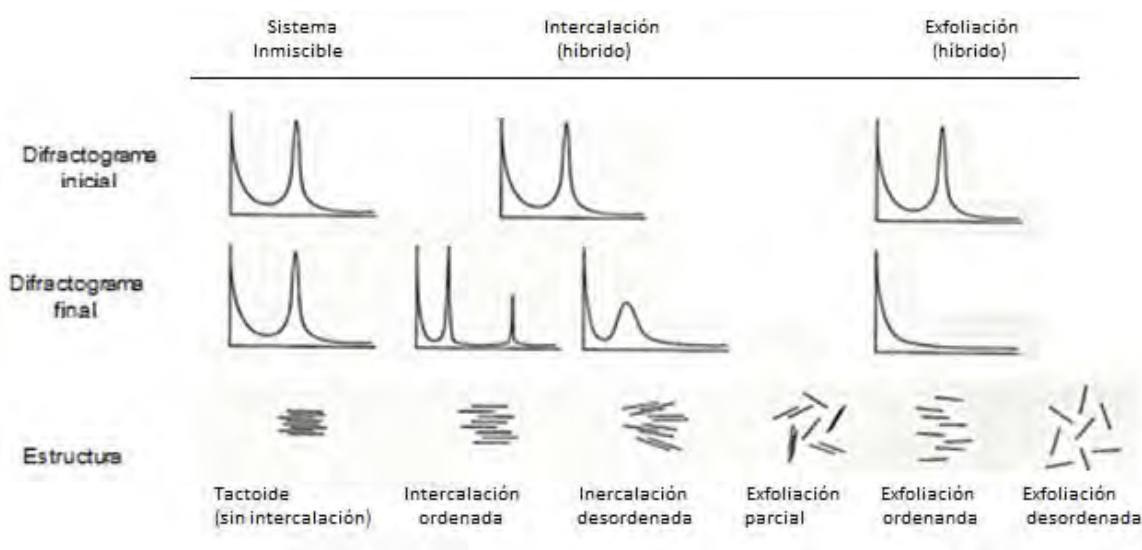


Figura 38. Estructuras laminares que presenta la arcilla dentro de una matriz polimérica.

#### 3.1.1. Caracterización de las arcillas

Para caracterizar a la montmorillonita se debe de conocer su distancia interplanar, la cual corresponde al plano 001 ( $d_{001}$ ); la región analizada fue la que se encuentra en los valores de  $2\theta$  entre  $2^\circ$  y  $70^\circ$ . Al conocer la distancia interplanar de la arcilla sin intercalar, se puede determinar cuánto aumentó este parámetro al ser modificadas con las aminas. La Figura 39 muestra el pico característico de la arcilla pura sin modificar, que es  $9.93\text{\AA}$ .

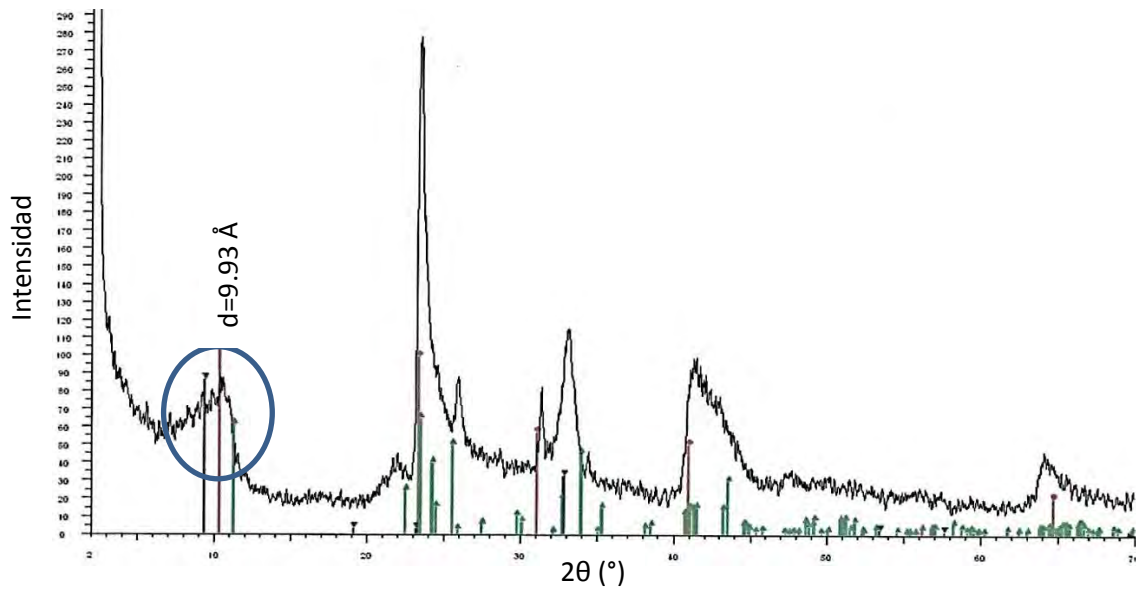


Figura 39. Espectro de difracción de rayos X de la montmorillonita sódica pura.

El espectro de la montmorillonita modificada con la octadecilamina se muestra en la Figura 40. Dicha amina es la que más aumentó la distancia interlaminar de la arcilla, de 9.93 Å a 26.01 Å. Se puede observar que el pico de la arcilla modificada se encuentra desplazado hacia la izquierda con respecto al pico original de la distancia interlaminar  $d_{001}$  de la montmorillonita.

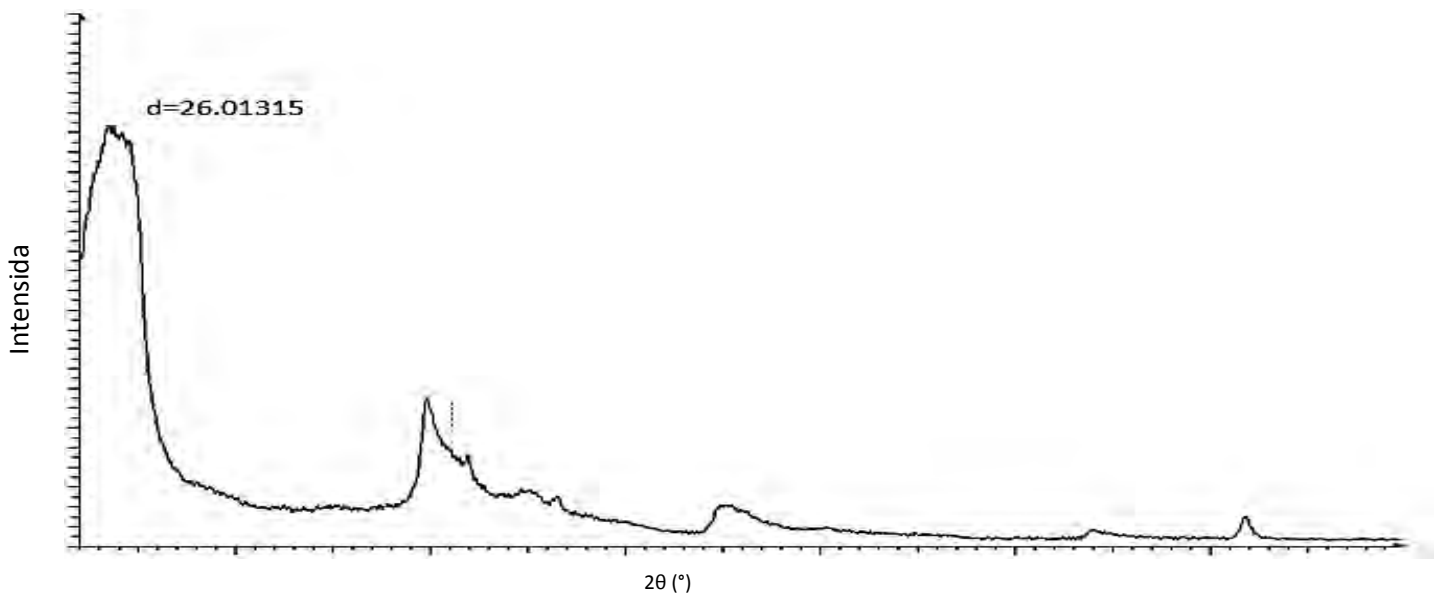


Figura 40. Espectro de difracción de rayos X de la MMT-O.

Las distancias interplanares de las MMT-X, donde X representa las aminas utilizadas en este estudio, comparadas con la distancia original de la MMT, se muestran en la Tabla 6.

Arcillas	Modificadores orgánicos	$d_{(001)}$ (Å)
<b>MMT</b>	-	9.93
<b>MMT-O</b>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}\text{NH}_3^+$	26.01
<b>MMT-D</b>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{NH}_3^+$	17.97
<b>MMT-T</b>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}\text{NH}_3^+$	18.40
<b>MMT-DA</b>	$\text{H}_3\text{N}+(\text{CH}_2)_{10}\text{NH}_3^+$	14.25

Tabla 6. Valores experimentales de  $d_{001}$  obtenidos de distintas arcillas modificadas con aminas.

En los experimentos realizados por Phiriyawirut y colaboradores., encontraron para la MMT-DA, un valor de la distancia interplanar de 16.5Å, mientras que Pinnavaia y colaboradores encontraron un valor de 15.6Å. Por otro lado, Magaraph y colaboradores, obtuvieron un valor de 16.4Å para la MMT-D, de 18.2Å para MMT-T y para la MMT-O de 26.9Å; Arroyo y colaboradores, en valor de 17.6Å para MMT-O. Las distancias interlaminares en  $d_{001}$  obtenidos experimentalmente en este trabajo, son mayores a los valores observados por otros autores, a excepción de la MMT-O, la cual tiene un 3% menos de apertura, en comparación con la de Magaraph.

Las variaciones entre los valores reportados y los obtenidos en este trabajo son diferentes, porque el proceso de modificación de las aminas varían con las condiciones particulares en los laboratorios (temperatura, tiempo, concentración, agitación, etc.) y esto puede dar origen a diferentes acomodos de las cadenas de las aminas entre los espacios interlaminares, por lo que pueden formar ángulos menores a 90° respecto a la lámina tetraédrica de la arcilla, es por eso que se producen distintas distancias interplanares entre las láminas.

### 3.1.2. Caracterización del ABS virgen y ABS reciclado

El ABS virgen no presenta difracción cristalina. Sin embargo, el ABS<sub>rec</sub> blanco presenta un difractograma distinto, con picos cristalinos. Esto se debe a que está cargado con dióxido de titanio y los picos de la estructura cristalina de este compuesto se pueden observar claramente. También se usó ABS natural reciclado, sin carga de dióxido de titanio, esto con el fin de saber si la presencia del dióxido de titanio afectaría la intercalación y las propiedades del material.

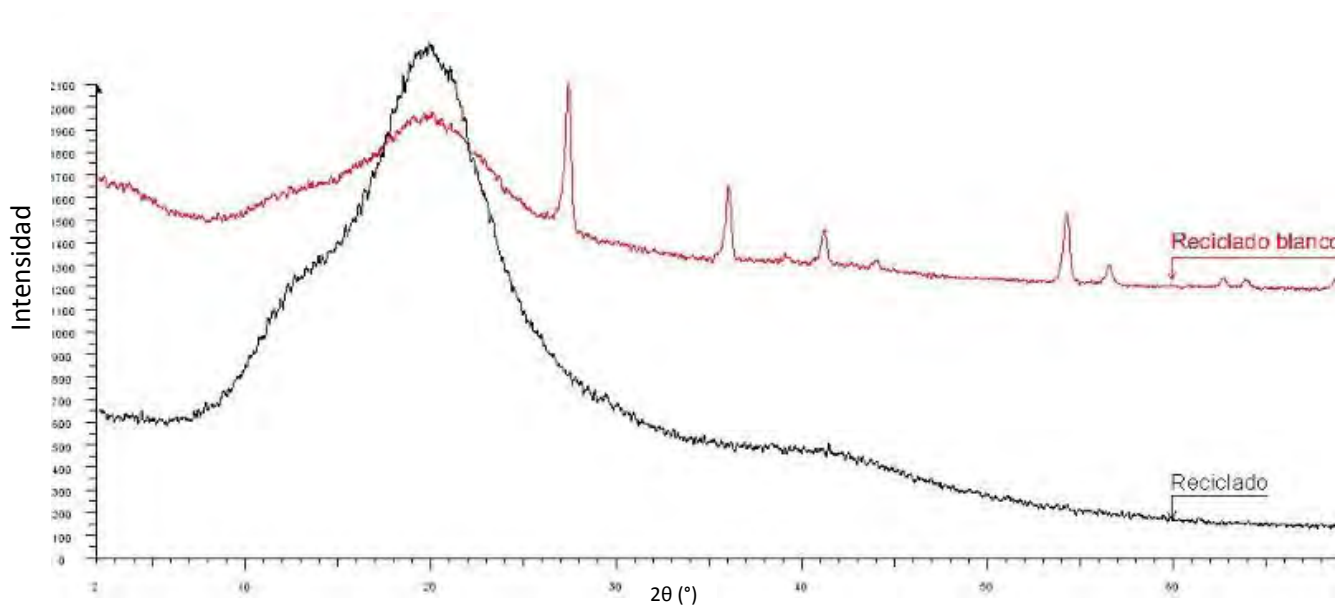


Figura 41. Espectros de difracción de rayos X del ABS reciclado blanco y el ABS natural.

### 3.1.3. Caracterización de los nanocompuestos

En las Figuras 42 y 43 se encuentran los dos difractogramas de ambos ABS reciclados, los cuales presentan los picos característicos de las distancias interplanares de la arcilla con valores de  $2\theta$  entre  $2^\circ$  y  $10^\circ$  desplazados hacia la izquierda con respecto al pico original de la montmorillonita.

%Arcilla	%ABSrec	$d_{(001)}$ (Å)
1	99	No se observa
3	97	13.68
5	95	14.56

Tabla 7. Distancias interplanares del ABS<sub>rec</sub> con montmorillonita sin intercalante.

Se puede observar en la tabla que conforme se va incrementado el porcentaje de arcilla en la matriz polimérica, su distancia interlamina,  $d_{001}$ , aumenta, esto se cumple para 3 y 5%, en el caso de 1% no se observa ninguna señal.

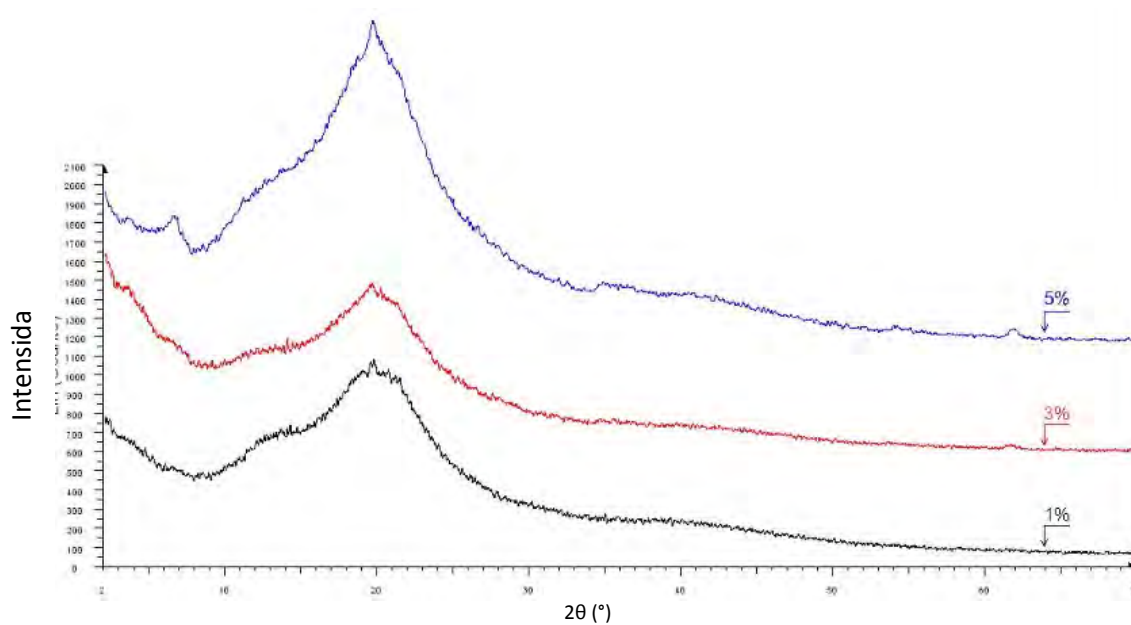


Figura 42. Difractograma de las muestras 1, 3 y 5% MMT. El pico de la montmorillonita se muestra en negro.

Para el estudio del  $ABS_{nat}$  con arcilla sin intercalante, se trabajó solamente con 3 y 5% de montmorillonita. La distancia interplanar para 3% de montmorillonita es de  $12.45\text{\AA}$  y se encuentra principalmente entre los valores de  $2\theta$ , entre  $6^\circ$  y  $10^\circ$ , lo que significa que el pico se está desplazado hacia la izquierda, esto significa que se logró abrir la distancia interplanar original. En el caso del nanocompuesto con 5% de montmorillonita, el pico correspondiente a la distancia interplanar se desplazó hacia la izquierda, hasta una distancia de  $11.7\text{\AA}$ . Aunque la distancia interlamina se incrementó con 5% de arcilla, el incremento fue mayor para el nanocompuesto con 3%; la distancia interplanar en este caso fue de  $12.45\text{\AA}$ .

%MMT	%ABS <sub>nat</sub>	d <sub>(001)</sub> (Å)
3	97	12.45
5	95	No se observa

Tabla 8. Resultados para el nanocompuesto de ABS<sub>nat</sub> con 3 y 5% MMT sin intercalante.

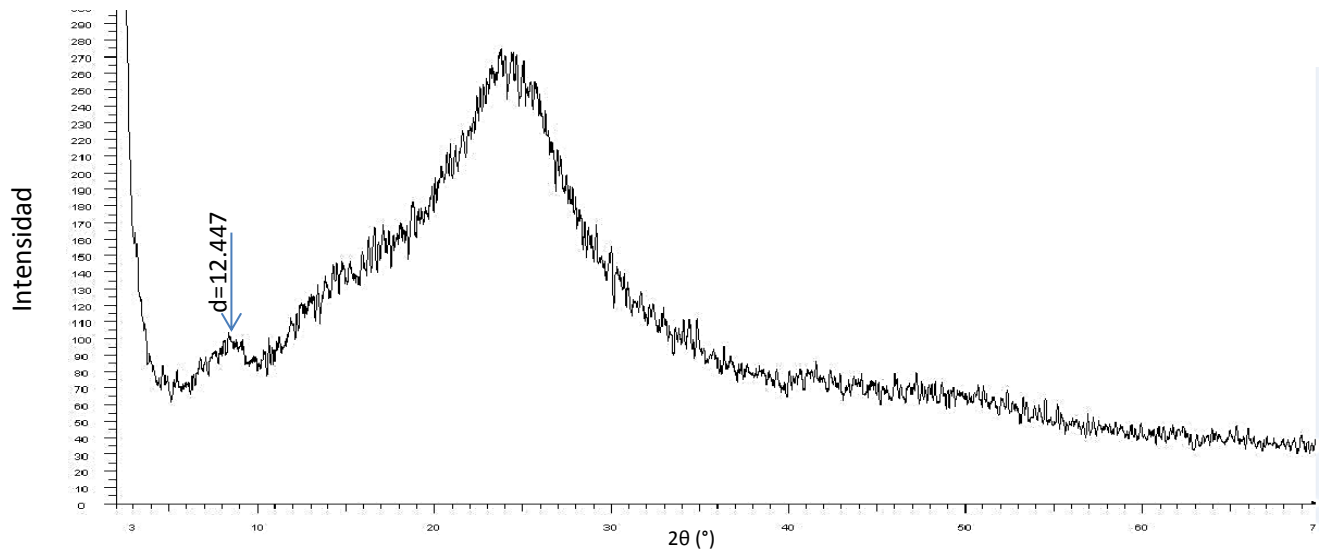


Figura 43. Difractograma de la muestra ABS<sub>nat</sub> 3% MMT.

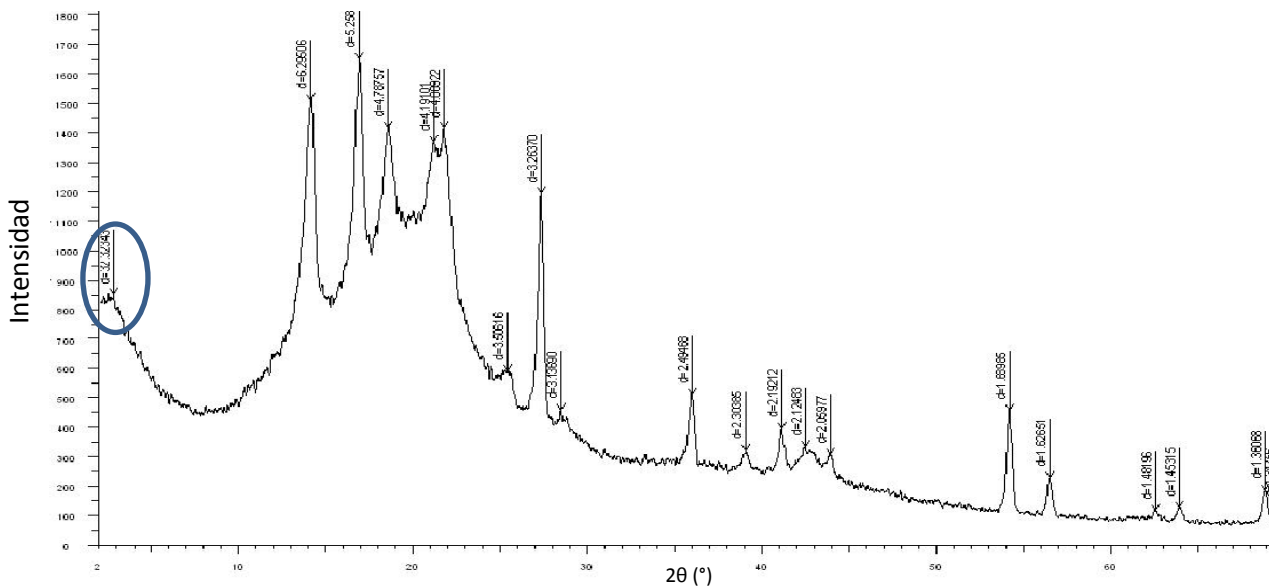
La Tabla 9 muestra las distancias interplanares de los nanocompuestos de ABS reciclado blanco con arcillas modificadas: MMT-O, MMT-D, MMT-T y MMT-DA.

Arcillas	%Arcilla	d <sub>(001)</sub> (Å)
MMT-O	1	24.2536
MMT-O	3	30.7512
MMT-O	5	32.3234
MMT-D	1	No se observa
MMT-D	3	26.7152
MMT-D	5	16.099
MMT-T	1	24.029
MMT-T	3	25.579
MMT-T	5	25.416
MMT-DA	1	27.997
MMT-DA	3	13.203
MMT-DA	5	12.707

Tabla 9. Distancias interplanares de los nanocompuestos con ABS<sub>rec</sub> blanco modificados con MMT-X.

A partir de los datos de distancia interplanar de la Tabla 9 se puede observar que la amina con la cual se logró la mayor apertura de las galerías de la arcilla fue con la octadecilamina. Para este caso, la distancia interlaminar se incrementó al aumentar la cantidad de arcilla en el nanocompuesto.

Los difractogramas obtenidos para los nanocompuestos de ABS<sub>rec</sub> blanco con MMT-O a 1, 3 y 5%, con las distancias 24.25, 30.75 y 32.32Å respectivamente, muestran que los picos correspondientes a la distancia interlaminar, se encuentran desplazados hacia la izquierda, en el intervalo de  $2\theta$  de entre  $2^\circ$  y  $5^\circ$ .



**Figura 44.** Difractograma de la muestra ABS<sub>rec</sub> blanco con 5% de MMT-O. La distancia interlaminar es de  $d_{001}=32.3234 \text{ \AA}$ .

El difractograma de la Figura 45 que corresponde al nanocompuesto con 3% de montmorillonita modificada con dodecilamina, 3% MMT-D, muestra la mayor apertura de las láminas de arcilla con un valor de  $26.7 \text{ \AA}$ , ya que el pico correspondiente a la arcilla modificada está totalmente desplazado hacia la izquierda y se encuentra en el intervalo de  $2^\circ$  a  $5^\circ$  en  $2\theta$ .



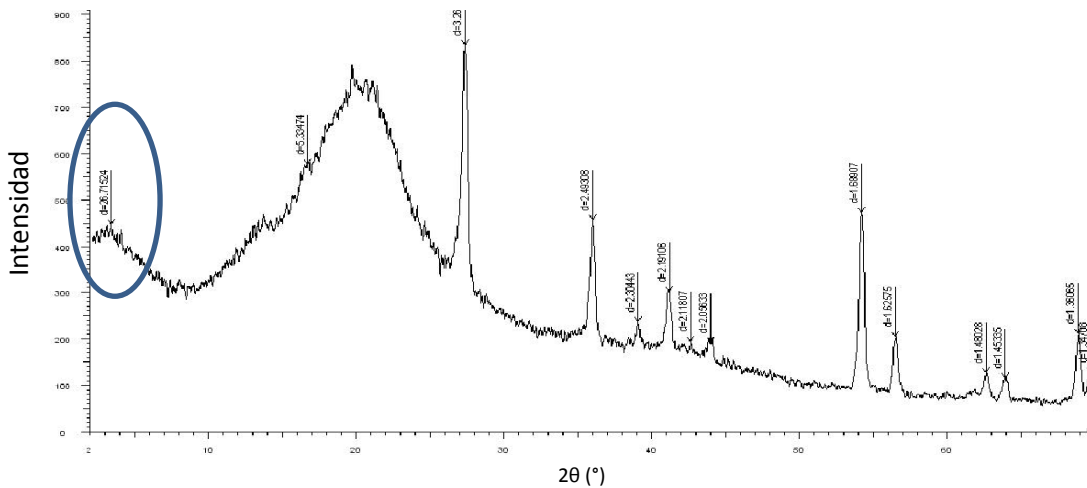


Figura 45. Diffractograma de la muestra de ABS<sub>rec</sub> blanco con 3% de MMT-D. La distancia interlamilar es 26.7152Å.

Los difractogramas de las Figuras 46 y 47, corresponden a los nanocompuestos de ABS<sub>rec</sub> blanco con 3 y 5% de MMT-T, porcentajes que más incrementaron la distancia interplanar con 25.6 y 25.4Å. Los picos de 3 y 5% de MMT-T se pueden observar muy bien además de que se encuentran totalmente desplazados hacia la izquierda, con valores de 2θ entre 3° y 5°, que corresponden a una diferencia interplanar de 0.163 Å.

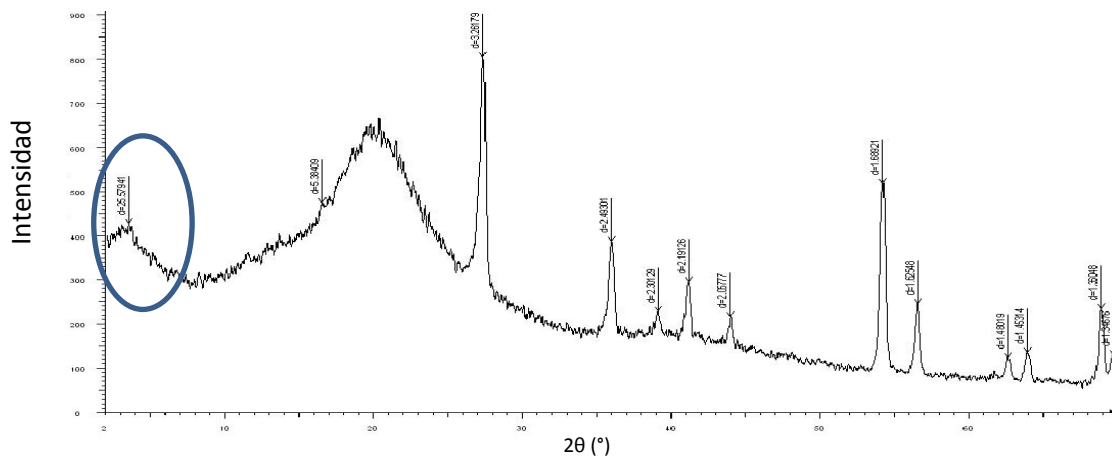


Figura 46. Diffractograma de la muestra de ABS<sub>rec</sub> blanco con 3% de MMT-T. La distancia interlamilar de la MMT-T es 25.579 Å.

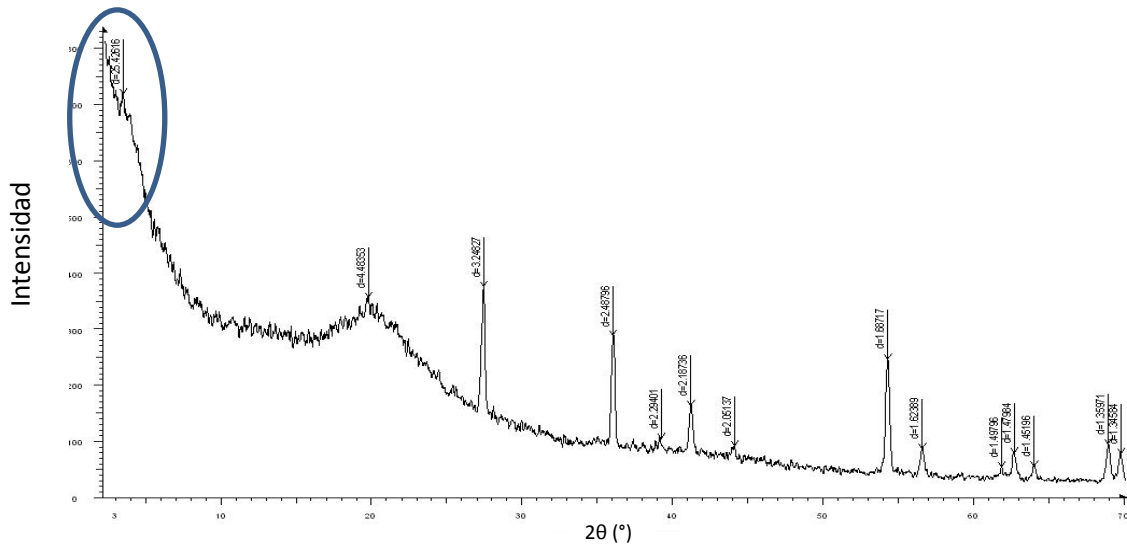


Figura 47. Difractograma de la muestra de ABS<sub>rec</sub> blanco con 5% de MMT-T. La distancia interplanar es 25.416 Å.

En el difractograma por rayos X del nanocompuesto del ABS<sub>rec</sub> blanco con 1% de MMT-DA, el cual se muestra en la Figura 48, se observa que el pico correspondiente a la distancia interplanar se encuentra en el intervalo de 2° a 5°, sin embargo para los otros dos, 3 y 5% de MMT-DA, se encuentran entre 5° y 10°.

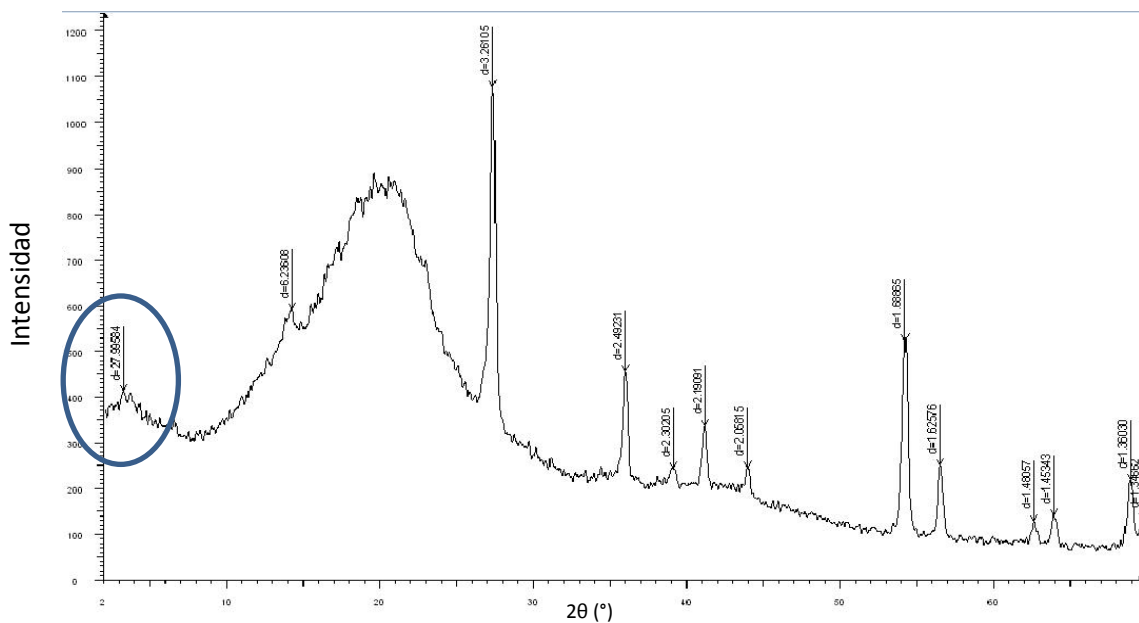


Figura 48. Difractograma de la muestra de ABS<sub>rec</sub> blanco con 1% de MMT-DA. La distancia interplanar de la MMT-DA es 27.997 Å.

Para el estudio con ABS<sub>nat</sub>, se seleccionaron dos tipos de aminas, la tetradecilamina y la diaminododecano, ya que fueron las que lograron el mayor

aumento, de acuerdo a las mejoras que se obtuvieron en sus propiedades mecánicas en el ABS<sub>rec</sub> blanco. Las montmorillonitas intercaladas con las que se trabajó fueron MMT-T y MMT-DA a 3 y 5%.

A continuación se muestra la tabla con las distancias interplanares logradas por las aminas en las arcillas agregadas a los nanocompuestos.

Arcillas	%Arcilla	$d_{(001)}$ (Å)
MMT-T	3	24.938
MMT-T	5	22.107
MMT-DA	3	12.276
MMT-DA	5	12.656

Tabla 10. Distancias interplanares de los nanocompuestos con ABS<sub>nat</sub> con distintas aminas.

Se puede observar que los difractogramas de las Figuras 49 y 50, de las Muestras de ABS<sub>nat</sub> con 3 y 5% de MMT-T, muestran el pico de la distancia interplanar desplazado hacia la izquierda, entre los valores de  $2\theta$  de  $2^\circ$  y  $4^\circ$ , por lo que la distancia interplanar aumentó a  $24.94\text{Å}$  para el nanocompuesto de ABS<sub>nat</sub> con 3% de MMT-T y a  $22.12\text{Å}$  para 5% de MMT-T.

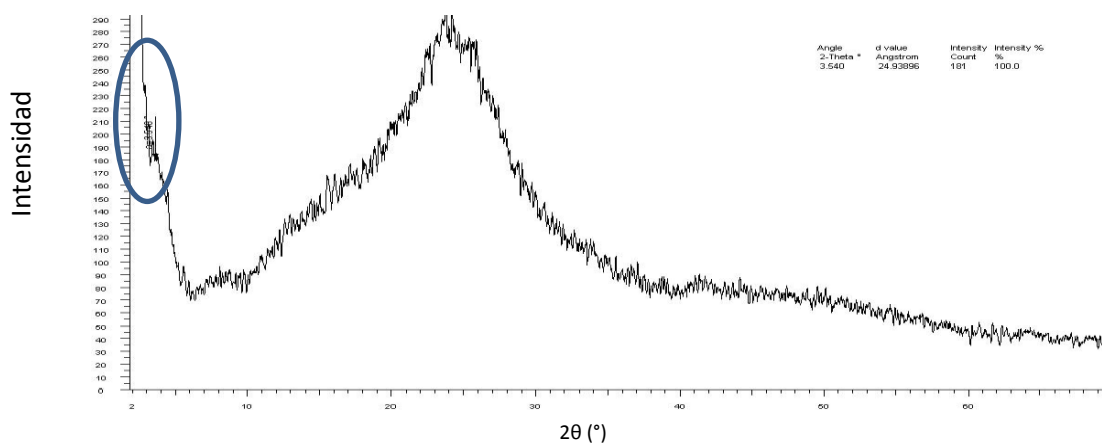


Figura 49. Difractograma de la muestra de ABS<sub>nat</sub> con 3% de MMT-T. La distancia interplanar es  $24.938\text{Å}$ .

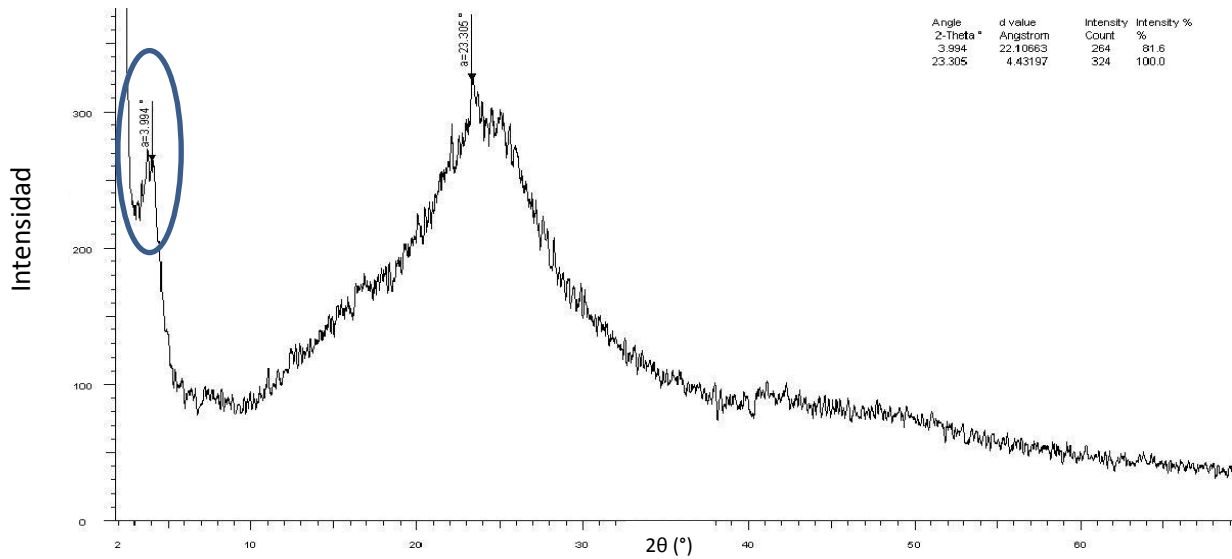


Figura 50. Difractograma de la muestra de ABS<sub>nat</sub> con 5% de MMT-T. La distancia interplanar es 22.107Å.

Los difractogramas de las Figuras 51 y 52 corresponden al nanocompuesto ABS<sub>nat</sub> con 3 y 5% de MMT-DA. Se observa que el pico de la MMT-DA, se encuentra desplazado levemente hacia la izquierda, los valores en los que se encuentran ambas distancias interplanares, está en el intervalo de 2θ de 7° a 10°, por lo que la distancia interplanar para 3-D aumentó hasta 12.28Å y 12.66Å para 5% DA.

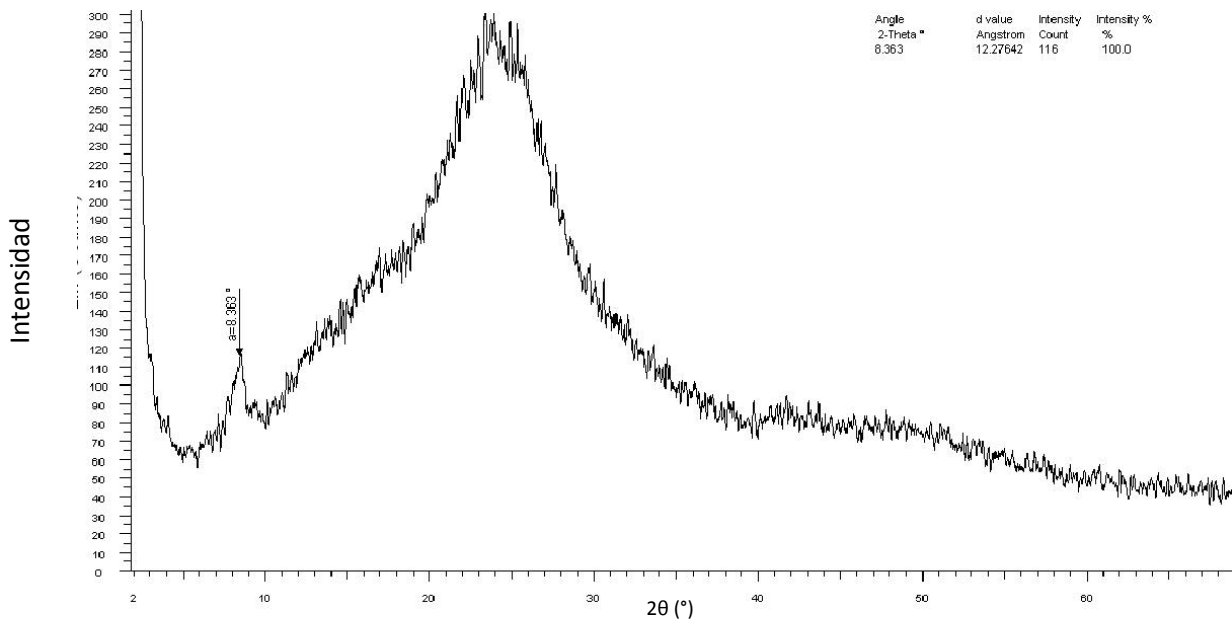


Figura 51. Difractograma de la muestra de ABS<sub>nat</sub> con 3% de MMT-DA. La distancia interplanar es 12.28Å.

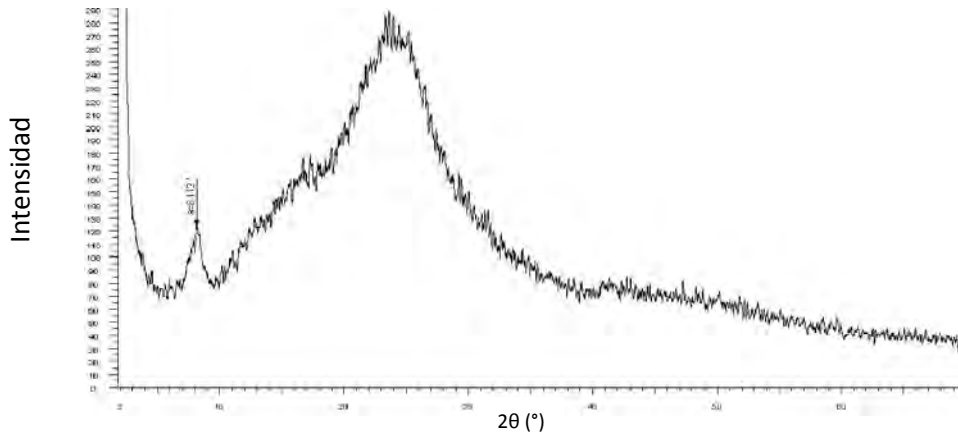


Figura 52. Diffractograma de la muestra  $ABS_{nat}$  con 5% de MMT-DA. La distancia interplanar es 12.67Å.

Se habla de una intercalación cuando las moléculas del polímero se ubican dentro de las galerías de la arcilla e incrementan la distancia interlaminar de la arcilla modificada con aminos: en este caso, el ordenamiento cristalino de la arcilla disminuye. El ordenamiento cristalino llega a desaparecer, si la distancia que hay entre una lámina y otra es grande como para destruir la estructura cristalina inicial o la concentración de la arcilla es baja. En el primer caso, esto significa que ocurrió una exfoliación o una dispersión total de la arcilla o que debido a la baja concentración de arcilla no se encuentre totalmente dispersa y debido a esto la señal sea débil, como es el caso del nanocompuesto con  $ABS_{rec}$  blanco con 1% de MMT sin intercalante y 1% de MMT-D, y con  $ABS_{nat}$  con 5% de MMT sin intercalante.

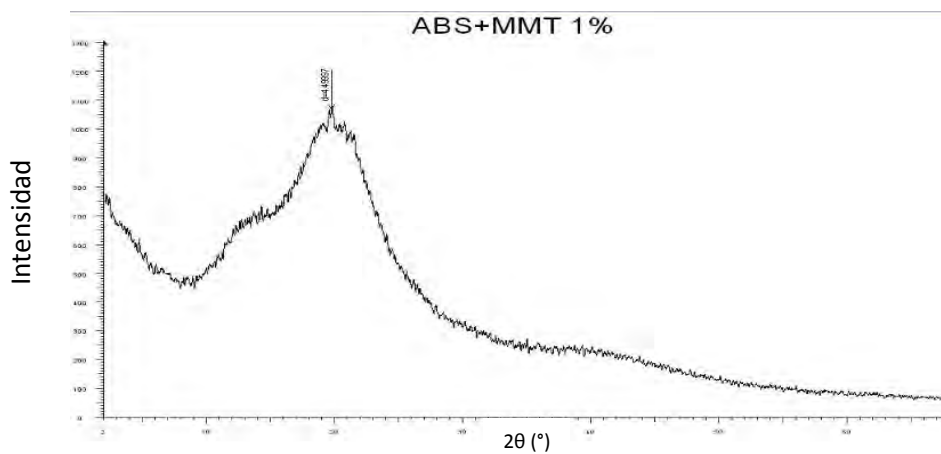


Figura 53. Diffractograma de la muestra  $ABS_{rec}$  blanco con 1% de MMT. No se observa ninguna señal menor a 10°.

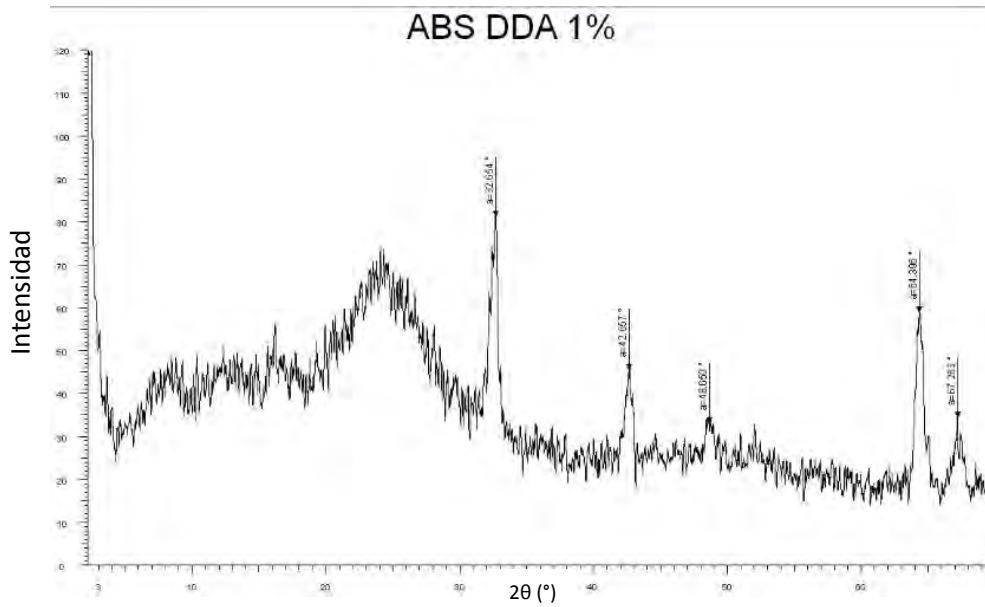


Figura 54. Diffractograma de la muestra ABS<sub>rec</sub> blanco con 1% de MMT-D. No se observa ninguna señal menor a  $10^\circ$ .

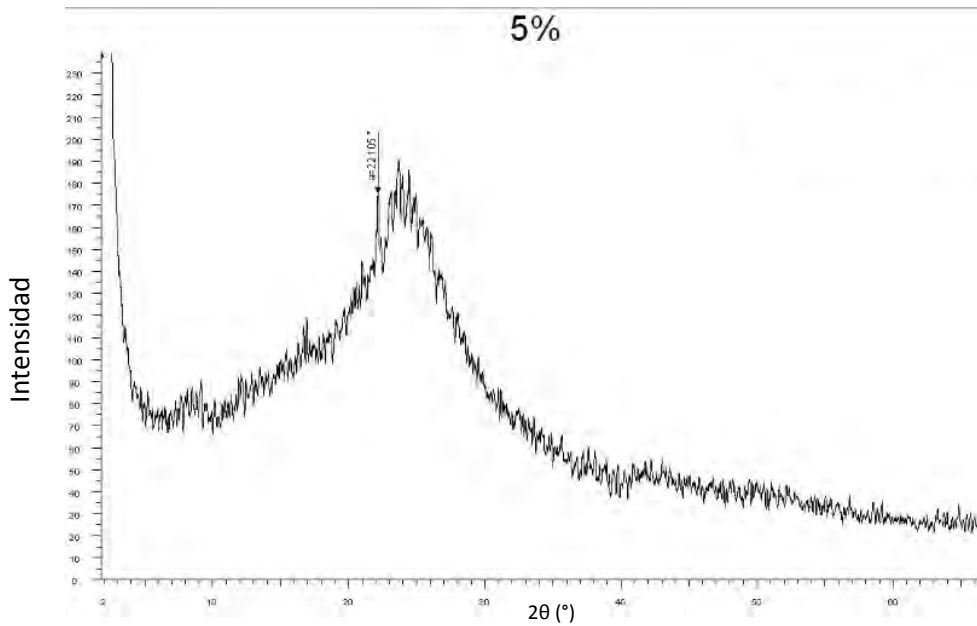


Figura 55. Diffractograma de la muestra ABS<sub>nat</sub> con 5% de MMT. No se observa ninguna señal menor a  $10^\circ$ .

Se observó que el papel que juega el intercalante dentro de la arcilla es muy importante, debido a que puede llegar a modificar el ordenamiento cristalino.

En todos los análisis por rayos X a los nanocompuestos con MMT, la región del difractograma comprendida en los valores de  $2\theta$  entre  $50^\circ$  y  $70^\circ$ , no cambia, y, por esa razón, se considera la huella digital de la montmorillonita en un nanocompuesto, lo cual se puede observar en un triángulo en la Figura 56.

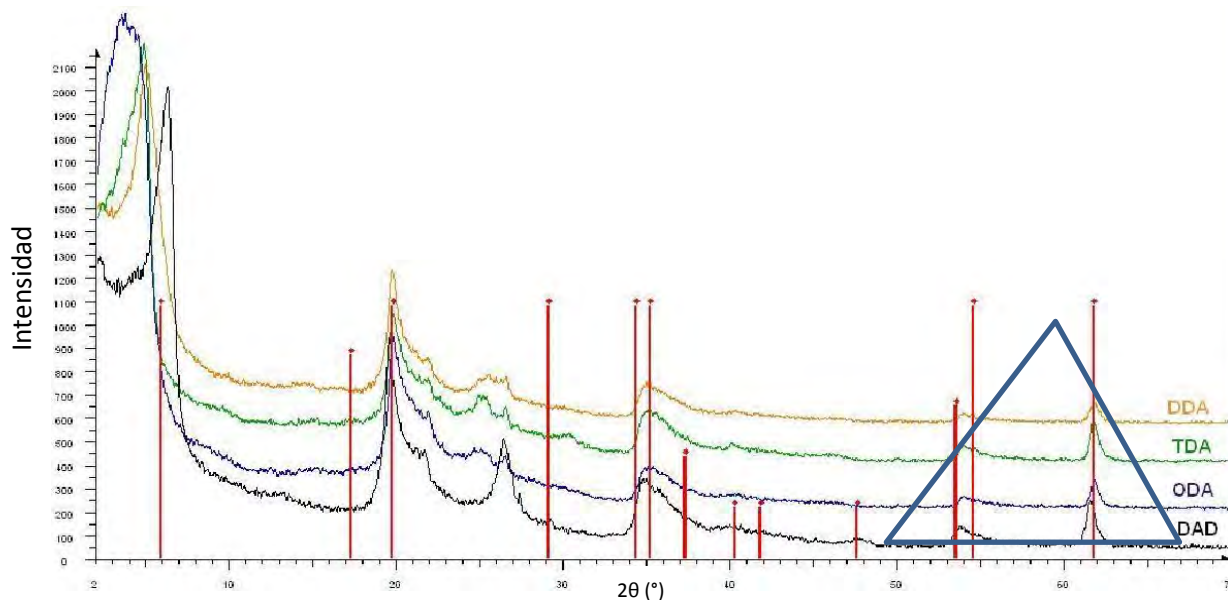


Figura 56. Difractograma de las muestras de MMT-O, MMT-D, MMT-T y MMT-DA.

Al realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos de las distancias interplanares de las arcillas modificadas, se observa que las aminas que incrementaron la distancia interplanar significativamente, están relacionadas con el tamaño de su cadena, así la amina con mayor longitud de cadena será la que incremente el espacio interplanar de la montmorillonita y la de menor longitud de cadena será la que menor valor tendrá. En este caso es de la siguiente manera: octadecilamina > tetradecilamina > dodecilamina > diaminodecano. Para los nanocompuestos con  $ABS_{rec}$  blanco y con  $ABS_{nat}$ , sucede el mismo caso, pero con unas excepciones, como se muestra a continuación para el  $ABS_{rec}$  blanco:

**$3,5\%MMT-O > 1\%MMT-DA > 3\%MMT-D > 1, 3,5\%MMT-T > 1\%MMT-O > 5\%MMT-D > 3,5\%MMT-DA$**

En el caso para los nanocompuestos con  $ABS_{nat}$ , no ocurre ningún cambio ya que la amina con mayor tamaño de cadena, en este caso la octadecilamina,

incrementa de manera significativa la distancia interlaminar en comparación con la amina diaminodecano, que no incrementó la distancia interplanar de la arcilla.

## 3.2. Análisis térmico

### 3.2.1. Caracterización por calorimetría diferencial de barrido

Para este estudio se utilizó atmósfera de nitrógeno y un intervalo de temperaturas de 25°C a 220°C para cada muestra.

#### 3.2.1.1. Determinación de la temperatura de transición vítrea del ABS sin modificar

La  $T_g$  del polímero ABS se encuentra por encima de los 100°C. Se determinó la  $T_g$  de los polímeros GP22, ABS<sub>rec</sub> y ABS<sub>nat</sub>, por calorimetría diferencial de barrido. En la Tabla 11 se muestran los resultados de  $T_g$  para estas muestras comparadas con el valor teórico del ABS. Se observa que el valor del ABS encontrado en la bibliografía, se encuentra por encima de los valores obtenidos experimentalmente; esto es debido a las diferentes concentraciones de la matriz de SAN de cada polímero.

Polímero	$T_g$ [°C]	$T_g$ [K]
*ABS	110.00	383.15
GP22	101.51	374.66
ABSrec	107.34	380.79
ABSnat	107.50	380.95

Tabla 11. Temperatura de transición vítrea de los polímeros del GP22, ABS<sub>rec</sub> y ABS<sub>nat</sub> por DSC.

\*El valor de  $T_g$  del ABS es el de la literatura.

#### 3.2.1.2. Determinación de temperaturas de transición vítrea de los nanocompuestos

Se determinaron las  $T_g$  de los nanocompuestos principalmente para observar un posible efecto de retardo térmico debido a la arcilla dispersada en la matriz.

La Tabla 12 muestra los valores de  $T_g$  para los nanocompuestos con ABS<sub>rec</sub>. Los resultados de  $T_g$  observados en 0 ciclos, no demostraron ser



significativos en relación con las distintas arcillas dispersadas en el interior de la matriz. Es decir, las temperaturas de transición vítreas obtenidas de las muestras con arcilla modificadas, no resultaron ser mayores a la temperatura del ABS<sub>rec</sub> sin intercalante. Sin embargo, para las muestras con ABS<sub>rec</sub> con arcilla modificada, se observa un incremento en los valores para 30 ciclos, los resultados más significativos son los obtenidos en las muestras que contienen: 5% de MMT-D, 1% de MMT-T, 3% de MMT-T, 5% de MMT-T, 3% MMT-DA y 5% de MMT-DA. Dichos valores aumentaron más de 4°C, este cambio podría significar mejores propiedades mecánicas.

Muestra	Ciclo hidrolítico	
	T <sub>g</sub> [°C] - 0 ciclos	T <sub>g</sub> [°C] - 30 ciclos
1%	109.80	110.20
3%	109.10	109.90
5%	110.14	111.90
1-O	107.90	109.10
3-O	100.10	102.10
5-O	98.90	100.20
1-D	106.90	108.70
3-D	105.40	108.30
5-D	104.10	109.60
1-T	108.40	113.50
3-T	103.10	108.30
5-T	100.60	105.20
1-DA	111.60	114.60
3-DA	106.40	110.30
5-DA	104.60	109.10

Tabla 12. Valores de T<sub>g</sub> para los nanocompuestos de ABS<sub>rec</sub> con arcilla modificada con aminas, por la técnica de DSC.

La Figura 57 muestra el nanocompuesto 1% DA. Las temperaturas a 107.56°C y a 113.74°C, se ubican en dos líneas que forman la inflexión, la T<sub>g</sub> será el valor en el cual estas dos líneas se intersectan, que es 111.56°C.

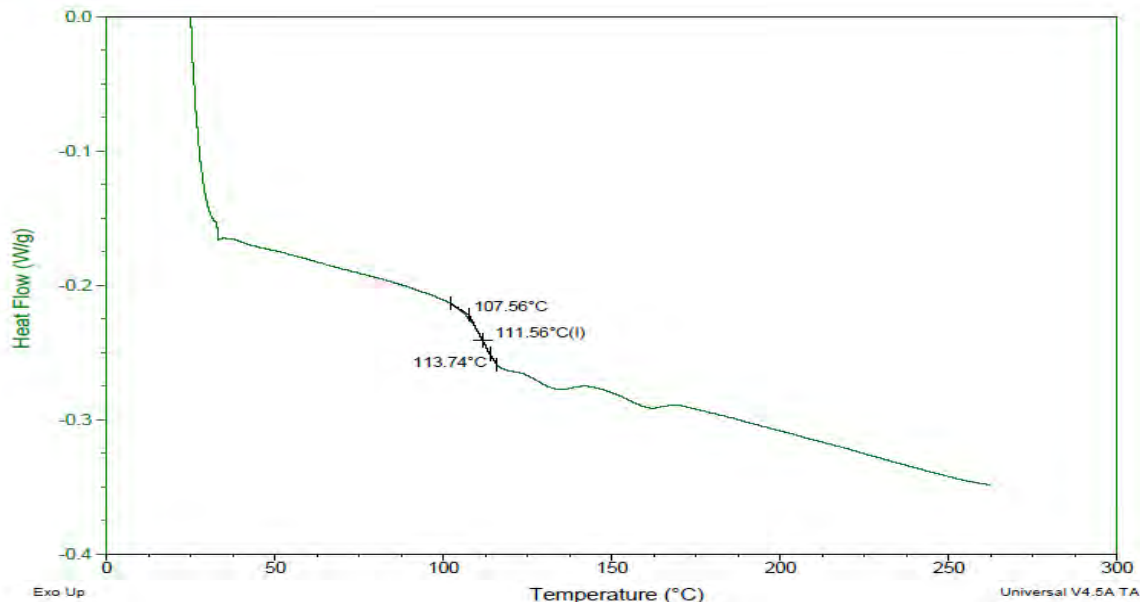


Figura 57. Termograma de la muestra 1% DA, en la que se muestra el valor de la  $T_g$  por DSC.

La tabla 13 muestra los valores de  $T_g$  para los nanocompuestos con  $ABS_{nat}$ . Se observa que las muestras 3% de MMT, 5% de MMT, 3% de MMT-Tetradecilamina, 5% de MMT-Tetradecilamina y 5% de MMT-Diaminodecano, tuvieron un gran incremento en la  $T_g$  al finalizar el ciclo hidrolítico de 30 días, se espera que sus propiedades mecánicas mejoren con respecto al  $ABS_{nat}$  sin arcilla, 3% y 5%. Esta mejora puede deberse a un buen intercalado.

Muestra	Ciclo hidrolítico	
	$T_g$ [°C] - 0 ciclos	$T_g$ [°C] - 30 ciclos
$ABS_{nat}$	107.50	108.70
3%	103.60	109.30
5%	103.50	109.50
3-T	103.30	106.20
5-T	97.0	108.30
3-DA	103.30	107.0
5-DA	99.30	107.30

Tabla 13. Valores de  $T_g$  para las muestras con  $ABS_{nat}$ , por la técnica DSC.

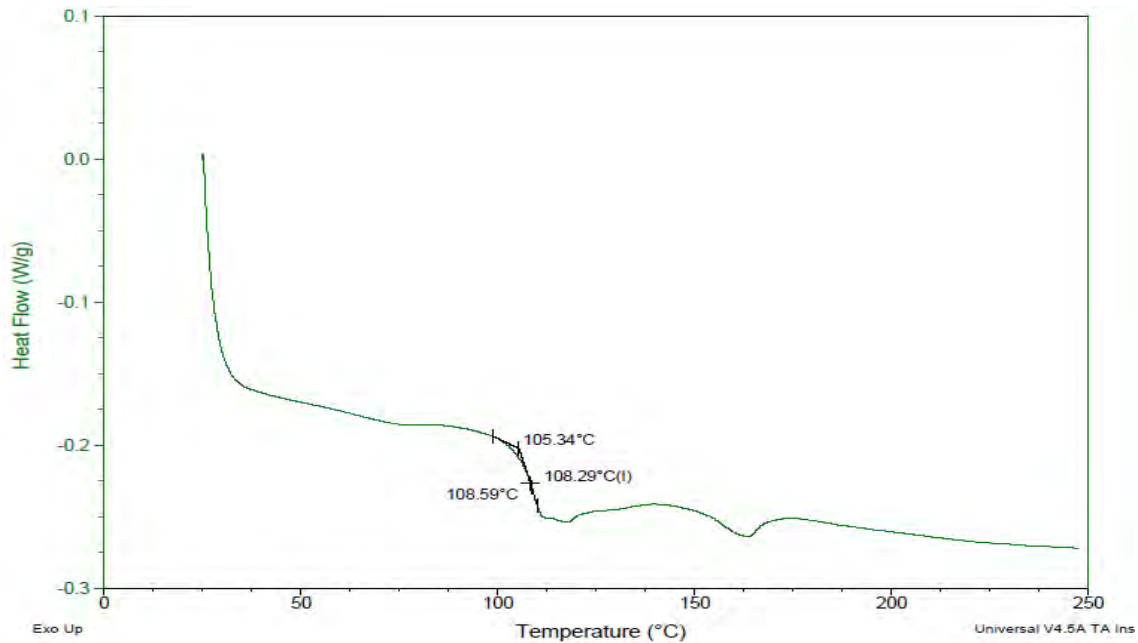


Figura 58. Termograma de la muestra 5% T, en la que se muestra el valor de la  $T_g$  por DSC.

Los resultados obtenidos de  $T_g$  después de 30 ciclos de hidrólisis, para ambos tipos de ABS, muestran que el material no se ve afectado significativamente en sus propiedades térmicas por el ataque hidrolítico, de acuerdo a las Tablas 12 y 13. Sin embargo, para las muestras 5% de MMT-D, 1% de MMT-T, 3% de MMT-T, 5% de MMT-T, 3% de MMT-DA y 5% MMT-DA con ABS<sub>rec</sub> y 3% de MMT, 5% de MMT, 3% de MMT-T, 5% de MMT-T y 5% de MMT-DA con ABS<sub>nat</sub>, sí sufrieron un cambio, aunque no tan significativo, ya que muestran un aumento de entre 5°C y 9°C.

### 3.3. Propiedades mecánicas

La caracterización mecánica se realizó mediante ensayos de tensión de los nanocompuestos de ABS<sub>nat</sub> y ABS<sub>rec</sub>, y de ABS<sub>nat</sub>, ABS<sub>rec</sub> sin MMT, antes y después del ciclo hidrolítico. Para este estudio se utilizaron probetas con las dimensiones de acuerdo a la norma ASTM D-638 (ANEXO C). Los ensayos de tracción se realizaron a temperatura ambiente y a una velocidad de separación de mordazas de 5mm/min.

Se utilizaron 5 probetas de cada nanocompuesto para realizar las pruebas de tensión, con este número de probetas se obtiene un promedio de cada

propiedad bajo estudio. Para este experimento se estudian las propiedades de tensión en la carga máxima, módulo de Young y la deformación en punto de rotura. Estas propiedades se obtienen mediante una gráfica esfuerzo en función de la deformación, esto permite calcular el módulo de Young o módulo elástico.

### 3.3.1. Propiedades mecánicas del ABS<sub>virgen</sub>, ABS<sub>rec</sub> blanco y de sus nanocompuestos con arcillas intercaladas

A continuación se muestra en la tabla 14 las propiedades mecánicas del ABS<sub>virgen</sub> y ABS<sub>rec</sub>, sin intercalante.

Muestra	Tensión carga máx. (MPa)	Módulo Young (MPa)	Deformación en punto rotura (%)
ABS <sub>virgen</sub>	44.163	1152.95	8.099
ABS <sub>rec</sub>	40.43	1135.06	24.609

Tabla 14. Propiedades mecánicas del ABS<sub>rec</sub> blanco y ABS<sub>virgen</sub>.

Estas propiedades mecánicas en tensión fueron usadas como testigos para saber si se mejoraron las propiedades mecánicas del ABS<sub>rec</sub>, con los diferentes tipos de intercalante a distintas concentraciones.

Se observa claramente, en la Tabla 14, que el ABS<sub>virgen</sub> tiene valores mayores para la tensión en la carga máxima de 8.45% y de 1.55% para el módulo de Young, para el caso de la deformación en el ABS<sub>virgen</sub>, este valor se encuentra muy por debajo del obtenido para el ABS<sub>rec</sub>: de 200%. Estos valores son coherentes debido a que el ABS<sub>rec</sub> al ser reprocesado, sufre una degradación. Pero también al ser reprocesado aumenta el porcentaje de deformación. Es decir, conforme se va estirando la probeta, ésta se deforma hasta su ruptura.

Se ha demostrado que a partir del tercer reciclado, éste incremento de la deformación aumenta linealmente hasta los 7 ciclos, por lo que la degradación térmica tiene un límite y se debe principalmente a la baja difusión del oxígeno en el material.<sup>27</sup>

La Tabla 16 muestra las propiedades de los nanocompuestos a cero ciclos hidrolíticos, con ABS<sub>rec</sub> y ABS<sub>rec</sub> con intercalante, ambos con arcilla, a las concentraciones de 1, 3 y 5%.

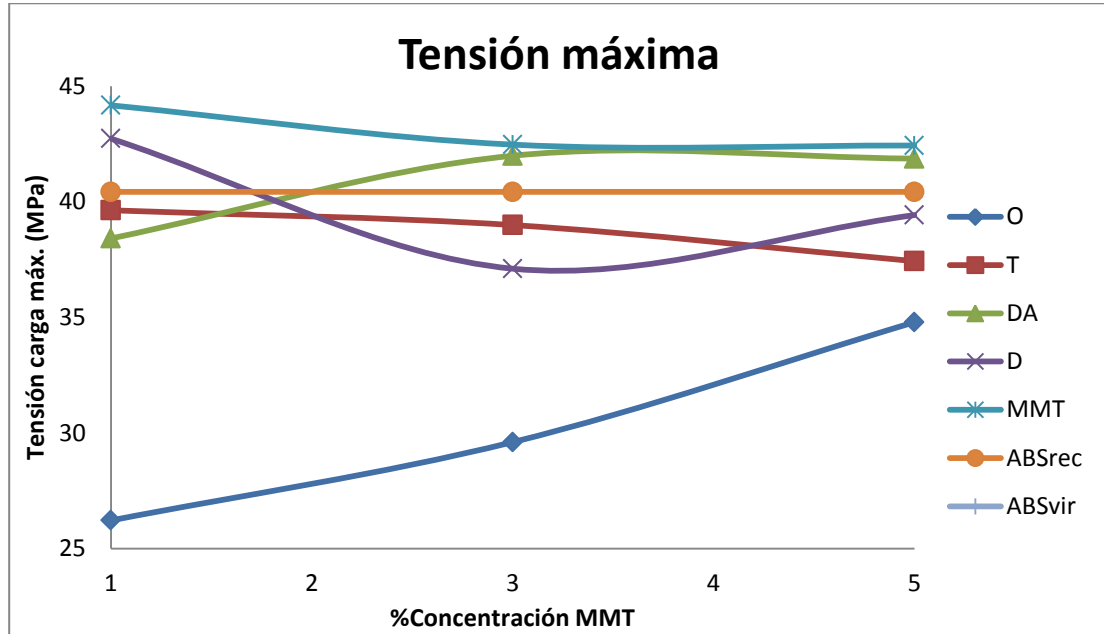
Muestra	Tensión carga máx. (MPa)	Módulo Young (MPa)	Deformación a la ruptura (%)
ABS <sub>virgen</sub>	44.2	1153.0	8.1
ABS <sub>rec</sub>	40.4	1135.1	24.6
1% MMT	44.2	1273.5	26.9
3% MMT	42.5	1268.0	20.2
5% MMT	42.4	1281.3	10.1
1% O	26.2	958.3	6.8
3% O	29.6	995.8	5.2
5% O	34.8	1078.0	10.5
1% T	39.6	1054.1	30.2
3% T	39.0	1099.3	32.9
5% T	37.4	1085.6	21.2
1% DA	38.4	1030.3	9.3
3% DA	42.0	1260.6	9.5
5% DA	42.0	1255.5	8.1
1% D	42.7	1248.1	21.0
3% D	37.1	1241.5	13.4
5% D	39.4	1286.4	15.9

Tabla 15. Propiedades de los nanocompuestos con ABS<sub>rec</sub> blanco a cero ciclos de hidrólisis.

Estos datos iniciales revelan que a cero ciclos hidrolíticos, no se observa una mejoría notable en los nanocompuestos con aminas, con respecto al ABS<sub>rec</sub> con montmorillonita sin intercalante, para las tres propiedades bajo estudio. Sin embargo, los resultados que también se tomarán en cuenta, serán los que se obtengan después de los ciclos hidrolíticos, principalmente para comparar si, efectivamente, al tener un intercalante modificado en el interior de la matriz polimérica, se mejora la resistencia a la degradación por hidrólisis, que aquellas que no lo poseen.

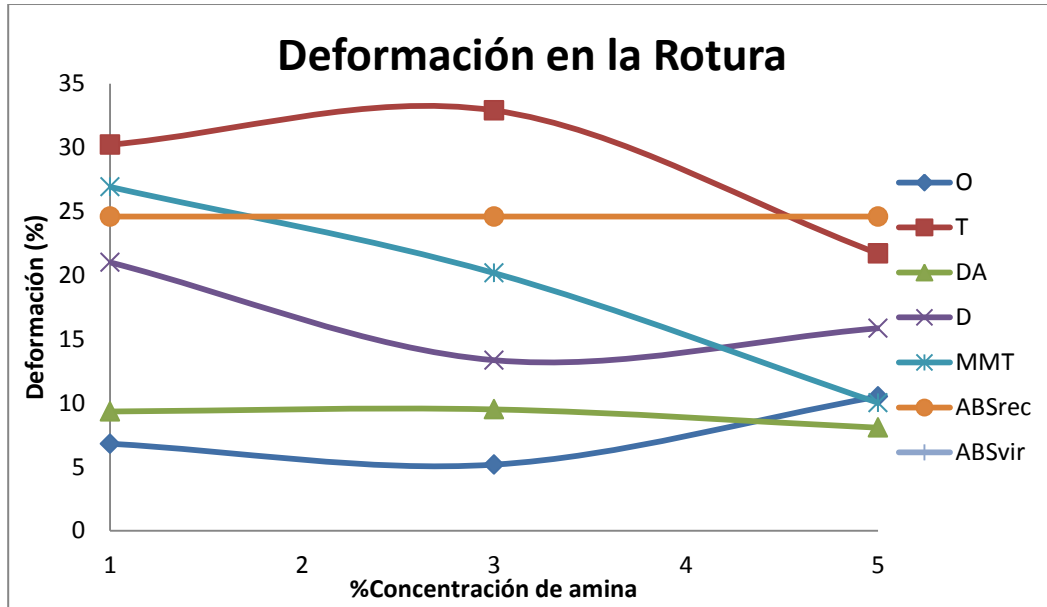
Los valores de la tensión vs la concentración del intercalante se muestran en la Gráfica 1. Se observa que el valor más grande es para el ABS<sub>virgen</sub>, esto es debido principalmente a que no ha sufrido ningún tipo de degradación. El punto de comparación se hará con el ABS<sub>rec</sub> sin intercalante. Los nanocompuestos que presentaron propiedades mecánicas que se encuentran por encima de las del

ABS<sub>rec</sub> son: ABS<sub>rec</sub> con 1, 3 y 5% MMT, ABS<sub>rec</sub> con 3 y 5% MMT-DA y ABS<sub>rec</sub> con 1% MMT-D. Los demás nanocompuestos no lograron superar los valores del ABS<sub>rec</sub>.



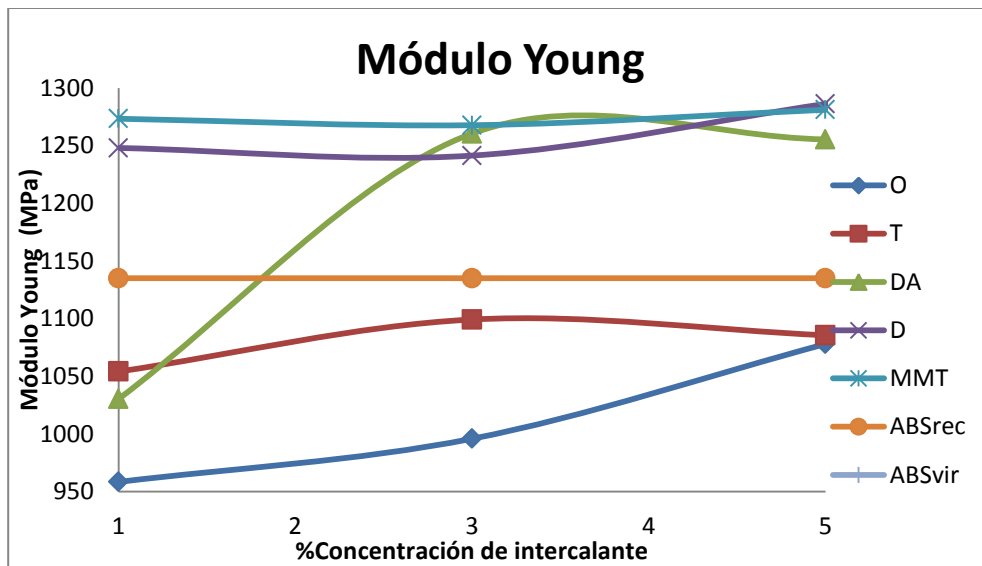
Gráfica 1. Tensión máxima vs concentración para el ABS virgen, ABS<sub>rec</sub> y los nanocompuestos poliméricos con ABSrec con intercalante y ABS<sub>rec</sub> sin intercalante.

Los valores de la deformación vs la concentración del intercalante se muestran en la Gráfica 2, del ABS<sub>vir</sub>, el ABS<sub>rec</sub> y los nanocompuestos tanto con intercalante como sin intercalante. Se puede observar que la deformación a la ruptura del ABS virgen está muy por debajo de varios nanocompuestos y del ABS<sub>rec</sub>. Los únicos nanocompuestos que lograron superar los valores para el ABS<sub>rec</sub> son: ABS<sub>rec</sub> con 1 y 3% MMT-T y ABS<sub>rec</sub> con 1% MMT. De acuerdo a los resultados que se presentan en la gráfica 2; el mayor porcentaje de deformación se obtuvo con 3% MMT-T, lo cual indica que el material es menos frágil.



Gráfica 2. Deformación vs concentración de intercalante del ABS<sub>virgen</sub>, ABS<sub>rec</sub> sin intercalante y de los nanocompuestos con intercalante.

Los valores del módulo de Young vs la concentración del intercalante se muestran en la Gráfica 3. Se puede observar que a pesar que el ABS<sub>vir</sub> tiene un valor mayor para el reciclado, no es significativo. Los nanocompuestos que tienen valores mayores de Modulo de Young con respecto al ABS<sub>rec</sub> son: ABS<sub>rec</sub> con 1, 3 y 5% MMT, ABS<sub>rec</sub> con 3 y 5% MMT-DA y ABS<sub>rec</sub> con 1,3 y 5% MMT-D.



Gráfica 3. Módulo de Young contra concentración de intercalante del ABS<sub>vir</sub>, ABS<sub>rec</sub> sin intercalante y de los nanocompuestos con ABS<sub>rec</sub> con intercalante.

La Tabla 17 muestra los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas del ciclo hidrolítico.

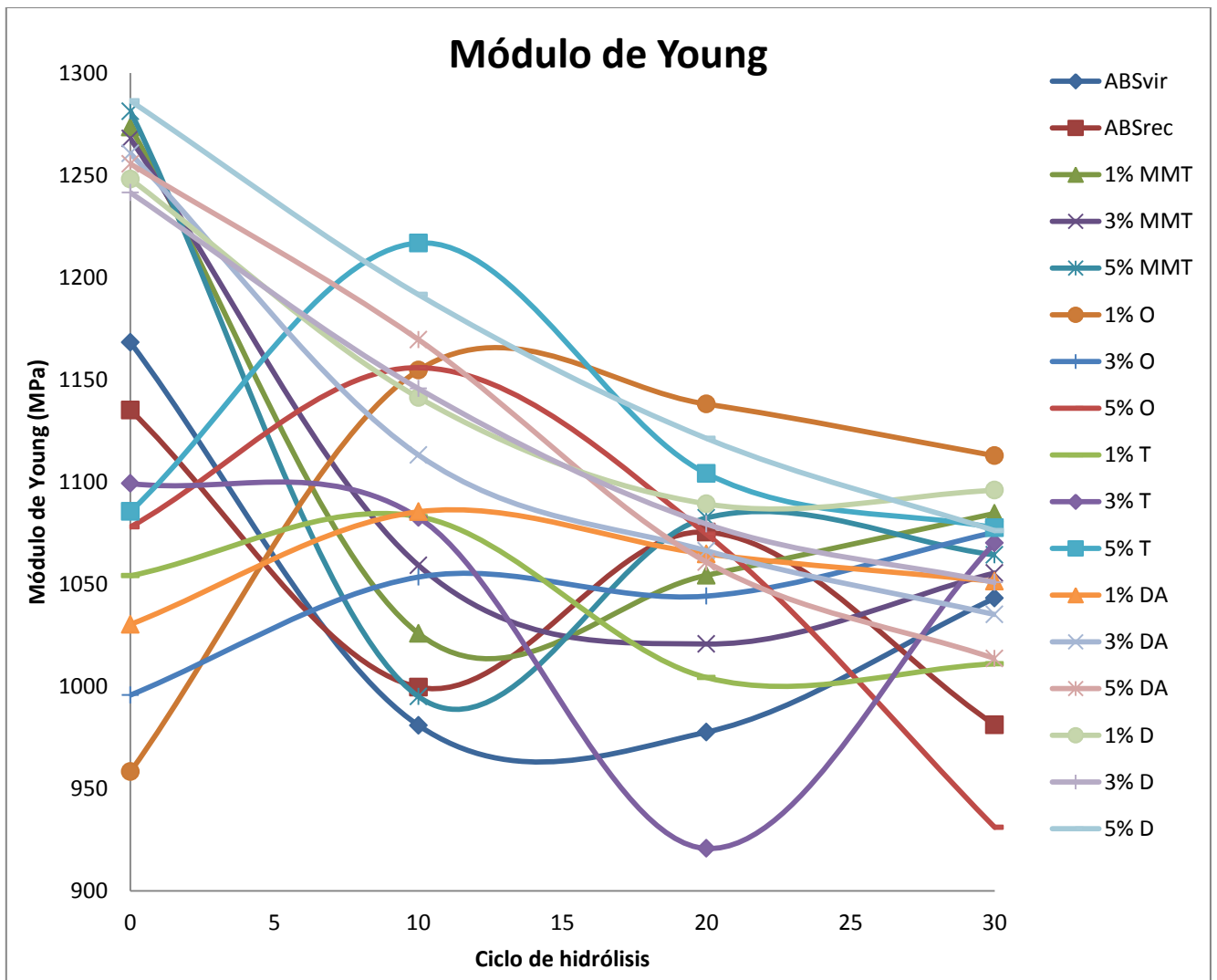
Muestra	Tensión carga máx. (MPa)	Módulo Young (MPa)	Deform. en la rotura (%)	Tensión carga máx. (MPa)	Módulo Young (MPa)	Deform. en la rotura (%)	Tensión carga máx. (MPa)	Módulo Young (MPa)	Deform. en la rotura (%)
GP22	33.0	1045.4	8.8	34.9	1090.5	10.3	34.9	1043.1	12.2
ABS <sub>rec</sub>	38.2	999.6	31.5	36.4	1075.4	28.1	34.8	981.2	28.5
1% MMT	37.1	1026	20	36.8	1054.3	24.4	35.4	1084.6	27.9
3% MMT	39.4	1059.2	31.6	35.3	1020.7	24.0	34.2	1055.4	26.0
5% MMT	37.4	995.0	17	34.4	1082.4	15.0	34.3	1064.3	18.7
1% O	29.2	1154.6	4.8	26.5	1138.2	6.8	30.4	1112.8	6.0
3% O	27.5	1053.5	5.2	28.5	1044.2	7.0	29.0	1075.4	5.6
5% O	32.2	1156.0	7.1	29.6	1074.4	14.0	27.8	990.0	10.4
1% T	36.7	1083.0	29.4	35.4	1004.3	30.2	37.0	1011.1	31
3% T	35.0	1082.5	30.0	34.1	920.7	27.3	34.3	1070.1	29.8
5% T	33.8	1216.8	28.0	32.0	1104.1	27.8	31.6	1077.5	20.0
1% DA	35.7	1085.4	11.0	34.4	1064.8	10.0	34.1	1051.4	11.1
3% DA	35.1	1113.1	15.0	37.0	1066.3	18.4	36.0	1035.2	17.7
5% DA	37.2	1169.6	11.3	35.5	1060.8	12.6	34.7	1013.6	12.7
1% D	37.3	1141.3	23.7	36.1	1089.2	22.9	35.6	1096.0	18.2
3% D	33.8	1145.6	18.2	32.0	1079.4	19.1	32.5	1051.0	17.3
5% D	33.9	1191.6	15.0	33.1	1121.3	19.4	33.2	1076.2	18.5

Tabla 16. Resultados obtenidos de las propiedades mecánicas del ciclo hidrolítico de los nanocompuestos modificados con arcilla.

A continuación se presentan las gráficas de cada propiedad durante el ciclo hidrolítico, esto para su mejor análisis.

La Gráfica 4 muestra el módulo de Young vs ciclo hidrolítico. Los nanocompuestos con mejor desempeño serán aquellos que estén por encima de la curva del ABS<sub>rec</sub> sin intercalante, el cual corresponde a la curva de color rojo oscuro con un cuadrado.



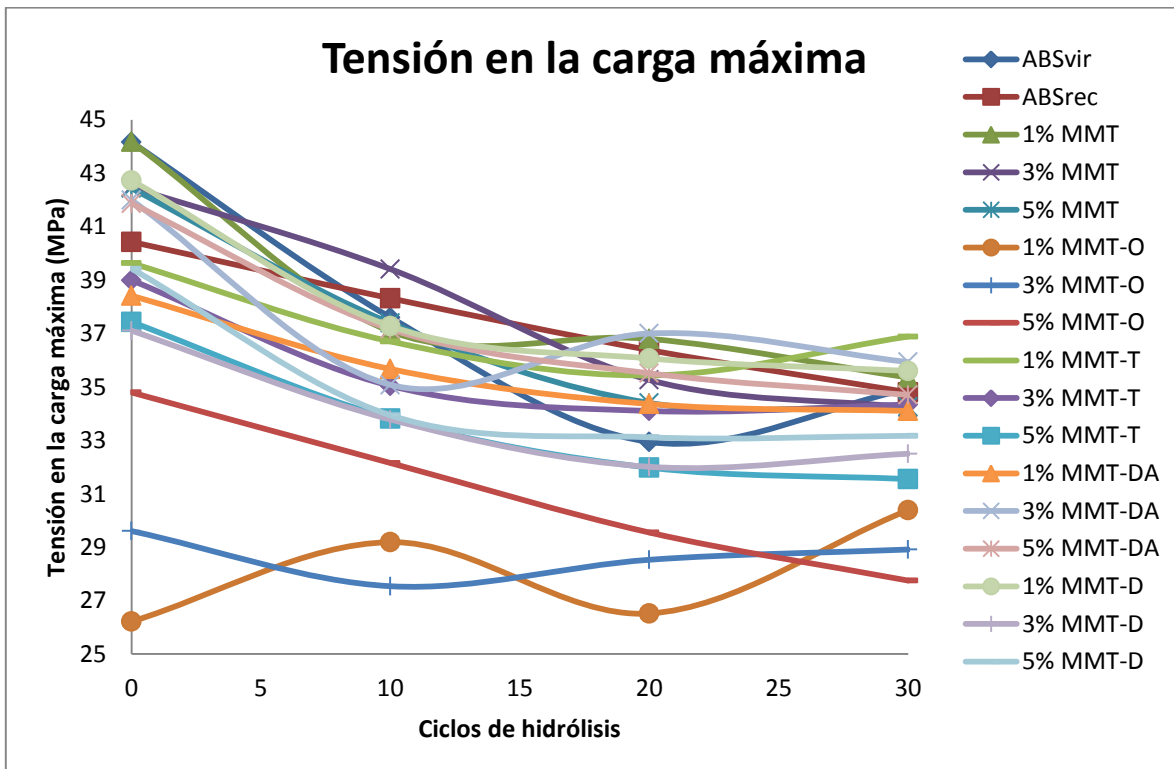


Gráfica 4. Módulo de Young vs ciclo hidrolítico de los nanocompuestos de ABS<sub>rec</sub> con intercalante.

Para diez ciclos, los nanocompuestos que destacaron en propiedades mecánicas con respecto al ABS<sub>rec</sub>, en forma creciente, son: 1% MMT ABS<sub>rec</sub>, 3% MMT-O, 3% MMT con ABS<sub>rec</sub>, 3% de MMT-T, 1% de MMT-DA, 1% de MMT-T, 3% de MMT-DA, 3% de MMT-D, 1% de MMT-D, 1% de MMT-O, 5% de MMT-O, 5% de MMT-DA, 5% de MMT-D y 5% de MMT-T.

Se observa que los mejores resultados, para 10 ciclos, se obtuvieron a una concentración de 5% de MMT-DA, MMT-D y MMT-T.

El siguiente análisis se hará para 30 ciclos hidrolíticos, que son los valores que más importan, para este estudio. Los valores que se encuentran por encima del  $ABS_{rec}$ , en forma creciente, son: 1% de MMT-T, 5% de MMT-DA, 3% de MMT-DA,  $ABS_{virgen}$ , 1% de MMT-DA, 3% de MMT-D, 3% de MMT, 5% de MMT, 3% de MMT-T, 3% de MMT-O, 5% de MMT-D, 5% de MMT-T, 1% de MMT con  $ABS_{rec}$ , 1% de MMT-D y 1% de MMT-O.



Gráfica 5. Tensión en la carga máxima vs ciclo de hidrólisis del  $ABS_{virgen}$ ,  $ABS_{rec}$  y de los nanocompuestos con intercalante modificado.

La Gráfica 5 muestra la tensión en la carga máxima vs ciclos hidrolíticos. Los nanocompuestos con mejor desempeño serán aquellos que estén por encima de la curva del  $ABS_{rec}$ , el cual corresponde a la curva de color rojo oscuro con un cuadrado.

El mejor valor que se obtuvo de tensión para 10 ciclos fue el de 3% de MMT. Los resultados para los demás nanocompuestos se encuentran por debajo del  $ABS_{rec}$ .

Los mejores valores que se obtuvieron de tensión para 20 ciclos, en orden creciente, son: 1% de MMT y 3% de MMT-DA.

Para 30 ciclos los mejores valores de tensión, en orden creciente son: 1% de MMT, 1% de MMT-D, 3% de MMT-DA y 1% de MMT-T.

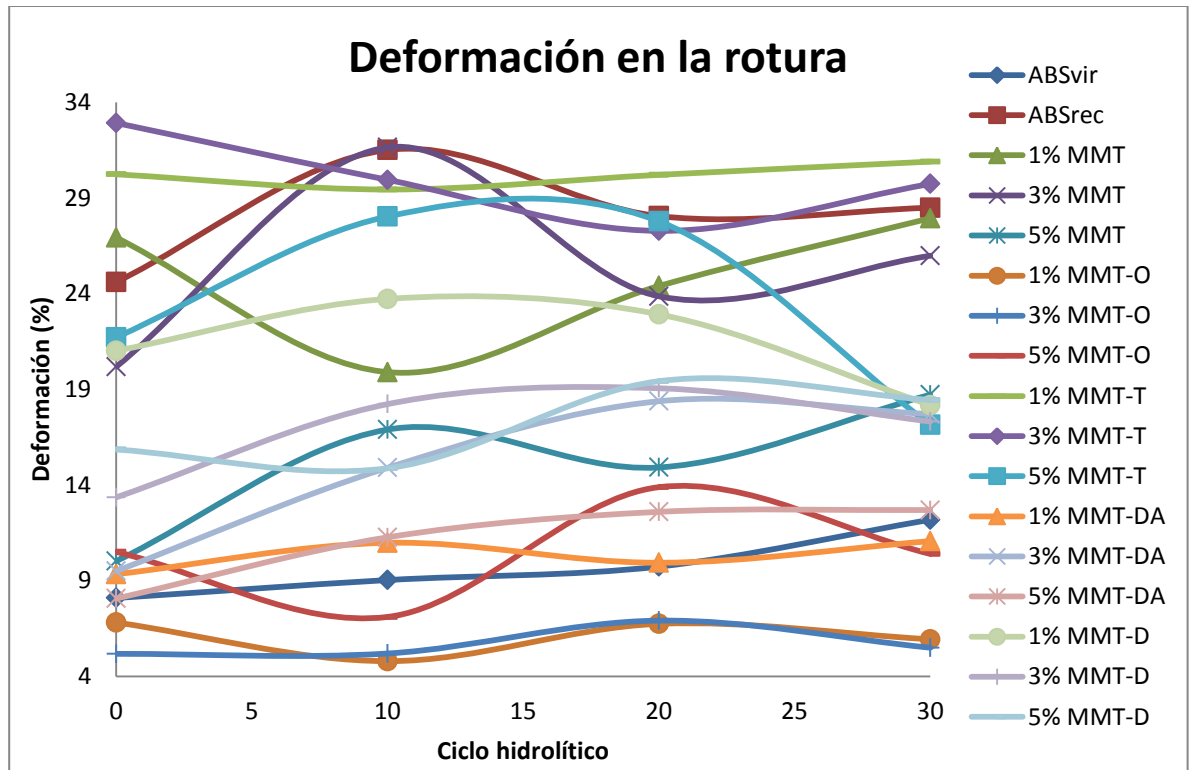
En la Gráfica 5 se puede observar que mientras el  $ABS_{rec}$  tiene una pendiente negativa, es decir, conforme se van aumentando los ciclos hidrolíticos sus valores de tensión van decreciendo linealmente, los valores de tensión para los nanocompuestos van aumentando, es decir, su resistencia a la hidrólisis no decrece, es por eso que a 30 ciclos, más nanocompuestos sobrepasaron el valor para el  $ABS_{rec}$ .

La Gráfica 6 muestra deformación a la ruptura vs ciclos hidrolíticos. Los nanocompuestos con mejor desempeño serán aquellos que estén por encima de la curva del  $ABS_{rec}$  sin intercalante, el cual corresponde a la curva de color rojo oscuro con un cuadrado.

El mejor valor de deformación a la ruptura a 10 ciclos hidrolíticos es para 3% de MMT. Sin embargo, los valores que se encuentran cercanos y por debajo del  $ABS_{rec}$  son: 3% de MMT-T y 1% de MMT-T.

El mejor valor de deformación a la ruptura para 20 ciclos hidrolíticos corresponde al ABS con 1% de MMT-T. Se puede observar que también hay dos nanocompuestos con valores muy cercanos al  $ABS_{rec}$ , que son: 3% y 5% de MMT-T.

Por último, los mejores valores de deformación para 30 ciclos hidrolíticos son: 1 y 3% de MMT-T. Esto significa que las mejores nanocompuestos, al finalizar el ciclo hidrolítico, se obtienen a bajas concentraciones de montmorillonita con intercalante.



Gráfica 6. Deformación a la ruptura.

### 3.3.2. Propiedades mecánicas de los nanocompuestos con $ABS_{nat}$

Para este estudio con  $ABS_{nat}$ , se trabajó a 0, 20 y 30 ciclos hidrolíticos. A continuación se muestran, en la Tabla 18, las propiedades mecánicas de las muestras con  $ABS_{virgen}$  y  $ABS_{nat}$  sin arcilla.

Muestra	Tensión carga máx. (MPa)	Módulo Young (MPa)	Deform. en la rotura (%)
$ABS_{nat}$	46.3	1131.2	10.7
$ABS_{vir}$	44.2	1143.0	8.1

Tabla 17. Propiedades mecánicas del  $ABS_{vir}$  y del  $ABS_{nat}$  sin intercalante.

En la Tabla 19 se puede observar claramente que, aunque el  $ABS_{virgen}$  posee valores mayores para tensión y módulo de Young, no están muy lejanos de los valores para el  $ABS_{nat}$ .

A continuación se muestran, en la Tabla 18, los valores obtenidos de las propiedades mecánicas de los nanocompuestos a cero ciclos hidrolíticos.

Muestra	Tensión carga máx. (MPa)	Módulo Young (MPa)	Deform. en punto rotura (%)
ABSvirgen	44.2	1143.0	8.1
ABSnatural	46.3	1131.2	10.7
3%ABSnat	36.4	1056.4	6.2
5%ABSnat	44.5	1114.3	9.6
3%T	39.0	1099.2	33.0
5%T	37.4	1085.5	21.7
3%DA	42.0	1260.6	9.5
5%DA	42.0	1255.5	8.1

Tabla 18. Propiedades mecánicas del ABS<sub>virgen</sub>, ABS<sub>nat</sub> y de los nanocompuestos con ABS<sub>nat</sub> con intercalante

Para la carga máxima en tensión, en la gráfica 6, se observa que todos los nanocompuestos están por debajo del ABS<sub>nat</sub> sin intercalante. Sin embargo, los nanocompuestos con valores muy cercanos a éste, en orden creciente, son: 5% de MMT, 3 y 5% de MMT-DA.

Los mejores valores que se obtuvieron para el módulo de Young, con respecto al ABS<sub>nat</sub> sin intercalante, en orden creciente, son: 3% de MMT-DA y 5% de MMT-DA, es decir, hubo una mejora de 10.27% y 9.90% respectivamente.

Con respecto a la deformación, los mejores valores que se obtuvieron para los nanocompuestos, en orden creciente son: 5% de MMT-T y 3% de MMT-T. Hubo una mejora de 50.73% y 67.50% respectivamente.

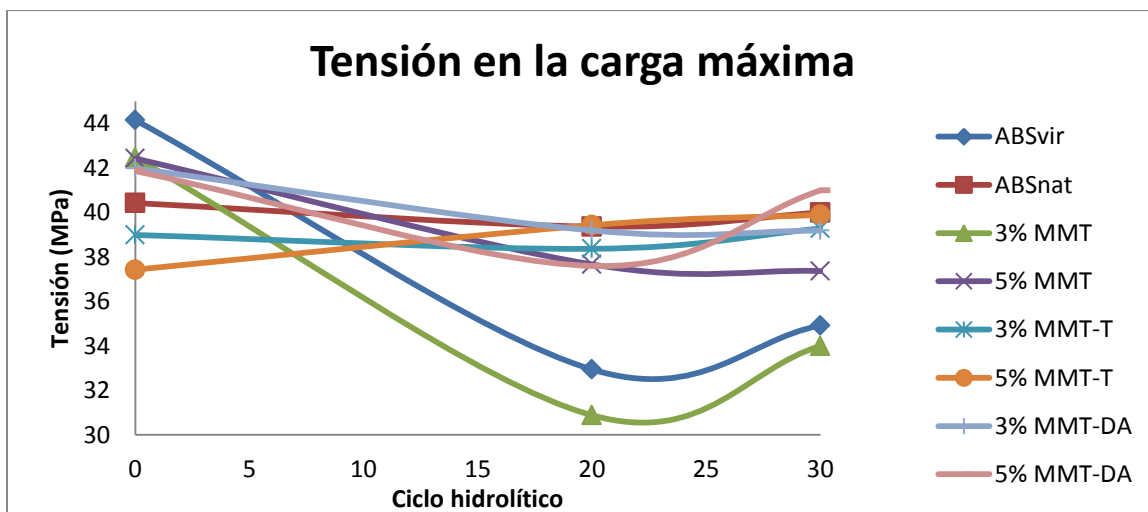
La Tabla 19 muestra los resultados de las propiedades mecánicas para los ABS a 20 y 30 ciclos de hidrólisis.

Muestra	20 ciclos			30 ciclos		
	Tensión carga máx. (MPa)	Módulo Young (MPa)	Deform. En la rotura (%)	Tensión carga máx. (MPa)	Módulo Young (MPa)	Deform. En la rotura (%)
GP22	32.9	1045.37	8.77	34.92	1090.50	10.286
ABS <sub>nat</sub>	39.37	1110.0	8.51	40.40	1042.14	6.90
3% MMT	35.24	1054.34	8.16	34.42	1076.10	7.30
5% MMT	37.67	1161.04	7.32	37.38	1155.09	8.02
3% T	38.37	1243.02	5.50	39.28	1235.29	5.86
5% T	39.44	1275.67	8.07	39.90	1240.05	8.61
3% DA	39.20	1162.16	10.21	38.80	1139.75	7.20
5% DA	37.60	1138.23	7.76	40.52	1192.61	8.00

Tabla 19. Propiedades mecánicas del ABS<sub>virgen</sub>, ABS<sub>nat</sub> y de los nanocompuestos de ABS<sub>nat</sub> con intercalante.

Para un mejor análisis de los resultados, de los nanocompuestos con ABS<sub>nat</sub> con intercalante, se graficará cada propiedad mecánica contra los ciclos de hidrólisis, como se muestra a continuación.

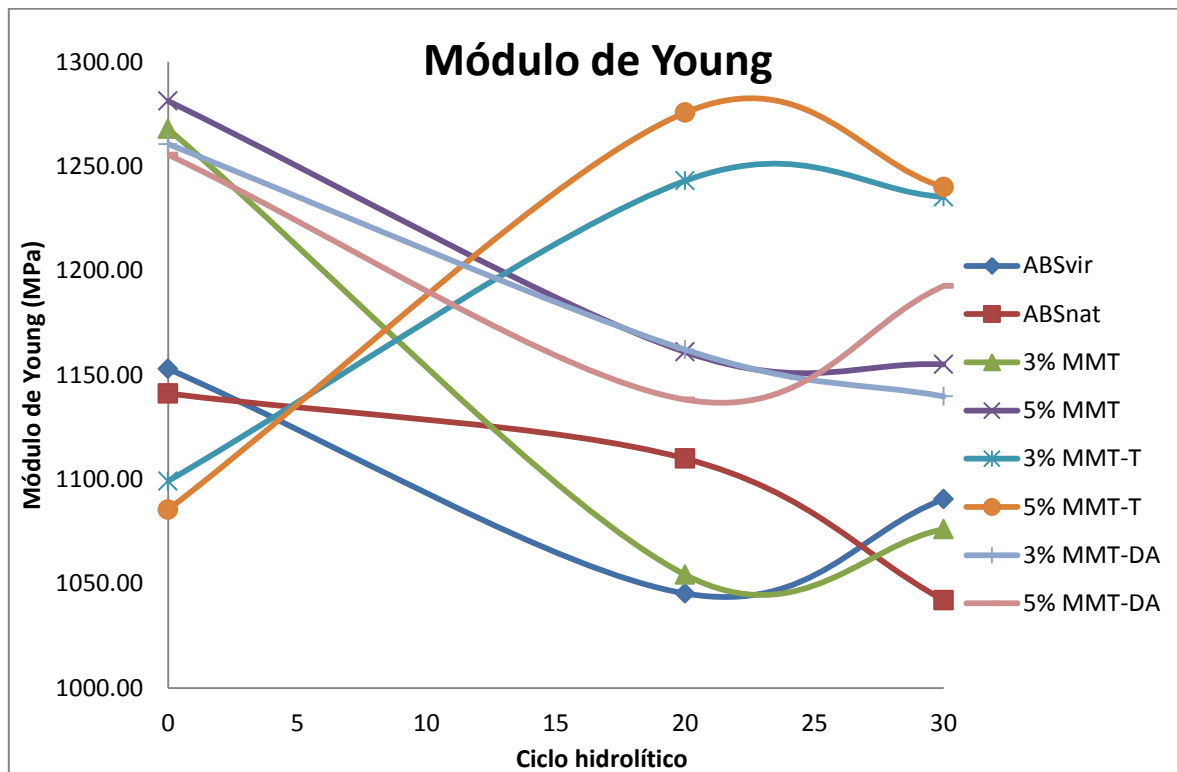
La Gráfica 7 muestra la tensión en la carga máxima contra el ciclo hidrolítico. Los mejores resultados de los nanocompuestos serán aquellos que se encuentren por encima del ABS<sub>nat</sub> sin arcilla, el cual se muestra en la gráfica con la línea roja con el marcador en forma de cuadro.



Gráfica 7. Gráfica de la tensión contra el ciclo de hidrólisis del ABS<sub>nat</sub> y los nanocompuestos con ABS<sub>nat</sub> e intercalante.

Los resultados que se obtuvieron de los nanocompuestos, para 20 ciclos hidrolíticos, las propiedades se mantuvieron en sus valores originales, mientras que el valor del  $ABS_{virgen}$  decayó un 25%. El mejor resultado para 30 ciclos hidrolíticos corresponde a 5% de MMT-DA, 2.84% de mejora.

La Gráfica 8 corresponde al módulo de Young contra el ciclo hidrolítico. Los mejores valores de los nanocompuestos serán aquellos que se encuentren por encima de la curva del  $ABS_{nat}$ .

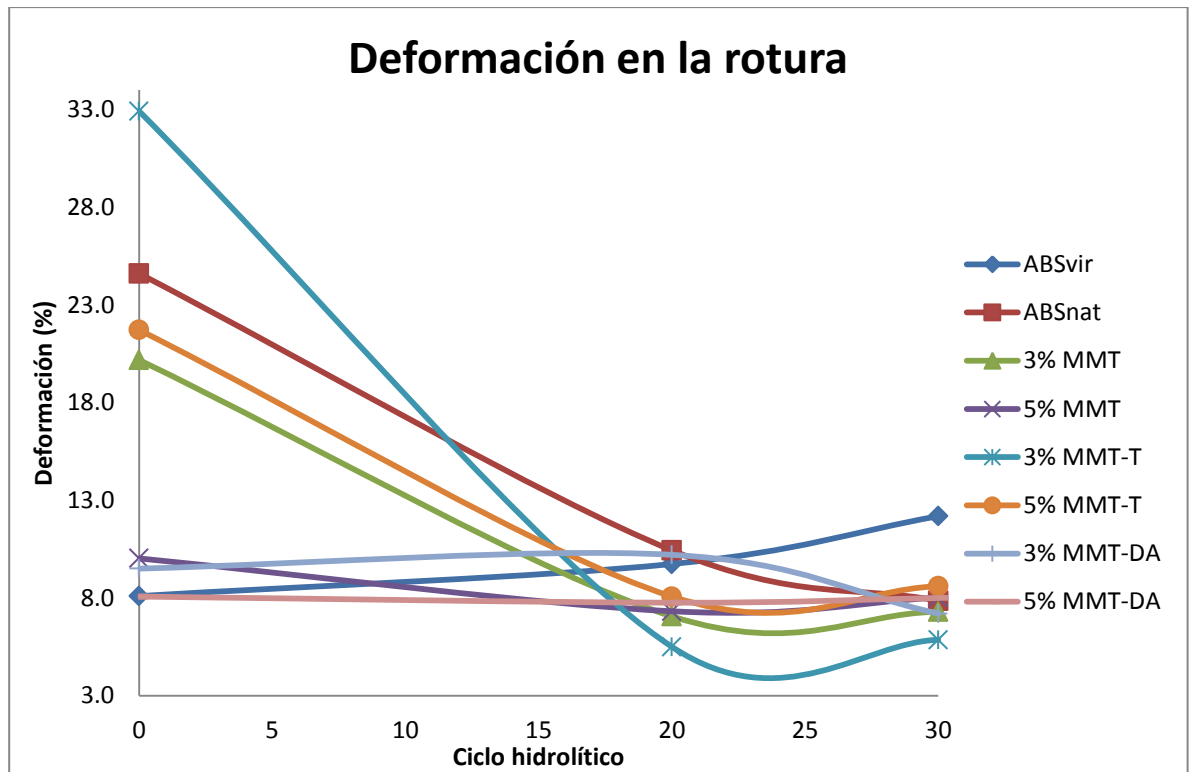


Gráfica 8. Módulo de Young vs ciclo hidrolítico del  $ABS_{virgen}$ ,  $ABS_{nat}$  y de los nanocompuestos con ABS e intercalante.

Los nanocompuestos que sobrepasaron al valor obtenido por el  $ABS_{nat}$  para 20 ciclos, en orden creciente, son: 5% de MMT-DA, 5% de MMT, 3% de MMT-DA, 3% de MMT-T y 5% de MMT-T. Los valores más altos corresponden a las arcillas con tetradecilamina, las cuales mejoraron un 10.70% para 3% de MMT-T y 13% para 5% de MMT-T.

Para 30 ciclos hidrolíticos, todos los nanocompuestos rebasaron el valor para el módulo elástico del  $ABS_{nat}$ , en orden creciente con respecto al  $ABS_{nat}$  son: 3% de MMT,  $ABS_{vir}$ , 3% de MMT-DA, 5% de MMT, 5% de MMT-DA, 3% de MMT-T y 5% de MMT-T. Nuevamente, los valores más altos corresponden a los nanocompuestos con tetradecilamina, donde hubo una mejora de 19.04% para 3% de MMT-T y 19.23% para 5% de MMT-T.

La Gráfica 9 corresponde a la deformación vs ciclo hidrolítico. Los mejores valores de los nanocompuestos serán aquellos que se encuentren por encima de la curva del  $ABS_{nat}$ .



Gráfica 9. Deformación a la ruptura vs ciclo de hidrólisis del  $ABS_{virgen}$ ,  $ABS_{nat}$  y nanocompuestos con  $ABS_{nat}$  e intercalante.

A 20 ciclos hidrolíticos, se observa que el valor de deformación a la ruptura decayó significativamente para todos los materiales. Los nanocompuestos que tuvieron un valor cercano al  $ABS_{nat}$  son: 3% de MMT-DA y 5% de MMT-T.



En el caso de 30 ciclos hidrolíticos, la deformación decreció ligeramente, respecto a los nanocompuestos con 20 ciclos de hidrólisis, para todos los nanocompuestos.

### **3.4. Microscopía electrónica**

#### **3.4.1. Microscopía electrónica de transmisión**

Hoy en día, la microscopía electrónica de transmisión es una de las técnicas más importantes para caracterización de los nanocompuestos, porque permite conocer el grado de dispersión de las estructuras nanométricas en la matriz, así como para saber si realmente se obtuvo un nanocompuesto.

Debido a que la preparación de las muestras para esta técnica es muy tardada y laboriosa, el estudio se redujo solamente a dos muestras.

Las muestras estudiadas fueron 5% MMT-T con ABS<sub>nat</sub> y 3% MMT-DA con ABS<sub>rec</sub> blanco, debido a que fueron las que tuvieron mejores propiedades mecánicas. En la Figura 59 se observa que en la muestra con 5% de MMT-T, la arcilla se encuentra exfoliada e intercalada, debido a que las cadenas del polímero se insertaron en las galerías de la arcilla. El resultado es una estructura multicapa, constituida por láminas de polímero y de arcilla, colocadas de forma alterna. La arcilla se puede ver en la figura como pequeñas líneas blancas (círculo azul) en diferentes posiciones; en ésta imagen no se observan cúmulos de arcilla por lo que probablemente se intercaló en la matriz polimérica, sin embargo no se descarta la existencia de los cúmulos, ya que estos pueden estar presentes en el material y sólo una porción es la que se intercaló y es la que se observa. Además, se observan dos tipos de contraste, uno gris opaco que pertenece al polímero (recuadro rojo) y uno oscuro que es parte del material donde se encuentra la muestra (triángulo amarillo), y que el haz de electrones no tiene la energía necesaria para atravesarla y por lo tanto son absorbidos en su mayoría.

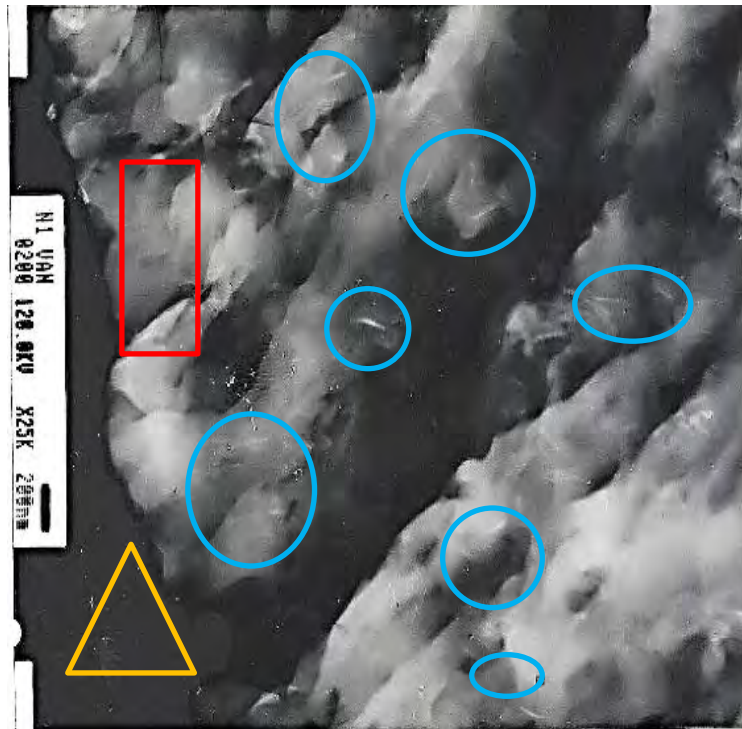


Figura 59. Imagen de la muestra 5% MMT-T con ABS<sub>nat</sub> obtenida por microscopía electrónica de transmisión, a una magnificación de 200nm.

La Figura 60, corresponde a la muestra de ABS<sub>nat</sub> con 5% de MMT-T. Se observan dos tipos de dispersión: una se muestra en color azul, donde la arcilla está intercalada, y, en color rojo, la arcilla está exfoliada. La estructura intercalada se formó debido a que una pequeña cantidad de las cadenas del polímero se insertaron en las galerías de la arcilla. La intercalación sólo conduce a una separación discreta de las láminas de la arcilla, que resulta en una apertura de la estructura cristalina.



Figura 60. Imagen de la muestra 5% MMT-T con ABS<sub>nat</sub> obtenida por microscopía electrónica de transmisión, a una magnificación de 50Kx.

La Figura 61 corresponde a la muestra de ABS<sub>rec</sub> con 3% de MMT-DA. Se observa que la arcilla se encuentra tanto intercalada (color azul), como exfoliada (color rojo). Se puede observar también en la parte central (flecha amarilla), que las laminillas se encuentran superpuestas y torcidas, es decir, se encuentran en forma de cúmulos llamados tactoides, las cuales no se lograron dispersar.

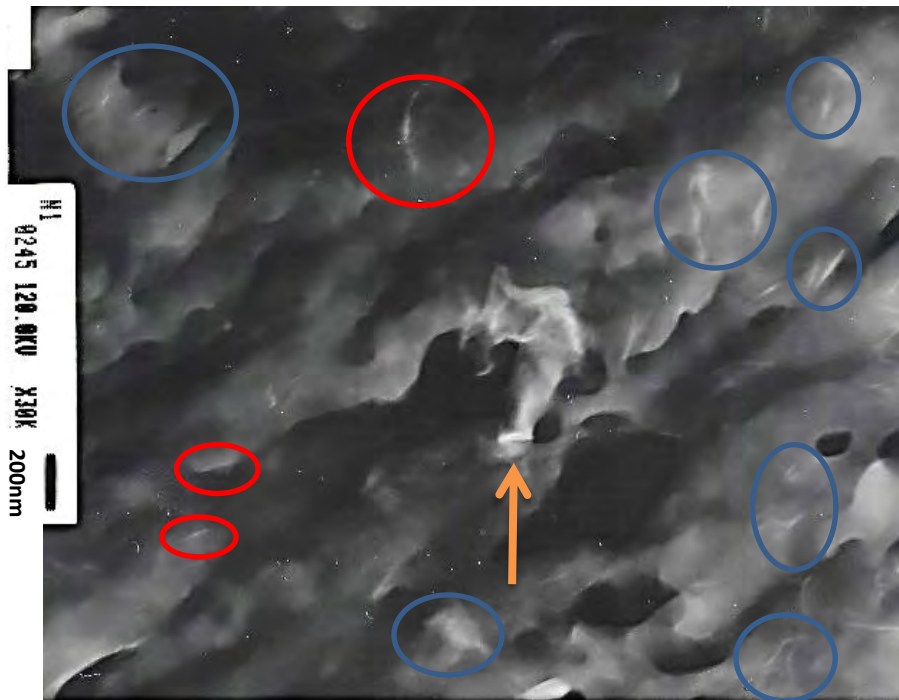


Figura 61. Imagen de la muestra 3% MMT-DA con  $ABS_{rec}$  obtenida por microscopía electrónica de transmisión, a una magnificación de 30Kx.

La caracterización por microscopía de transmisión de las muestras 5% MMT-T y 3% MMT-DA, resultó ser muy importante, ya que demostró que existen estructuras que corresponden a las arcillas modificadas con aminas exfoliadas e intercaladas. Esto confirma lo observado en rayos X: entre mejor sea la dispersión de las arcillas dentro de la matriz polimérica, es mayor la compatibilidad de las fases e incrementa las posibilidades de que el nanocompuesto presente mejores propiedades mecánicas.

De las tres estructuras que se pueden obtener, la exfoliada es la de mayor interés práctico. En un nanocompuesto exfoliado, la completa dispersión de las láminas de la arcilla en el polímero optimiza el número de elementos de refuerzo capaces de soportar tensiones y evita la formación de grietas. La completa exfoliación, desde el fundido no resulta fácil de lograr y, salvo algunas excepciones, la mayoría de los nanocompuestos reportados en la literatura presentaron estructuras aglomeradas, intercaladas y exfoliadas o mixtas (intercaladas y exfoliadas).

### 3.4.2. Microscopía Electrónica de Barrido

El estudio con el microscopio electrónico de barrido fue realizado para dos nanocompuestos que presentaron las mejores propiedades mecánicas, los cuales fueron 5% de MMT y 5% de MMT-T y para el ABS<sub>rec</sub>. Para esta técnica se cortan pequeños pedazos, de las muestras previamente fracturadas durante la prueba de tensión, de aproximadamente medio centímetro. Se realizaron dos tipos de corte para analizar en el microscopio la superficie original y la nueva superficie generada durante la ruptura, para observar la superficie del material se recubren las muestras con átomos de oro, por una técnica llamada erosión catódica. Es importante observar ambas superficies debido a que el ataque hidrolítico no es el mismo en ambos casos, aunque ambos resultan afectados.

A continuación se presentan los resultados, la primera línea de imágenes corresponderá a las muestras sin hidrólisis, mientras que la segunda, serán aquellas con hidrólisis. Las siguientes imágenes corresponden al ABS<sub>rec</sub> en la superficie de ruptura.

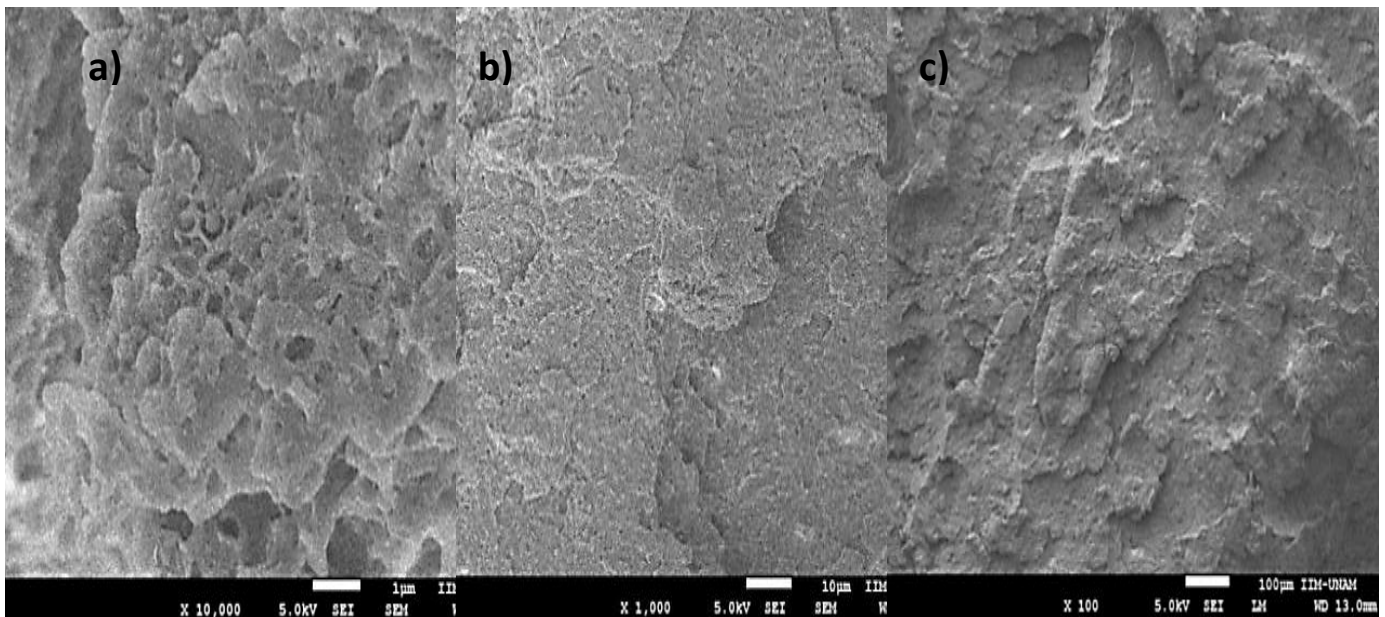


Figura 62 A. Imágenes obtenidas del MEB para el ABS<sub>rec</sub> en la superficie de ruptura. Sin hidrólisis (a) 10,000 x. (b) 1,000x. (c) 100x. Con hidrólisis (d) 10,000 x. (e) 1,000x. (f) 100x.

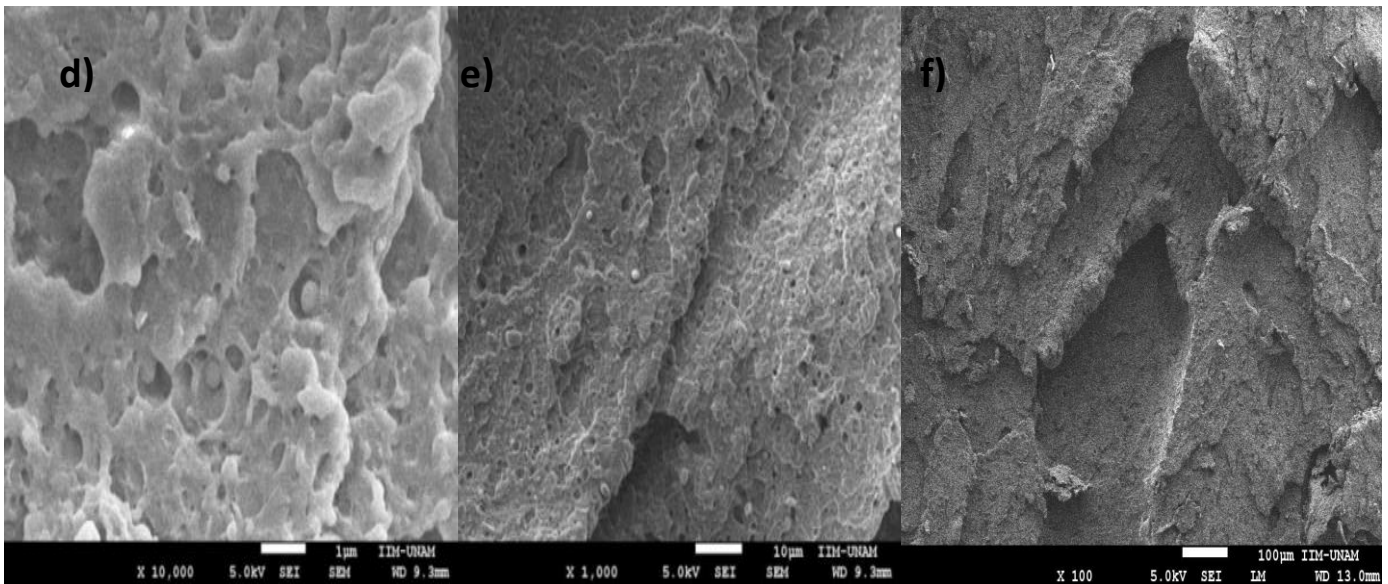


Figura 63 A. Imágenes obtenidas del MEB para el ABS<sub>rec</sub> en la superficie de ruptura. Sin hidrólisis (a) 10,000 x. (b) 1,000x. (c) 100x. Con hidrólisis (d) 10,000 x. (e) 1,000x. (f) 100x.

Al realizar una observación rápida se puede ver, en la Figura 62 (d), que es el ABS con hidrólisis a 10,000x posee mayor número de cavidades de 0.65 micras y más profundas, con respecto a la Figura 62 (a), que es el ABS sin hidrólisis, la cual sí presenta la formación de cavidades de aproximadamente 0.27micras, con menor profundidad. Esto debido, al ataque hidrolítico por el agua. En la Figura 62 (b), que corresponde al ABS sin hidrólisis a 1000x, se puede observar mejor la superficie del material, que al no contar con grandes huecos, su superficie es más suave y plana, comparándola con la Figura 62 (e), con hidrólisis, que al tener cavidades de mayor tamaño, su superficie es más rugosa, también es posible observarlas a simple vista. Por último, a una distancia de menor acercamiento, se observa que todas estas características antes mencionadas, hacen relucir al material. La Figura 62 (c), que es sin hidrólisis a 100x, tiene menor cantidad y tamaño de huecos. En cambio, en la Figura 62 (f), presenta una superficie muy rugosa, los cortes son más suavizados, otra manera de decirlo, es que las aristas del material son más gruesas, por lo que el corte es más frágil su superficie es más suave, así como el corte, el cual es más agudo o más fino.

Es muy probable que el material, al aumentar el número de huecos, va a albergar mayor cantidad de agua, y, debido al ataque hidrolítico, las cadenas del polímero se van a romper con facilidad. Esto ocasionará pérdida de resistencia y que el material sea más frágil.

Los siguientes resultados que se muestran son para el ABS reciclado en la superficie de la probeta con y sin hidrólisis.

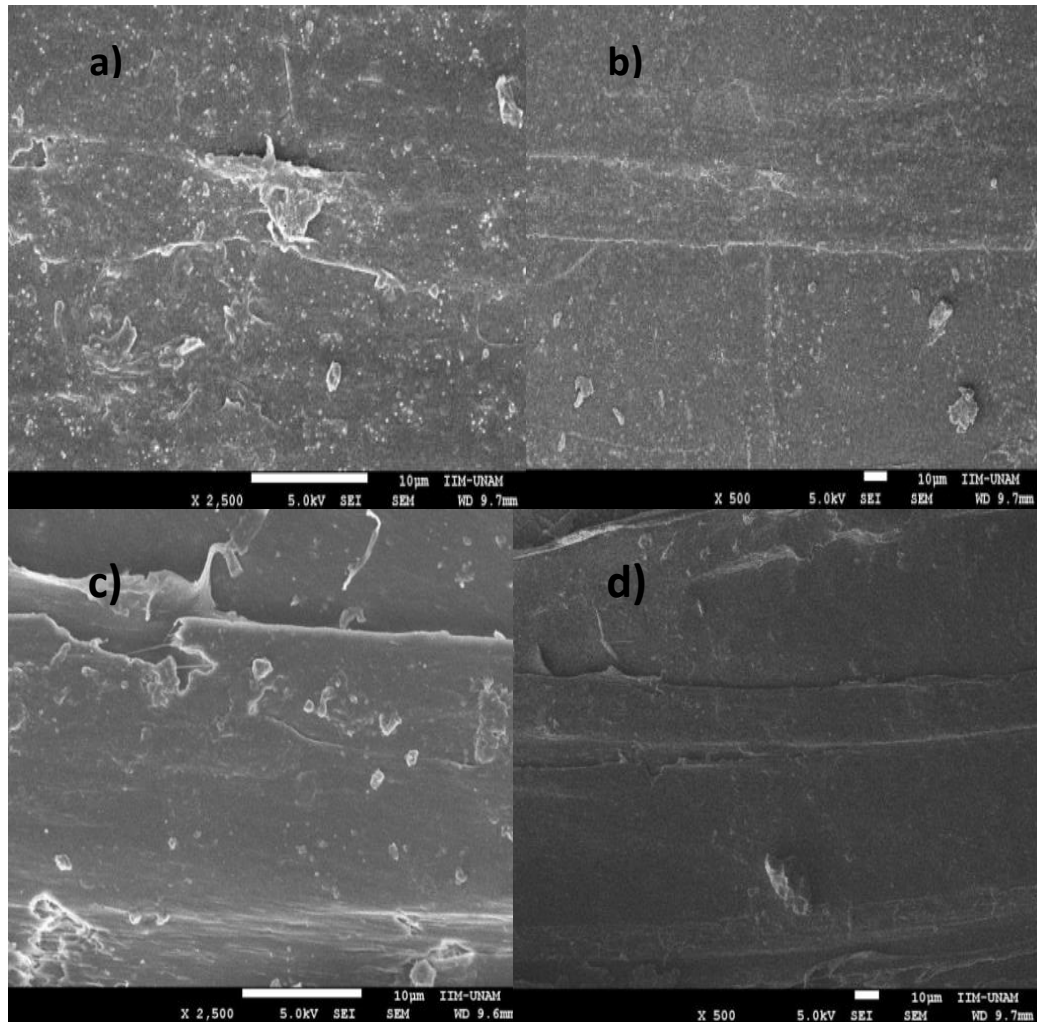


Figura 64. Imágenes obtenidas para el ABS<sub>recr</sub> en la superficie transversal. Sin Hidrólisis (a) 2,500 x. (b) 500 x. Con Hidrólisis (c) 2,500 x. (d) 500 x.

No se observan cambios significantes en la superficie. Sin embargo, debido al ataque del agua se pueden identificar que aquellos relieves son más



prominentes y más agudos en las piezas con hidrólisis, que aquellas que no las tienen.

Los siguientes resultados corresponden al nanocompuesto con ABS + 5% de MMT en la ruptura con y sin hidrólisis.

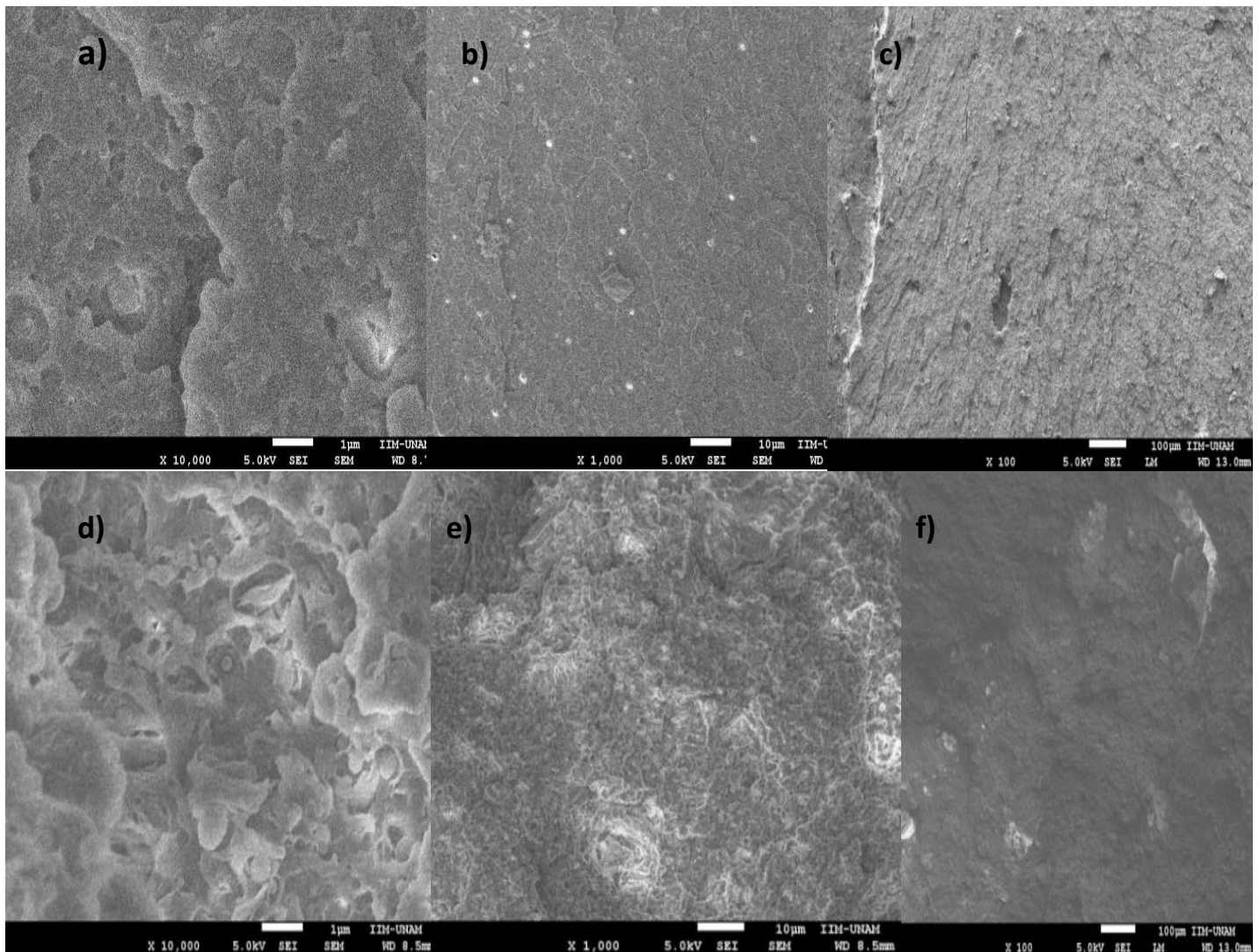


Figura 65. Nanocompuesto con 5% de MMT en la superficie de ruptura. Sin hidrólisis (a) 10,000 x (b) 1,000 x. (c) 100 x. Con hidrólisis (d) 10,000 x (e) 1,000 x. (f) 100 x.

En la Figura 64 (d) con hidrólisis a 10,000 x, la apariencia del material es muy escamosa, la superficie no es continua, se observa mayor profundidad en los huecos. Cabe señalar la marcada disminución de la presencia de huecos, como se notó fácilmente en el ABS reciclado; el tamaño de los huecos va de 0.25-



0.50micras. Con respecto a la Figura 64 (a) sin hidrólisis, la superficie sí presenta distintos relieves, sin embargo no se observa tan marcada la presencia de escamas, es decir, es más continua la superficie del material; el tamaño de sus poros es entre 0.4-0.8micras. La Figura 64 (b) sin hidrólisis a 1,000x, muestra una superficie más fina y continua, con respecto a la Figura 64 (e) con hidrólisis, que se observa más rugosa, con las elevaciones más marcadas y el corte es más suave y no tan fino. Debido a que presenta una superficie escamosa, con relieves, Figura 64 (c) a este acercamiento se observan huecos de distintas proporciones.

Las siguientes imágenes corresponden a las muestras con ABS con 5% de MMT, en la superficie de la probeta con y sin hidrólisis.

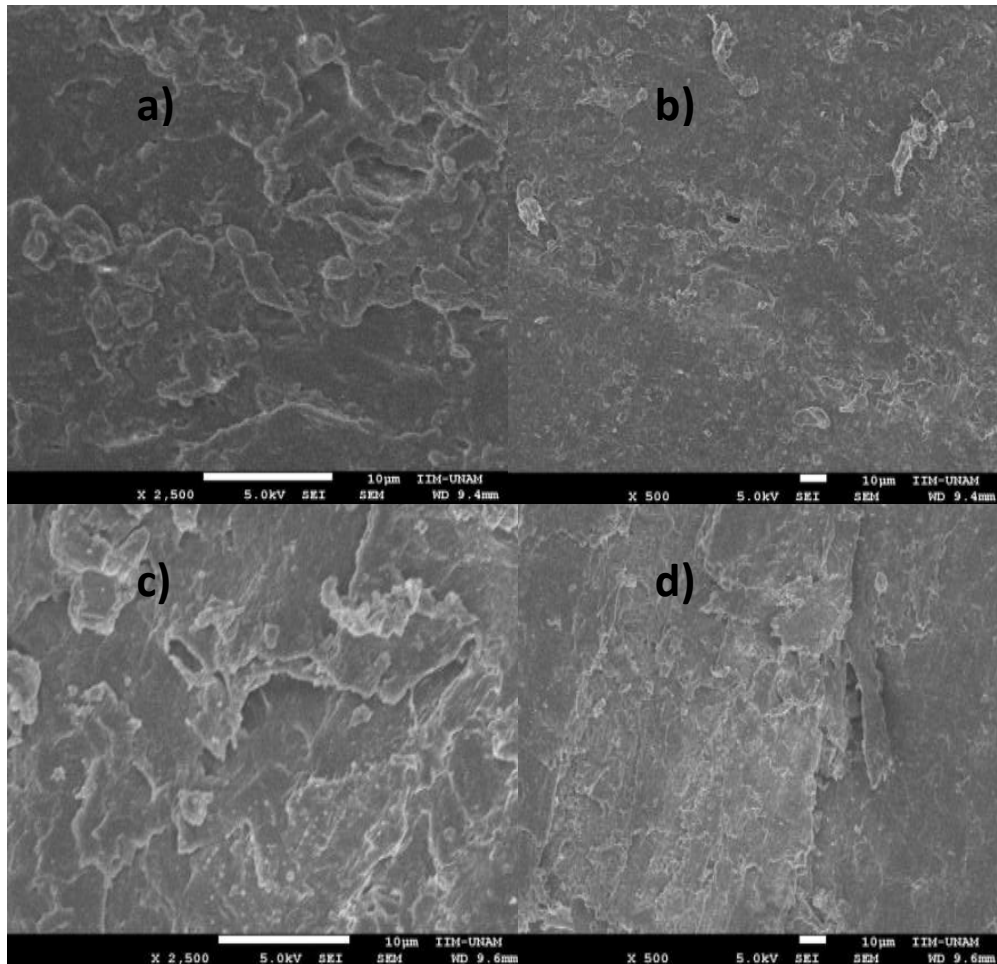


Figura 66. Imágenes del ABS con 5% de MMT en la superficie transversal. Sin hidrólisis (a) 2,500 x (b) 500 x. Con hidrólisis (c) 2,500 x (d) 500 x.

Se puede observar que la Figura 65 (a) del ABS con 5% de MMT a 2500X, no presenta una superficie continua y lisa, sino que al contrario, muestra diversos relieves. La Figura 65 (b) 500x, muestra una superficie sin grietas y con pocos huecos. Al compararlas con las imágenes con hidrólisis, se observa que la Figura 65 (c) a 2500x, contiene mayor cantidad de huecos, la superficie es menos lisa y presenta más elevaciones. La Figura 65 (d) a 500x, muestra una superficie muy rugosa y agrietada.

Las siguientes imágenes corresponden al ABS con 5% de MMT-T en la superficie de ruptura:

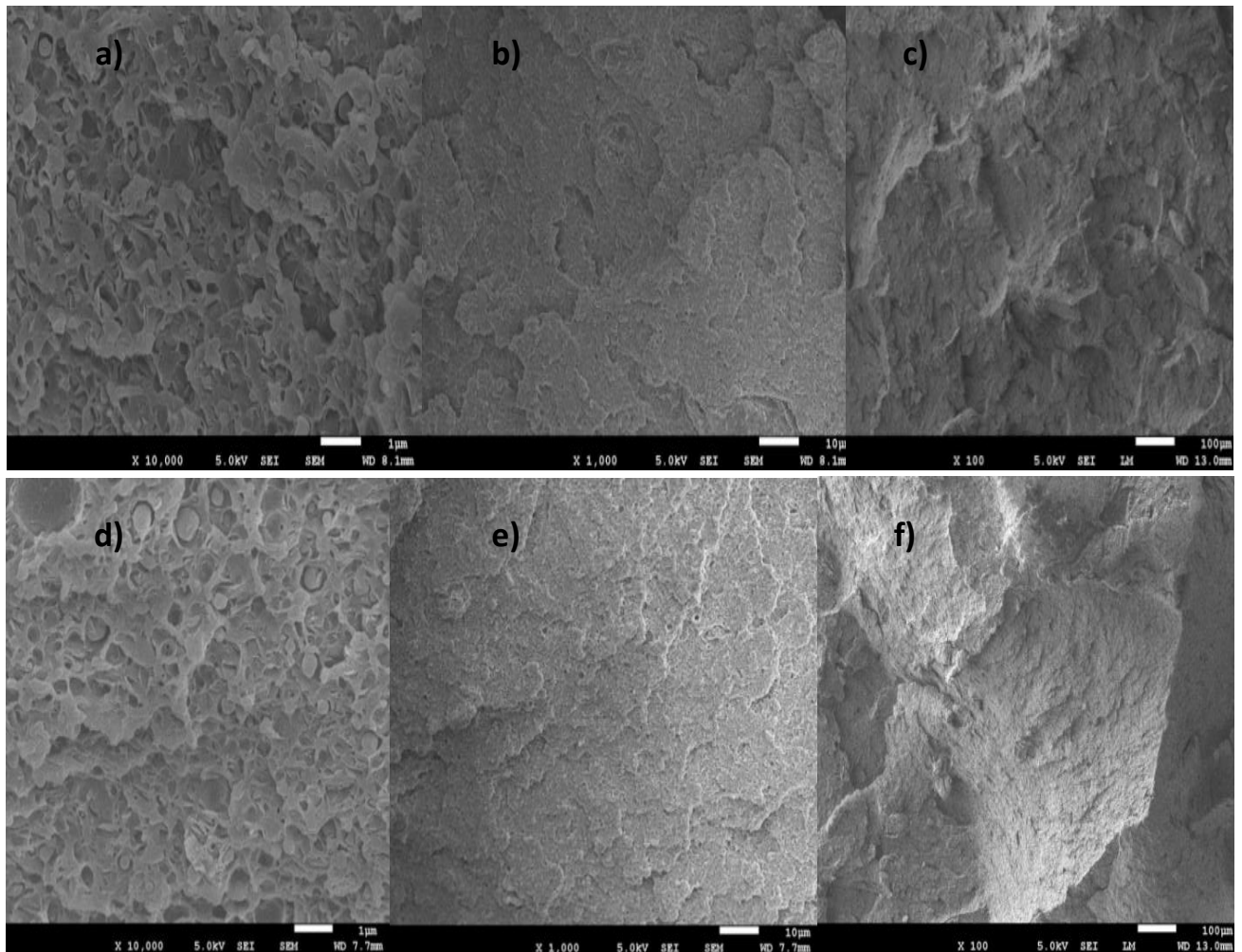


Figura 67. Imágenes del ABS con 5% de MMT-T en la superficie de ruptura. Sin hidrólisis (a) 10,000 x (b) 1,000 x. (c) 100 x. Con hidrólisis (d) 10,000 x (e) 1,000 x. (f) 100 x.

Se observa que la imagen de la Figura 66 (a) contiene varios huecos pequeños de aproximadamente 0.17-0.38micras, la superficie parece estar hecha de varias capas, y, al compararla con la Figura 66 (d), se observa, a simple vista, que los tamaños de los huecos son muy grandes y redondos, de aproximadamente 0.25-0.5micras. En las Figuras 66 (b) y (e) a 1000x, lo único perceptible y que muestra un cambio importante es la aparición de huecos de gran tamaño; con respecto a la superficie de ambas imágenes, no hay cambios aparentes ya que muestran las mismas elevaciones. En cuanto a las Figuras 66 (c) y (f) a 100x, se aprecia que el corte es más fino en Figura 66 (f) que Figura 66 (c) en, es decir, las aristas del nanocompuesto son un poco más agudas.

Las siguientes imágenes corresponden al ABS con 5% de MMT-T en la superficie de la probeta.

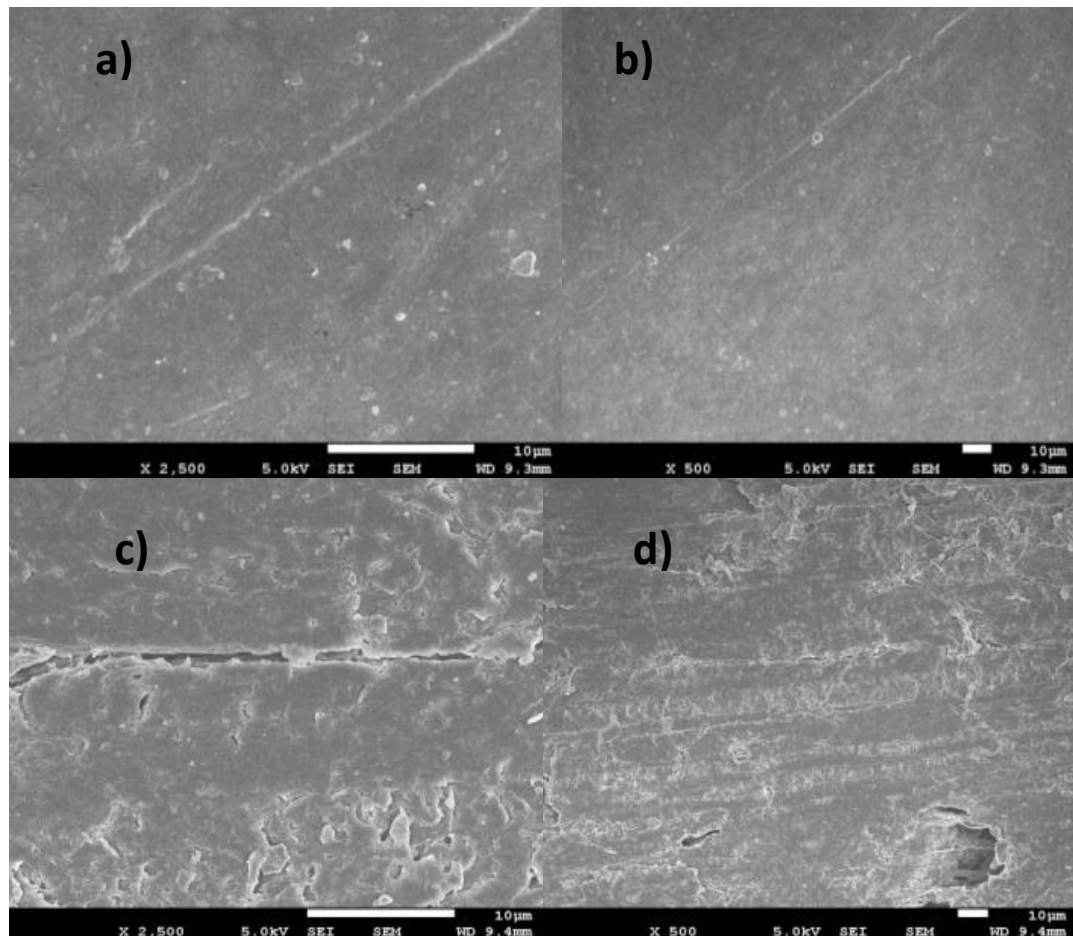


Figura 68. Imágenes del ABS con 5% de MMT-T en la superficie transversal. Sin hidrolisis (a) 2500 x (b) 500 x. Con hidrolisis (c) 2500 x (d) 500 x.

Se observa que la Figura 67 (a) presenta una superficie lisa y continua, sin grietas y sin huecos, contrario a lo que se observa en la Figura 67 (c), que comienzan a formarse grietas pequeñas, que al paso del tiempo se van haciendo mas grandes. Cabe destacar que no se observan diferencias en las Figuras 67 (a) y (b) que a pesar de estar a diferentes aumentos, se mantiene la apariencia fina y continúa.

Con respecto a la Figura 67 (d), la superficie parece ser más rugosa y con muchas imperfecciones, como son las grietas, elevaciones y algunos huecos de menor tamaño.

# **CAPÍTULO IV**

# **CONCLUSIONES**

## 4. CONCLUSIONES

Las aminas tetradecilamina (MMT-T) y diaminodecano (MMT-DA) fueron las que lograron aumentar más la distancia interplanar de la montmorillonita, mejoraron las propiedades mecánicas después del ciclo hidrolítico, y se logró obtener un nanocompuesto exfoliado.

- La inclusión de los intercalantes en arcilla mejoraron las propiedades mecánicas del ABS reciclado.
- A mayor longitud de la cadena de carbonos de las aminas, mayor fue la distancia interplanar de las arcillas modificadas.
- A mayor concentración de las arcillas modificadas, se obtuvieron mayores propiedades mecánicas y mayor resistencia a la hidrólisis para el ABS natural. Para el ABS reciclado blanco, a menor concentración de las arcillas modificadas, se obtuvieron mayores propiedades mecánicas y mayor resistencia a la hidrólisis.
- Se comprobó la formación de un nanocompuesto polimérico híbrido, es decir, intercalado, exfoliado y tactoide, con las aminas tetradecilamina (MMT-T) y diaminodecano (MMT-DA), mediante las técnicas de rayos X y microscopía electrónica de transmisión.
- Se logró mejorar la resistencia a la hidrólisis mediante la formación de los nanocompuestos, ya que las propiedades mecánicas se incrementaron, después de 30 ciclos de hidrólisis. Mientras que las propiedades térmicas se mantuvieron sin cambio.

Al modificar las propiedades del ABS con intercalantes arcilla-amina (MMT-X) éste se puede utilizar no sólo para ser el recubrimiento de los calentadores solares de contenedor, sino para que el contenedor sea de este material. Se observa que mejoró su resistencia a la hidrólisis con tetradecilamina (MMT-T) y diaminodecano (MMT-DA), por lo que este nuevo material es una opción eficiente (resistencia a la hidrólisis), sustentable (los nanocompuestos se degradan

fácilmente) y de alta procesabilidad (moldear un tanque de ABS es más sencillo que moldear uno de acero inoxidable, que es el material con el que se fabrica comúnmente) para la construcción de este tipo de calentadores solares.

## 4.1 RECOMENDACIONES

Moler el ABS reciclado para disminuir el tamaño de partícula y mejorar el mezclado con la montmorillonita en la extrusora.

Se puede suponer que el nanocompuesto desarrollado en este trabajo podría ser mejorado si se trabajara con un ABS procedente de un cuarto o quinto recuperado, así el material resultante presentaría mejores propiedades que el presentado, ya que este procede de ABS reprocesado solo por primera vez.

Usar una extrusora de doble husillo para mejorar el mezclado del polímero con la arcilla. También no descartar la posibilidad de usar un master batch, la ventaja es que se tiene una alta concentración de arcilla y esto permite que al diluirlo se mezcle mejor.

Extrudir el compuesto arcilla-polímero por lo menos 3 veces para asegurar una mejor intercalación y/o exfoliación de la arcilla en la matriz polimérica.

Utilizar una mezcla de ABS de polímeros, por ejemplo: polietileno, policarbonato o polipropileno. O quizá una mezcla de ABS recuperado con ABS virgen, dependiendo de la compatibilidad de los materiales.



## 5. BIBLIOGRAFÍA

1. Andrés, M. S. (21 de Octubre de 2010). Factores responsables de la degradación química de los polímeros. *Universidad Complutense, Madrid*. Recuperado el 20 de Marzo de 2013, de 2010: <http://www.mcu.es/patrimonio/docs/MC/POLYEVART/FactrespXIReinaSof.pdf>
2. Alemon, B. (Mayo de 2003). *Ensayo sobre reemplazo de componentes metálicos de automóvil por polímeros*. Universidad Autónoma de Guadalajara. Recuperado el 25 de Marzo de 2013, de <http://genesis.uag.mx/posgrado/revistaelect/calidad/cal013.pdf>
3. Conde, M. (Marzo, 2012). "Presente Futuro de la Industria del Plástico en México". PEMEX Petroquímica. Recuperado 11 de Septiembre del 2013, de <http://www.ptq.pemex.mx/productosyservicios/eventosdescargas/Documents/Foro%20PEMEX%20Petroqu%C3%ADmica/2012/03%20Mercado%20pl%C3%A1sticos%202012.pdf>
4. Lara, E. (Abril, 2007). "Costos estándar ABC para la Industria de plásticos". Universidad Tecnológica Equinoccial. Recuperado 11 de Septiembre del 2013, de [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/11362/1/32055\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/11362/1/32055_1.pdf)
5. Odian, G. "Principles of polymerization" Wiley Interscience, 4° Ed. pp. 530
6. Hoffman, W. "Rubber technology handbook". Hanser/Gardner Publications Inc. Cincinnati, USA. 1994, pp. 20-31
7. Edelman, C. H. "On the crystal structure of montmorillonite and halloysite". *Zeitschrift fur krsitallographie*". (1940). pp 417-432.
8. Domínguez, J. M., & Schifter, I. (2013). "Las arcillas". *Biblioteca digital Ilce*. Recuperado el 11 de Marzo de 2013, de <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/109/html/arcillas.html>
9. Dorronsoró, C. (9 de Octubre de 2013). *Departamento de Edafología y Química Agrícola*. Universidad de Granada, España. Obtenido de <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema05/ccs.htm>
10. Romero, E. G., & Suárez, M. (Febrero de 2011). *Universidad Complutense, Madrid*. Recuperado el 15 de Marzo de 2013, de <http://campus.usal.es/~delcien//doc/GA.PDF>
11. Toro, M. (Enero de 2011). "Asociación Argentina de Materiales". Recuperado el 20 de Marzo de 2013, de <http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/CONAMET-SAM2008/pdfs/f4.pdf>
12. Tuesta, E. G. (2005). *SCIELO*. Recuperado el Marzo de 2013, de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v71n1/a05v71n1.pdf>
13. Whitlow. (Febrero de 2011). "Estructura de los Materiales". *Ingeniería Civil*. Recuperado el 15 de Marzo de 2013, de <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/02/estructura-de-los-minerales-de-arcilla.html>

14. Velázquez, J. (Julio de 2012). "Relación estructura propiedad de films de nanocompuestos de PLA". *Universidad Politécnica de Cataluña*. Recuperado el 20 de Marzo de 2013, de <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/96671/TJVI1de1.pdf?sequence=1>
15. Besoain, E. "Mineralogía de arcillas y de suelos" Serie de Libros y Materiales Educativos, San José, Costa Rica, 1985
16. Velázquez, J. (Julio de 2012). "Relación estructura propiedad de films de nanocompuestos de PLA". *Universidad Politécnica de Cataluña*. Recuperado el 20 de Marzo de 2013, de <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/96671/TJVI1de1.pdf?sequence=1>
17. Alemon, B. (Mayo de 2003). "Ensayo sobre reemplazo de componentes metálicos de automóvil por polímeros". *Universidad Autónoma de Guadalajara*. Recuperado el 25 de Marzo de 2013, de <http://genesis.uag.mx/posgrado/revistaelect/calidad/cal013.pdf>
18. Pinnavaia, T. J., Beall, G. "Polymer Clay nanocomposites". Chichester, England. 2000. pp. 3-284.
19. Sabu, T. "Polymer composites". Weinheim: Wiley-VCH, 2012. 1. pp. 146.
20. Krishnamoorti, R. "Polymer Nanocomposites Synthesis Characterization and Modeling". American Chemical Society. Washington DC. 2012
21. Andrés, M. S. (21 de Octubre de 2010). "Factores responsables de la degradación química de los polímeros". *Universidad Complutense, Madrid*. Recuperado el 20 de Marzo de 2013, de 2010: <http://www.mcu.es/patrimonio/docs/MC/POLYEVART/FactrespXIReinaSof.pdf>
22. Otero, Enrique. "Corrosión y degradación de materiales". Síntesis, Madrid España, 2009. pp. 324-335,342-347,360-362.
23. Shimada, J., Kabuki, K. "The mechanism of oxidative degradation of ABS resin". Part 1. Mechanism of thermooxidative degradation" *Journal of Apply Polymer Science*, 1968. pp. 671
24. Kelleher, P. "Environmental surface effects on ABS resins" *Journal of Apply Polymer Science*, 1965. pp. 3701
25. Boldizar, A. Möller, K. "Degradation of ABS during repeated process and accelerated ageing". *Polymer degradation and stability*. 2003, pp. 359-366
26. Tigans, B. Burn, L. S. "Thermal degradation of ABS blends". *Polymer degradation and stability*. 2002 pp. 425-434
27. Ramírez, O. "Análisis de la resistencia a la hidrólisis de nanocompuestos de ABS, montmorillonita y arena de río" Tesis UNAM Facultad de Química, México 2011.
28. Billmeyer, F. *Ciencia de los polímeros*. Editorial Reverté. 1975. 107-143.

29. Andrés, M. S. (21 de Octubre de 2010). "Factores responsables de la degradación química de los polímeros". Universidad Complutense, Madrid. Recuperado el 20 de Marzo de 2013, de 2010: <http://www.mcu.es/patrimonio/docs/MC/POLYEVART/FactrespXIReinaSof.pdf>
30. Hunt, B. J. "Polymer characterization: physical techniques". Munchen: Hanser, 1993. pp. 87-96, 178-190, 218-297, 306-315.
31. Campbell, D. "Polymer Characterization". Chapman and Hall, New York, 1995. pp. 154-177, 191-200, 238-263, 301-316.
32. Roberts, C., Simha, R. "Reissue of characterization of polymers" Introduction to Physical Polymer Science, 2009. pp. 16-18.
33. Cullity B. D. "Elements of X Ray Diffraction". Prentice Hall 3<sup>ra</sup> ed. 2001. pp. 1-4, 89-96, 182-185, 539.
34. Jenkins, Ron. Introduction to X- ray power diffractometry. J. Wiley, New York, 1996.
35. Cowley, John. High- Resolution Transmission Electron Microscopy and Associated Techniques". Oxford University Press. New York, 1988.
36. Horiuchi, S. "Fundamentals of High- resolution Transmission Electron Microscopy". Elsevier Science B.V. Holland, 1994.
37. Menczel, J., Bruce, R. "Thermal analysis of polymers". New York. 2008. pp. 7-21, 30-33, 319-333.
38. Wang, S. Hu, Y. "Flammability and Thermal Stability Studies of ABS/Montmorillonite Nanocomposite". Polymer, 2003. pp. 1045.
39. Dekker, M. "Thermal characterization techniques". INC, USA, 1970 Vol. 2 Brown, M. "Introduction to thermal analysis, techniques and applications". 1998
40. Cordero, A., Toscano, R. "Difractometría: apuntes del curso de difracción de rayos X". Asociación Mexicana de Microscopía, 1990. pp. 210-240.
41. Lux, Alexander. Manual de microscopía electrónica, ultraestructura y citología vegetal. Vol. I. 6-50.
42. González, R., Parega, R. Microscopía Electrónica. EUEDEMA, España, 1991. pp. 28,37-45, 70-85, 123- 135.
43. Egerton, Rag. Physical Principles of Electron Microscopy. Springer, 1995. pp. 47-66, 125-131, 143-148.
44. Sawyer, Linda. Polymer Microscopy. Chapman and Hall, London, 2000. pp. 1-13, 23-29, 76-80, 267-279.

45. Flegler, S. "Scanning and transmission electron microscopy: an introduction". W. H. Freeman, New York, 1993. pp 43-92, 108-159.
46. Belk, J. A. "Electron Microscopy and microanalysis". Applied science publishers, London. 7-10, 57-91, 99-119.
47. Gonzalez, R. "Microscopía electronica". 1991
48. Williams, D. "Transmission electron microscopy: a text book of material science". 1996.
49. Stanley, L. Fegler. "Scanning and transmission electron microscopy: and introduction". 1993
50. Advani, S. "Processing and properties of nanocomposites" World Scientific, 2007, pp.247
51. Ramos. "Extrusión, principios básicos de plásticos" Ed. Limusa, México, 1993, Cap. 1 y 7
52. Delgado, A. "Extrusión de plásticos". Ed. Blume, España, 1976
53. <http://www.h2sol.com.uy/calentador.htm>
54. Andrés, M. S. (21 de Octubre de 2010). "Factores responsables de la degradación química de los polímeros". Universidad Complutense, Madrid. Recuperado el 20 de Marzo de 2013, de 2010: <http://www.mcu.es/patrimonio/docs/MC/POLYEVART/FactrespXIREinaSof.pdf>
55. Foshan Shunde Glary Heat Energy Science And Technology Ltd. (1999-2013). "Calentador de agua solar interior del tanque de acero inoxidable con cubierta de plástico ABS". Alibaba.com Español. Consultado el 10 de diciembre de 2013: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/stainless-steel-inner-tank-solar-water-heater-with-abs-plastic-cover-476887758.html> (ANEXO A)
56. Uniovi (Diciembre 2013). "Leccion4.SeleccionTERMOPLASTICOS" Unovi.es. Consultado el 11 de diciembre de 2013: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion4.SeleccionTERMOPLASTICOS.pdf%E2%80%8E> (ANEXO B)
57. Estudios y Ensayos. (Noviembre 2013). "Presentación plásticos ingeniería". Wordpress.com. Consultado el 1 de diciembre de 2013: <http://estudiyensayo.files.wordpress.com/2008/11/presentacion-plasticos-ingenieria.ppt> (ANEXO B)
58. ASTM. (2006-2013). "ASTM D638 & ASTM E473. ASTM.org. Consultado el 20 de noviembre del 2013: <http://www.astm.org/> (ANEXO C y D)
59. BASF. (Mayo, 2007). "BASF Terluran GP-22 ABS". BASF. Consultado el 2 de noviembre del 2013: [http://www.rolec.de/download/Datenblatt technoCASE\\_ABS\\_Terluran%20GP22\\_en.pdf](http://www.rolec.de/download/Datenblatt technoCASE_ABS_Terluran%20GP22_en.pdf) (ANEXO E y F)

# **ANEXOS**

## ANEXO A. Calentador Solar de Acero Inoxidable con Cubierta de ABS

Datos básicos

Beneficios del uso del ABS:

- Protección de fuga de electricidad (ABS).
- Protección automática de micro - de la computadora de control de la temperatura (ABS).
- Protección de la piel al contacto (ABS).
- Protección de sobre - presión (ABS).



Figura 69. Calentador solar de acero inoxidable con recubierta de ABS.

## ANEXO B. Hoja técnica de la montmorillonita



### Lit. G-105 MONTMORILLONITA DE GRADO POLIMÉRICO

#### Información general:

Las montmorillonitas de grado polimérico son aluminosilicatos minerales de alta pureza. Se usan principalmente para adhesivos para polímeros hidrofílicos, tales como polivinilalcoholes, polisacáridos y ácidos poliacrílicos. Cuando se dispersa completamente en estos polímeros huéspedes, crean una nueva categoría de materiales compuestos llamados nanocompuestos.

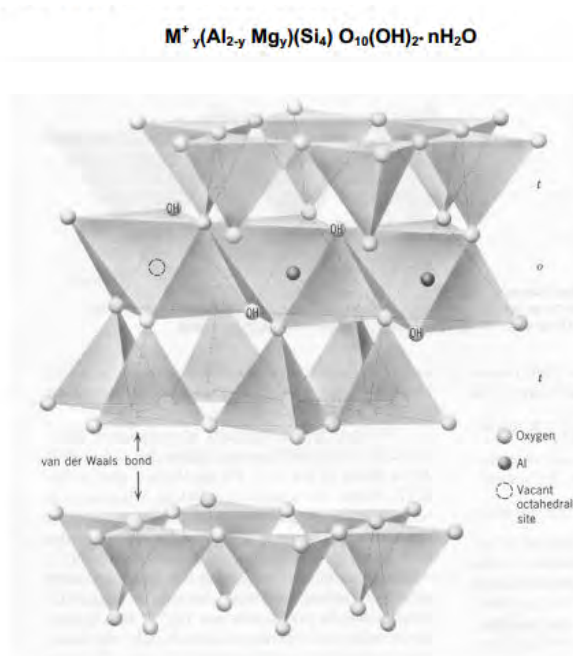
#### Niveles:

Las montmorillonitas PG, se usan en un límite de especificación de 1-15% en peso, dependiendo del grado que contengan de enlaces hidrógeno con los polímeros huéspedes y los requerimientos de la aplicación.

#### Morfología y estructura:

La montmorillonita tiene una estructura en forma de placas. Sin embargo, sus dimensiones de largo y ancho pueden ser medidas en cientos de nanómetros.

Fórmula teórica y estructura teórica de la montmorillonita.





Lit. G-105 **MONTOMORILLONITA DE GRADO POLIMÉRICO**

Esta fórmula nunca se vé en la naturaleza por que los iones centrales (Al+3 y Si+3) en el interior del cristal ha sido sustituido por iones de magnesio, manganeso y ocasionalmente litio. Las sustituciones crean un desequilibrio en la superficie de cada plaqueta. La carga negativa desbalanceada se neutraliza por la absorción de cationes hidratados, especialmente de sodio y calcio.

**Pureza y color:**

Todos los grados PG, tienen una pureza mayor a 98% de montmorillonita.

**Propiedades físicas PGN:**

**Color: Blanco**

**CEC (meq/100g): 120**

**Gravedad específica: 2.6**

**Ph (5% dispersión): 9-10**

*Para más información en como Nanomers R trabajan, contactar a Nanocor's Technical Service Group.*



1500 West Shore Drive | Arlington Heights, IL 60004 | PH 847-394-8844 888-626-6633 | FX 847-394-9040 | [www.nanocor.com](http://www.nanocor.com)



## **ANEXO C. Norma ASTM 638. ASTM D638**

### Importancia y Uso

Este método de ensayo está diseñado para producir datos de las propiedades de tracción para el control y la especificación de los materiales de plástico. Estos datos también son útiles para la caracterización cualitativa y para la investigación y el desarrollo. Para muchos materiales, puede haber una especificación que requiere el uso de este método de ensayo, pero con algunas modificaciones el procedimiento tiene prioridad cuando se adhieren a la especificación. Por lo tanto, es recomendable que consulte la especificación de materiales antes de usar este método de ensayo. Tabla 1 en D4000 es la clasificación enumera las normas de los materiales de la ASTM que existen actualmente.

Las propiedades de tracción pueden variar con la preparación de la muestra y con la velocidad y el entorno de prueba. Por consiguiente, cuando se desean resultados comparativos precisos, estos factores deben ser cuidadosamente controlados.

Dar cuenta de que un material no puede ser probado sino también la comprobación del método de preparación de ese material. Por lo tanto, cuando se desean pruebas comparativas de materiales per se, el mayor se debe tener cuidado para asegurar que todas las muestras se preparan exactamente de la misma manera, a menos que la prueba sea para incluir los efectos de la preparación de la muestra. Del mismo modo, para fines de arbitraje o comparaciones dentro de cualquier serie dada de especímenes, se debe tener cuidado para asegurar el máximo grado de uniformidad en los detalles de la preparación, el tratamiento y la manipulación.

Las propiedades de tracción pueden proporcionar datos útiles para plásticos de ingeniería con fines de diseño. Sin embargo, debido al alto grado de sensibilidad

mostrada por muchos plásticos para evaluar las condiciones de esfuerzo y el medio ambiente, los datos obtenidos por este método de ensayo no pueden considerarse válidos para aplicaciones en escalas de tiempo de carga o ambientes muy diferentes de las de este método de ensayo . En los casos de tales disimilitudes, sin estimación fiable del límite de la utilidad se puede hacer para la mayoría de los plásticos. Esta sensibilidad a la tasa de esfuerzo y el medio ambiente requiere de pruebas sobre una escala de tiempo de carga en sentido amplio (incluyendo el impacto y la fluencia) y el rango de condiciones ambientales, si las propiedades de tracción son suficientes para fines de diseño de ingeniería.

## 1. Alcance

1.1 Este método de ensayo cubre la determinación de las propiedades de tracción de plásticos no reforzados y reforzados en forma de muestras de ensayo estándar en forma de pesa - cuando se prueba en condiciones definidas de tratamiento previo, la temperatura, la humedad, y la máquina de prueba de velocidad.

1.2 Este método de prueba se puede utilizar para el ensayo de materiales de cualquier espesor de hasta 14mm (0,55pulgadas). Sin embargo, para el análisis de muestras en forma de láminas delgadas, incluyendo la película de menos de 1,0mm (0,04pulgadas) de espesor, Métodos de prueba D882 es el método de ensayo preferido. Los materiales con un espesor superior a 14mm (0,55pulgadas) deben reducirse en el mecanizado.

1.3 Este método de ensayo incluye la opción de determinar la relación de Poisson a temperatura ambiente.

## **ANEXO D. ASTM E473**

### 1. Alcance

1.1 Esta terminología es una recopilación de las definiciones de los términos utilizados en los documentos de la ASTM relacionadas con el análisis térmico y reología. Esta terminología incluye sólo los términos para los que ASTM sea tiene normas ni está contemplando alguna acción. No pretende ser una lista de todo incluido de términos relacionados con el análisis térmico y reología.

1.2 Esta terminología apoya específicamente la forma de una sola palabra para los términos que utilizan termo como un prefijo, como termoanalíticas o termomagnetrométricas, sin dejar de reconocer que para algunos términos de una forma de dos palabras se puede utilizar, por ejemplo, el análisis térmico. Esta terminología no apoya, ni recomienda, el uso de la forma gramaticalmente incorrecta, de una sola palabra con el método térmico como un prefijo, como, termoanalítico o termomagnetrométrica.

1.3 Una definición es una frase con la información adicional incluida en un área de discusión.

# ANEXO E. Hoja de datos técnicos de ABS virgen

## BASF Terluran® GP-22 (ABS)

05/2007

Page 1

Easy-flow, general purpose injection moulding grade with high resistance to impact and heat distortion; intended for a wide range of applications, particularly in the housings sector.

Typical values at 23°C	Test method	Unit	Values
<b>1. Properties</b>			
Polymer abbreviation		-	ABS
Density	ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	1.04
Melt volume-flow rate MVR 220 °C / 10kg	ISO 1133	cm <sup>3</sup> /10min	19
Water absorption, equilibrium in water at 23°C	similar to ISO 62	%	1
Moisture absorption, equilibrium 23°C/50% r. h.	similar to ISO 62	%	0.22
Moulding shrinkage, free, longitudinal	-	%	0.4 - 0.7
<b>2. Flammability</b>			
UL94 rating at 1.6mm thickness (E41871)	UL 94	class	HB
Automotive materials (thickness > 1mm)	FMVSS 302	-	+
<b>3. Mechanical properties</b>			
Tensile modulus	ISO 527-1/-2	MPa	2300
Yield stress ( 50 mm/min )	ISO 527-1/-2	MPa	45
Yield strain ( 50 mm/min )	ISO 527-1/-2	%	2.6
Nominal strain at break ( 50 mm/min )	ISO 527-1/-2	%	10
Flexural strength	ISO 178	MPa	65
Charpy impact strength (+ 23°C)	ISO 179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	180
Charpy impact strength (+ 30°C)	ISO 179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	100
Izod notched impact strength (+ 23°C)	ISO 180/A	kJ/m <sup>2</sup>	26
Izod notched impact strength (+ 30°C)	ISO 180/A	kJ/m <sup>2</sup>	8
Charpy notched impact strength (+ 23°C)	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	22
Charpy notched impact strength (-30°C)	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	8
Izod notched impact strength, method A (+23°C)	ASTM D 256	J/m	300
Ball indentation hardness at 358 N/30 s	ISO 2039-1	MPa	97
<b>4. Thermal properties</b>			
HDT A (1.80 MPa) / HDT B (0.45 MPa)	ISO 75-1/-2	°C	80 / 92
Vicat softening temperature VST/A/50 / VST/B/50	ISO 306	°C	105 / 96
Max. service temperature (short cycle operation)	-	°C	80
Coefficient of linear therm. expansion, longit. (23-80)°C	ISO 11355-1/-2	10 <sup>-3</sup> /°C	0.8 - 1.1
Thermal conductivity	DIN 52612-1	W/(m·K)	0.17
<b>5. Electrical properties</b>			
Relative permittivity at 100 Hz / 1 MHz	IEC 60250	-	2.9 / 2.8
Dissipation factor at 100 Hz / 1 MHz	IEC 60250	10 <sup>-4</sup>	48 / 79
Volume resistivity	IEC 60093	Ω · m	10 <sup>13</sup>
Surface resistivity	IEC 60093	Ω	10 <sup>13</sup>
Electric strength K20/P50, d = 0.6 · 0.8 mm	IEC 60243-1	kV/mm	37
CTI, test liquid A	IEC 60112	-	500
CTIM, test liquid B	IEC 60112	-	225

The figures in this datasheet are guide values. The values are effected by processing conditions, modifications, additives and environmental conditions and they do not release you from the obligation to check the validity and to undertake tests on your own.

This information is based on our present knowledge and experience. The material data is not to be construed as guaranteeing specific properties and the data can not be used to deduce the suitability for a particular application.

# ANEXO F. Hoja de datos técnicos de las aminas

## SIGMA-ALDRICH

[sigma-aldrich.com](http://sigma-aldrich.com)

### Hoja Técnica de Seguridad del Material

Versión 5.0  
 Fecha de revisión 09/19/2012  
 Fecha de impresión 12/15/2013

#### 1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

Nombre del producto	: Octadecilamina
Referencia	: 305391
Marca	: Aldrich
Proveedor	: Sigma-Aldrich Química, S. de R.L. de C.V. Parque Industrial Toluca 2000 Calle 6 Norte No. 107 50200 TOLUCA MEXICO
Teléfono	: +52 (0)1-800-007-5300
Fax	: +52 (0)1-800-712-9920
Teléfono de Urgencia (Tanto para el proveedor como para el fabricante)	:
Información suministrada por	: Sigma-Aldrich Corporation Product Safety - Americas Region 1-800-521-8956

#### 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

##### Revisión de la Emergencia

##### Peligros OSHA

Irritante

##### Clasificación SGA

Toxicidad aguda, Oral (Categoría 5)

Irritación cutáneas (Categoría 2)

Irritación ocular (Categoría 2A)

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única (Categoría 3)

Toxicidad acuática aguda (Categoría 2)

##### Elementos de las etiquetas del SGA, incluidos los consejos de prudencia

##### Pictograma



Palabra de advertencia Atención

##### Indicación(es) de peligro

H303	Puede ser nocivo si es tragado.
H315	Provoca irritación cutánea.
H319	Provoca irritación ocular grave.
H335	Puede irritar las vías respiratorias.
H401	Tóxico para los organismos acuáticos.

##### Declaración(es) de prudencia

P261	Evitar respirar el polvo/ el humo/ el gas/ la niebla/ los vapores/ el aerosol.
P305 + P351 + P338	EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.

HMIS Classification  
 Health hazard:

2

Flammability:	1
Physical hazards:	0
<b>Clasificación NFPA</b>	
Peligro para la salud:	2
Fuego:	1
Peligro de Reactividad:	0
<b>Efectos potenciales para la Salud</b>	
Inhalación	Puede ser nocivo si se inhala. Provoca una irritación del tracto respiratorio.
Piel	Puede ser nocivo si es absorbido por la piel. Provoca irritaciones de la piel.
Ojos	Provoca una irritación en los ojos.
Ingestión	Puede ser nocivo si es tragado.

### 3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Sinónimos : 1-Aminoctadecano  
Stearylamine

Formula :  $C_{18}H_{39}N$   
Peso molecular : 269.51 g/mol

Componente	Concentración
<b>Octadecylamine</b>	
No. CAS	124-30-1
No. CE	204-695-3

### 4. PRIMEROS AUXILIOS

#### Recomendaciones generales

Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio. Retire a la persona de la zona peligrosa.

#### Si es inhalado

Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

#### En caso de contacto con la piel

Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

#### En caso de contacto con los ojos

Lávese a fondo con agua abundante durante 15 minutos por lo menos y consulte al médico.

#### Si es tragado

Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

### 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

#### Condiciones de inflamabilidad

No inflamables o combustibles

#### Medios de extinción apropiados

Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

#### Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios

Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

#### Productos de combustión peligrosos

Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno (NOx)

### 6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL



**Precauciones personales**

Utilícese equipo de protección individual. Evite la formación de polvo. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Evacuar el personal a zonas seguras. Evitar respirar el polvo.

**Precauciones relativas al medio ambiente**

Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado. La descarga en el ambiente debe ser evitada.

**Métodos y material de contención y de limpieza**

Recoger y preparar la eliminación sin originar polvo. Limpiar y traspasar. Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

**7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO****Precauciones para una manipulación segura**

Evítase el contacto con los ojos y la piel. Evítase la formación de polvo y aerosoles. Debe disponer de extracción adecuada en aquellos lugares en los que se forma polvo.

**Condiciones para el almacenaje seguro**

Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.

Sensible al dióxido de carbono Manipular y almacenar en atmósfera inerte. Sensible al aire.

**8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL**

No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

**Protección personal****Protección respiratoria**

Para exposiciones molestas use respirador de partículas tipo P95 (EE.UU.) o tipo P1 (UE EN 143). Para un nivel de protección mayor use cartuchos de respirador tipo OVI/AG/P99 (EE.UU.) o ABEK-P2 (UE EN 143). Usar respiradores y componentes testados y aprobados bajo los estándares gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

**Protección de las manos**

Manipular con guantes. Los guantes deben ser controlados antes de la utilización. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

**Protección de Inmersión**

Material: Caucho nitrilo  
 espesura mínima de capa: 0.11 mm  
 Tiempo de perforación: > 480 min  
 Material probado: Dermatril® (Aldrich Z677272, Talla M)

**Protección contra salpicaduras**

Material: Caucho nitrilo  
 espesura mínima de capa: 0.11 mm  
 Tiempo de perforación: > 30 min  
 Material probado: Dermatril® (Aldrich Z677272, Talla M)

origen de datos: KCL GmbH, D-36124 Elcherzell, Teléfono +49 (0)6659 873000, e-mail sales@kcl.de, Método de prueba: EN374

Si es utilizado en solución, o mezclado con otras sustancias, y bajo condiciones diferentes de la EN 374, ponerse en contacto con el proveedor de los guantes aprobados CE. Esta recomendación tiene carácter meramente consultivo y debe ser evaluado por un Higienista Industrial familiarizado con la situación específica de uso previsto por nuestros clientes. No debe interpretarse como una aprobación de oferta para cualquier escenario de uso específico.

**Protección de los ojos**

Gafas de seguridad con protecciones laterales conformes con la EN166 Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

**Protección de la piel y del cuerpo**

Indumentaria impermeable. El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

**Medidas de higiene**

Manipular con las precauciones de higiene Industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

---

**9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

**Aspecto**

Forma sólido

Color blanco

**Datos de Seguridad**

pH sin datos disponibles

Punto de fusión/  
punto de congelación Punto/Intervalo de fusión: 50 - 52 °C (122 - 126 °F) - lit.

Punto de ebullición 232 °C (450 °F) a 43 hPa (32 mmHg) - lit.

Punto de inflamación 148 °C (298 °F) - copa cerrada

Temperatura de ignición sin datos disponibles

Temperatura de auto-inflamación sin datos disponibles

Límites inferior de explosividad sin datos disponibles

Límites superior de explosividad sin datos disponibles

Presión de vapor sin datos disponibles

Densidad sin datos disponibles

Solubilidad en agua Insoluble

Coefficiente de reparto n-octanol/agua sin datos disponibles

Densidad relativa del vapor sin datos disponibles

Olor sin datos disponibles

Umbral olfativo sin datos disponibles

Tasa de evaporación sin datos disponibles

---

**10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**

**Estabilidad química**

Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

**Posibilidad de reacciones peligrosas**

sin datos disponibles

**Condiciones que deben evitarse**

sin datos disponibles

**Materias que deben evitarse**

Ácidos, Cloruros de ácido, Anhídridos de ácido, Oxidantes



**Productos de descomposición peligrosos**

Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno (NOx)

Otros productos de descomposición peligrosos - sin datos disponibles

**11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA****Toxicidad aguda****Oral DL50**

DL50 Oral - rata - 2,395 mg/kg

Observaciones: Conducta: Somnolencia (depresión general de la actividad)

**Inhalación CL50****Cutáneo DL50**

sin datos disponibles

**Otra información sobre toxicidad aguda**

sin datos disponibles

**Corrosión o irritación cutáneas**

Piel - conejo - irritación de la piel - 24 h

**Lesiones o irritación ocular gravea**

sin datos disponibles

**Sensibilización respiratoria o cutánea**

sin datos disponibles

**Mutagenicidad en células germinales**

sin datos disponibles

**Carcinogenicidad**

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

ACGIH: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a carcinogen or potential carcinogen by ACGIH.

NTP: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a known or anticipated carcinogen by NTP.

OSHA: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a carcinogen or potential carcinogen by OSHA.

**Toxicidad para la reproducción**

sin datos disponibles

**Teratogenicidad**

sin datos disponibles

**Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única (SGA)**

Inhalación - Puede irritar las vías respiratorias.

**Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas (SGA)**

sin datos disponibles

**Peligro de aspiración**

sin datos disponibles

**Efectos potenciales sobre la salud****Inhalación**

Puede ser nocivo si se inhala. Provoca una irritación del tracto respiratorio.

**Ingestión**

Puede ser nocivo si es tragado.

**Piel**

Puede ser nocivo si es absorbido por la piel. Provoca irritaciones de la piel.

**Ojos** Provoca una irritación en los ojos.

**Signos y Síntomas de la Exposición**

Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

**Efectos sinérgicos**  
sin datos disponibles

**Información Adicional**  
RTECS: RG4150000

**12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA**

**Toxicidad**

**Toxicidad para las** CE50 - Daphnia magna (Pulga de mar grande) - 1.7 mg/l - 48 h  
**damias y otros**  
**invertebrados**  
**acuáticos**

**Peristencia y degradabilidad**  
sin datos disponibles

**Potencial de bioacumulación**  
sin datos disponibles

**Movilidad en el suelo**  
sin datos disponibles

**Valoración PBT y MPMB**  
sin datos disponibles

**Otros efectos adversos**

No se puede excluir un peligro para el medio ambiente en el caso de una manipulación o eliminación no profesional.

Tóxico para los organismos acuáticos.

sin datos disponibles

**13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN**

**Producto**

Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada. Para la eliminación de este producto, dirigirse a un servicio profesional autorizado.

**Envases contaminados**

Eliminar como producto no usado.

**14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE**

**DOT (US)**

Not dangerous goods

**IMDG**

Not dangerous goods

**IATA**

Not dangerous goods

**15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA**

**Peligros OSHA**

Irritante

**SARA 302 Componentes**

SARA 302: Este material no contiene productos químicos sujetos a los requisitos reportados por SARA Título III, sección 302.

**SARA 313 Componentes**

SARA 313: Este material no contiene ningún componente químico con los conocidos números CAS que exceden el umbral de los niveles reportados (De Minimis) establecidos por SARA título III, sección 313.

**SARA 311/312 Peligros**

Peligro Agudo para la Salud

**Massachusetts Right To Know Componentes**

No hay componentes sujetos al Acta de Derecho a Saber de Massachusetts.

**Pennsylvania Right To Know Componentes**

Octadecylamine

No. CAS  
124-30-1

Fecha de revisión

**New Jersey Right To Know Componentes**

Octadecylamine

No. CAS  
124-30-1

Fecha de revisión

**Prop. 65 de California Componentes**

Este producto no contiene ninguna sustancia química conocida para el de Estado de California que pueden causar cáncer, defectos de nacimiento, o cualquier otro daño reproductivo. Este producto no contiene ninguna sustancia química conocida para el de Estado de California que pueden causar cáncer, defectos de nacimiento, o cualquier otro daño reproductivo.

**16. OTRA INFORMACIÓN****Otros datos**

Copyright 2012 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Diríjase a [www.sigma-aldrich.com](http://www.sigma-aldrich.com) y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.



**SIGMA-ALDRICH**

sigma-aldrich.com

**FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD**

Versión 4.3

Fecha de revisión 04/02/2014

Fecha de impresión 04/20/2014

**1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA****1.1 Identificadores del producto**

Nombre del producto : **Tetradecilamina**

Referencia : T10200

Marca : Aldrich

REACH No. : Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior

No. CAS : 2016-42-4

**1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados**

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

**1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad**

Compañía : Sigma-Aldrich Quimica, S. de R.L. de C.V  
Parque Industrial Toluca 2000  
Calle 6 Norte No. 107  
50200 TOLUCA  
MEXICO

Teléfono : +52 (0)1-800-007-5300

Fax : +52 (0)1-800-712-9920

**1.4 Teléfono de emergencia**

Teléfono de Urgencia :

**2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS****2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla**

**Clasificación SGA de acuerdo con 29 CFR 1910 (OSHA HCS).**

Irritación cutáneas (Categoría 2), H315

Irritación ocular (Categoría 2A), H319

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única (Categoría 3), Sistema respiratorio, H335

Toxicidad acuática aguda (Categoría 1), H400

Toxicidad acuática crónica (Categoría 1), H410

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

**2.2 Elementos de las etiquetas del SGA, incluidos los consejos de prudencia**

Pictograma



Palabra de advertencia : Atención

Indicación(es) de peligro

H315

H319

H335

H410

Provoca irritación cutánea.

Provoca irritación ocular grave.

Puede irritar las vías respiratorias.

Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

Declaración(es) de prudencia

P261

Evitar respirar el polvo/ el humo/ el gas/ la niebla/ los vapores/ el aerosol.

P264	Lavarse la piel concienzudamente tras la manipulación.
P271	Utilizar únicamente en exteriores o en un lugar bien ventilado.
P273	Evitar su liberación al medio ambiente.
P280	Llevar guantes de protección/ gafas de protección/ máscara de protección.
P302 + P352	EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con agua y jabón abundantes.
P304 + P340	EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar.
P305 + P351 + P338	EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.
P312	Llamar a un CENTRO DE INFORMACION TOXICOLOGICA o a un médico en caso de malestar.
P321	Se necesita un tratamiento específico (véase las instrucciones suplementarias de primeros auxilios en esta etiqueta).
P332 + P313	En caso de irritación cutánea: Consultar a un médico.
P337 + P313	Si persiste la irritación ocular: Consultar a un médico.
P362	Quitarse las prendas contaminadas y lavarlas antes de volver a usarlas.
P391	Recoger el vertido.
P403 + P233	Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener el recipiente cerrado herméticamente.
P405	Guardar bajo llave.
P501	Eliminar el contenido/ el recipiente en una planta de eliminación de residuos aprobada.

### 2.3 Peligros no clasificados de otra manera - ninguno(a)

## 3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

### 3.1 Sustancias

Sinónimos	:	1-Aminotetradecane Myristylamine
Formula	:	C <sub>14</sub> H <sub>31</sub> N
Peso molecular	:	213.4 g/mol
No. CAS	:	2016-42-4
No. CE	:	217-950-9

### Componentes peligrosos

Componente	Clasificación	Concentración
<b>Tetradecylamine</b>	Skin Irrit. 2; Eye Irrit. 2A; STOT SE 3; Aquatic Acute 1; Aquatic Chronic 1; H315, H319, H335, H410	-

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

## 4. PRIMEROS AUXILIOS

### 4.1 Descripción de los primeros auxilios

#### Recomendaciones generales

Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio. Retire a la persona de la zona peligrosa.

#### Si es inhalado

Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

#### En caso de contacto con la piel

Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

**En caso de contacto con los ojos**

Lávese a fondo con agua abundante durante 15 minutos por lo menos y consulte al médico.

**Si es tragado**

Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

**4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados**

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

**4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente sin datos disponibles**

---

**5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS****5.1 Medios de extinción****Medios de extinción apropiados**

Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

**5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla**

Óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)

**5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios**

Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

**5.4 Otros datos**

sin datos disponibles

---

**6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL****6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**

Utilícese equipo de protección individual. Evite la formación de polvo. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Evacuar el personal a zonas seguras. Evitar respirar el polvo. Equipo de protección individual, ver sección 8.

**6.2 Precauciones relativas al medio ambiente**

Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado. La descarga en el ambiente debe ser evitada.

**6.3 Métodos y material de contención y de limpieza**

Recoger y preparar la eliminación sin originar polvo. Limpiar y traspalar. Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

**6.4 Referencia a otras secciones**

Para eliminación de desechos ver sección 13.

---

**7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO****7.1 Precauciones para una manipulación segura**

Evítese el contacto con los ojos y la piel. Evítese la formación de polvo y aerosoles. Debe disponer de extracción adecuada en aquellos lugares en los que se forma polvo. Ver precauciones en la sección 2.2

**7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades**

Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.

**7.3 Usos específicos finales**

Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

---

**8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL****8.1 Parámetros de control****Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.**

No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.



## 8.2 Controles de la exposición

### Controles técnicos apropiados

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

### Protección personal

#### Protección de los ojos/ la cara

Gafas de seguridad con protecciones laterales conformes con la EN166 Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

#### Protección de la piel

Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

#### Sumerción

Material: Caucho nitrilo

espesura mínima de capa: 0.4 mm

Tiempo de perforación: 480 min

Material probado: Camatril® (KCL 730 / Aldrich Z677442, Talla M)

#### Salpicaduras

Material: Caucho natural latex/cloropreno

espesura mínima de capa: 0.6 mm

Tiempo de perforación: 30 min

Material probado: Lapren® (KCL 706 / Aldrich Z677558, Talla M)

origen de datos: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Teléfono +49 (0)6659 87300, e-mail sales@kcl.de, Método de prueba: EN374

Si es utilizado en solución, o mezclado con otras sustancias, y bajo condiciones diferentes de la EN 374, ponerse en contacto con el proveedor de los guantes aprobados CE. Esta recomendación es meramente aconsejable y deberá ser evaluada por un responsable de seguridad e higiene industrial familiarizado con la situación específica de uso previsto por nuestros clientes. No debe interpretarse como una aprobación de oferta para cualquier escenario de uso específico.

#### Protección Corporal

Indumentaria impermeable, El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

#### Protección respiratoria

Para exposiciones molestas use respirador de partículas tipo P95 (EE.UU.) o tipo P1 (UE EN 143). Para un nivel de protección mayor use cartuchos de respirador tipo OV/AG/P99 (EE.UU.) o ABEK-P2 (UE EN 143). Usar respiradores y componentes testados y aprobados bajo los estándares gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

#### Control de exposición ambiental

Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado. La descarga en el ambiente debe ser evitada.

## 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

### 9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

- |  |   |
|--|---|
| a) Aspecto                               | Forma: cristalino<br>Color: blanco                          |
| b) Olor                                  | sin datos disponibles                                       |
| c) Umbral olfativo                       | sin datos disponibles                                       |
| d) pH                                    | sin datos disponibles                                       |
| e) Punto de fusión/ punto de congelación | Punto/intervalo de fusión: 38 - 40 °C (100 - 104 °F) - lit. |

f) Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	162 °C (324 °F) a 20 hPa (15 mmHg) - lit.
g) Punto de inflamación	110 °C (230 °F) - copa cerrada
h) Tasa de evaporación	sin datos disponibles
i) Inflamabilidad (sólido, gas)	sin datos disponibles
j) Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	sin datos disponibles
k) Presión de vapor	sin datos disponibles
l) Densidad de vapor	sin datos disponibles
m) Densidad relativa	sin datos disponibles
n) Solubilidad en agua	sin datos disponibles
o) Coeficiente de reparto n-octanol/agua	sin datos disponibles
p) Temperatura de auto-inflamación	sin datos disponibles
q) Temperatura de descomposición	sin datos disponibles
r) Viscosidad	sin datos disponibles
s) Propiedades explosivas	sin datos disponibles
t) Propiedades comburentes	sin datos disponibles

**9.2 Otra información de seguridad**  
sin datos disponibles

---

**10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**

**10.1 Reactividad**

sin datos disponibles

**10.2 Estabilidad química**

Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

**10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas**

sin datos disponibles

**10.4 Condiciones que deben evitarse**

sin datos disponibles

**10.5 Materiales incompatibles**

Ácidos, Cloruros de ácido, Anhídridos de ácido, Oxidantes

**10.6 Productos de descomposición peligrosos**

Otros productos de descomposición peligrosos - sin datos disponibles  
En caso de incendio: véase sección 5

---

**11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA**

**11.1 Información sobre los efectos toxicológicos**

**Toxicidad aguda**

sin datos disponibles

Cutáneo: sin datos disponibles

sin datos disponibles



**Corrosión o irritación cutáneas**

sin datos disponibles

**Lesiones o irritación ocular graves**

sin datos disponibles

**Sensibilización respiratoria o cutánea**

sin datos disponibles

**Mutagenicidad en células germinales**

sin datos disponibles

**Carcinogenicidad**

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

ACGIH: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o el igual a 0,1% como cancerígeno o como carcinógeno potencial por la ACGIH.

NTP: En este producto no se identifica ningún componente, que presente niveles mayores que o iguales a 0,1%, como agente carcinógeno conocido o anticipado por el (NTP) Programa Nacional de Toxicología.

OSHA: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o el igual a 0,1% como cancerígeno o como carcinógeno potencial por la (OSHA) Administración de Salud y Seguridad Ocupacional.

**Toxicidad para la reproducción**

sin datos disponibles

sin datos disponibles

**Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única**

Inhalación - Puede irritar las vías respiratorias.

**Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas**

sin datos disponibles

**Peligro de aspiración**

sin datos disponibles

**12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA****12.1 Toxicidad**

Toxicidad para las dafnias y otros invertebrados acuáticos CE50 - Daphnia magna (Pulga de mar grande) - 0.015 mg/l - 48 h

**12.2 Persistencia y degradabilidad**

sin datos disponibles

**12.3 Potencial de bioacumulación**

sin datos disponibles

**12.4 Movilidad en el suelo**

sin datos disponibles

**12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB**

La valoración de PBT / mPmB no está disponible ya que la evaluación de la seguridad química no es necesaria / no se ha realizado

**12.6 Otros efectos adversos**

No se puede excluir un peligro para el medio ambiente en el caso de una manipulación o eliminación no profesional.

Muy tóxico para los organismos acuáticos.  
sin datos disponibles

---

### 13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

#### 13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

##### Producto

Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada. Para la eliminación de este producto, dirigirse a un servicio profesional autorizado.

##### Envases contaminados

Eliminar como producto no usado.

---

### 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

#### DOT (US)

Mercancía no peligrosa

#### IMDG

Número ONU: 3077 Clase: 9 Grupo de embalaje: III EMS-No: F-A, S-F  
Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas: ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS SUBSTANCE, SOLID, N.O.S. (Tetradecylamine)  
Contaminante marino: MARINE POLLUTANT

#### IATA

Número ONU: 3077 Clase: 9 Grupo de embalaje: III  
Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas: Sustancia sólida peligrosa para el medio ambiente, n.e.p. (Tetradecylamine)

#### Otros datos

Marca-EHS requerida (códigos ADR 2.2.9.1.10 e IMDG 2.10.3) para embalajes únicos y embalajes combinados que contengan embalajes interiores con Mercancías Peligrosas > 5L para líquidos o > 5Kg para sólidos.

---

### 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

REACH No. : Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior

#### SARA 302 Componentes

SARA 302: Este material no contiene productos químicos sujetos a los requisitos reportados por SARA Título III, sección 302.

#### SARA 313 Componentes

SARA 313: Este material no contiene ningún componente químico con los conocidos números CAS que exceden el umbral de los niveles reportados (De Minimis) establecidos por SARA título III, sección 313.

#### SARA 311/312 Peligros

Peligro Agudo para la Salud

#### Massachusetts Right To Know Componentes

No hay componentes sujetos al Acta de Derecho a Saber de Massachusetts.

#### Pennsylvania Right To Know Componentes

Tetradecylamine	No. CAS 2016-42-4	Fecha de revisión
-----------------	----------------------	-------------------

#### New Jersey Right To Know Componentes

Tetradecylamine	No. CAS 2016-42-4	Fecha de revisión
-----------------	----------------------	-------------------

#### Prop. 65 de California Componentes

Este producto no contiene ninguna sustancia química conocida para el de Estado de California que pueden causar cáncer, defectos de nacimiento, o cualquier otro daño reproductivo.

#### 16. OTRA INFORMACIÓN

##### Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.

Aquatic Acute	Toxicidad acuática aguda
Aquatic Chronic	Toxicidad acuática crónica
Eye Irrit.	Irritación ocular
H315	Provoca irritación cutánea.
H319	Provoca irritación ocular grave.
H335	Puede irritar las vías respiratorias.
H400	Muy tóxico para los organismos acuáticos.
H410	Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

##### Clasificación HMIS/NFPA

Peligro para la salud:	2
Peligro Crónico para la Salud:	
Inflamabilidad:	1
Peligro Físico	0

##### Clasificación NFPA

Peligro para la salud:	2
Peligro de Incendio:	1
Peligro de Reactividad:	0

##### Otros datos

Copyright 2014 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a [www.sigma-aldrich.com](http://www.sigma-aldrich.com) y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

##### Información suministrada por

Corporación Sigma-Aldrich  
Product Safety – Americas Region  
1-800-521-8956

Versión: 4.3

Fecha de revisión:  
04/02/2014

Fecha de impresión:  
04/20/2014



**SIGMA-ALDRICH**

sigma-aldrich.com

**FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD**

Versión 3.4

Fecha de revisión 04/02/2014

Fecha de impresión 04/20/2014

**1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA****1.1 Identificadores del producto**

Nombre del producto : 1,10-Diaminodecane

Referencia : D14204

Marca : Aldrich

REACH No. : Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior

No. CAS : 646-25-3

**1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados**

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

**1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad**Compañía : Sigma-Aldrich Química, S. de R.L. de C.V.  
Parque Industrial Toluca 2000  
Calle 6 Norte No. 107  
50200 TOLUCA  
MEXICO

Teléfono : +52 (0)1-800-007-5300

Fax : +52 (0)1-800-712-9920

**1.4 Teléfono de emergencia**

Teléfono de Urgencia :

**2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS****2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla****Clasificación SGA de acuerdo con 29 CFR 1910 (OSHA HCS).**

Corrosión cutáneas (Categoría 1B), H314

Lesiones oculares graves (Categoría 1), H318

Para el texto íntegro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

**2.2 Elementos de las etiquetas del SGA, incluidos los consejos de prudencia**

Pictograma



Palabra de advertencia : Peligro

Indicación(es) de peligro  
H314

Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

Declaración(es) de prudencia

P260

No respirar los vapores o la niebla.

P264

Lavarse la piel concienzudamente tras la manipulación.

P280

Llevar guantes/ prendas/ gafas/ máscara de protección.

P301 + P330 + P331

EN CASO DE INGESTIÓN: Enjuagarse la boca. NO provocar el vómito.

P303 + P361 + P353

EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitarse inmediatamente las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua o ducharse.

P304 + P340

EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la víctima al exterior y

P305 + P351 + P338	mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar. EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.
P310	Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACION TOXICOLOGICA o a un médico.
P321	Se necesita un tratamiento específico (véase las instrucciones suplementarias de primeros auxilios en esta etiqueta).
P363	Lavar las prendas contaminadas antes de volver a usarlas.
P405	Guardar bajo llave.
P501	Eliminar el contenido/ el recipiente en una planta de eliminación de residuos aprobada.

### 2.3 Peligros no clasificados de otra manera - ninguno(a)

## 3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

### 3.1 Sustancias

Sinónimos : Decamethylenediamine  
1,10-Decanediamine

Formula :  $C_{10}H_{24}N_2$   
Peso molecular : 172.31 g/mol  
No. CAS : 646-25-3  
No. CE : 211-471-9

#### Componentes peligrosos

Componente	Clasificación	Concentración
Decamethylenediamine	Skin Corr. 1B; Eye Dam. 1; H314	-

Para el texto íntegro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

## 4. PRIMEROS AUXILIOS

### 4.1 Descripción de los primeros auxilios

#### Recomendaciones generales

Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio. Retire a la persona de la zona peligrosa.

#### En caso de contacto con los ojos

Lávese a fondo con agua abundante durante 15 minutos por lo menos y consulte al médico. Continuar lavando los ojos durante el transporte al hospital.

#### Si es tragado

No provocar el vómito. Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

### 4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

### 4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente sin datos disponibles

---

## 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

### 5.1 Medios de extinción

#### Medios de extinción apropiados

Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

### 5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)

### 5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

### 5.4 Otros datos

sin datos disponibles

---

## 6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

### 6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Utilícese equipo de protección individual. Evite la formación de polvo. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Evacuar el personal a zonas seguras. Evitar respirar el polvo.

Equipo de protección individual, ver sección 8.

### 6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

### 6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

Recoger y preparar la eliminación sin originar polvo. Limpiar y traspalar. Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

### 6.4 Referencia a otras secciones

Para eliminación de desechos ver sección 13.

---

## 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

### 7.1 Precauciones para una manipulación segura

Evítese la formación de polvo y aerosoles.

Debe disponer de extracción adecuada en aquellos lugares en los que se forma polvo. Disposiciones normales de protección preventivas de incendio.

Ver precauciones en la sección 2.2

### 7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.

### 7.3 Usos específicos finales

Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

---

## 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL

### 8.1 Parámetros de control

#### Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

### 8.2 Controles de la exposición

#### Controles técnicos apropiados

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

#### Protección personal

##### Protección de los ojos/ la cara

Caretas de protección y gafas de seguridad. Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

##### Protección de la piel

Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este



---

**9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**
**9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas**

a) Aspecto	Forma: Masa sólida o fragmentos Color: amarillo claro
b) Olor	sin datos disponibles
c) Umbral olfativo	sin datos disponibles
d) pH	sin datos disponibles
e) Punto de fusión/ punto de congelación	Punto/intervalo de fusión: 59 - 61 °C (138 - 142 °F) - lit.
f) Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	140 °C (284 °F) a 16 hPa (12 mmHg) - lit.
g) Punto de inflamación	sin datos disponibles
h) Tasa de evaporación	sin datos disponibles
i) Inflamabilidad (sólido, gas)	sin datos disponibles
j) Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	sin datos disponibles
k) Presión de vapor	sin datos disponibles
l) Densidad de vapor	sin datos disponibles

Aldrich - D14204

Pagina 4 de 8

m) Densidad relativa	sin datos disponibles
n) Solubilidad en agua	sin datos disponibles
o) Coeficiente de reparto n-octanol/agua	sin datos disponibles
p) Temperatura de auto-inflamación	sin datos disponibles
q) Temperatura de descomposición	sin datos disponibles
r) Viscosidad	sin datos disponibles
s) Propiedades explosivas	sin datos disponibles
t) Propiedades comburentes	sin datos disponibles

**9.2 Otra información de seguridad**

sin datos disponibles

---

**10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**
**10.1 Reactividad**

sin datos disponibles

**10.2 Estabilidad química**

Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

**10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas**

sin datos disponibles

**10.4 Condiciones que deben evitarse**

sin datos disponibles

**10.5 Materiales incompatibles**

Ácidos, Cloruros de ácido, Anhídridos de ácido, Oxidantes

**10.6 Productos de descomposición peligrosos**Otros productos de descomposición peligrosos - sin datos disponibles  
En caso de incendio: véase sección 5

---

**11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA****11.1 Información sobre los efectos toxicológicos****Toxicidad aguda**

sin datos disponibles

Cutáneo: sin datos disponibles

sin datos disponibles

**Corrosión o irritación cutáneas**

sin datos disponibles

**Lesiones o irritación ocular graves**

sin datos disponibles

**Sensibilización respiratoria o cutánea**

sin datos disponibles

**Mutagenicidad en células germinales**

sin datos disponibles

**Carcinogenicidad**

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

ACGIH: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o el

Aldrich - D14204

Pagina 5 de 8

---

**12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA****12.1 Toxicidad**

sin datos disponibles

**12.2 Persistencia y degradabilidad**

sin datos disponibles

**12.3 Potencial de bioacumulación**

sin datos disponibles

**12.4 Movilidad en el suelo**

sin datos disponibles

**12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB**

La valoración de PBT / mPmB no está disponible ya que la evaluación de la seguridad química no es necesaria / no se ha realizado

**12.6 Otros efectos adversos**

sin datos disponibles

---

**13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN****13.1 Métodos para el tratamiento de residuos****Producto**

Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada. Para la eliminación de este producto, dirigirse a un servicio profesional autorizado. Disolver o mezclar el producto con un solvente combustible y quemarlo en un incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador.

**Envases contaminados**

Eliminar como producto no usado.

---

**14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE****DOT (US)**

Número ONU: 3259 Clase: 8

Grupo de embalaje: III

Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas: Polyamines, solid, corrosive n.o.s. (Decamethylenediamine)

Contaminante marino: No

Aldrich - D14204

Pagina 6 de 8



**15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA**

REACH No. : Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior

**SARA 302 Componentes**

SARA 302: Este material no contiene productos químicos sujetos a los requisitos reportados por SARA Título III, sección 302.

**SARA 313 Componentes**

SARA 313: Este material no contiene ningún componente químico con los conocidos números CAS que exceden el umbral de los niveles reportados (De Minimis) establecidos por SARA título III, sección 313.

**SARA 311/312 Peligros**

Peligro Agudo para la Salud

**Massachusetts Right To Know Componentes**

No hay componentes sujetos al Acta de Derecho a Saber de Massachusetts.

**Pennsylvania Right To Know Componentes**

	No. CAS	Fecha de revisión
Decamethylenediamine	646-25-3	

**New Jersey Right To Know Componentes**

	No. CAS	Fecha de revisión
Decamethylenediamine	646-25-3	

**Prop. 65 de California Componentes**

Este producto no contiene ninguna sustancia química conocida para el de Estado de California que pueden causar cáncer, defectos de nacimiento, o cualquier otro daño reproductivo.

**16. OTRA INFORMACIÓN****Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.**

Eye Dam.	Lesiones oculares graves
H314	Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
H318	Provoca lesiones oculares graves.
Skin Corr.	Corrosión cutáneas

**Clasificación HMIS/NFPA**

Peligro para la salud:	3
Peligro Crónico para la Salud:	
Inflamabilidad:	0
Peligro Físico	0

**Clasificación NFPA**

Peligro para la salud:	3
Peligro de Incendio:	0
Peligro de Reactividad:	0

**Otros datos**

Copyright 2014 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a [www.sigma-aldrich.com](http://www.sigma-aldrich.com) y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

**Información suministrada por**

Corporación Sigma-Aldrich  
Product Safety – Americas Region  
1-800-521-8956

Versión: 3.4

Fecha de revisión:  
04/02/2014

Fecha de impresión:  
04/20/2014

**SIGMA-ALDRICH**

sigma-aldrich.com

**FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD**

Versión 4.2

Fecha de revisión 04/02/2014

Fecha de impresión 04/20/2014

**1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA****1.1 Identificadores del producto**

Nombre del producto : Dodecilamina

Referencia : 325163

Marca : Aldrich

REACH No. : Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior

No. CAS : 124-22-1

**1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados**

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

**1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad**

Compañía : Sigma-Aldrich Química, S. de R.L. de C.V  
Parque Industrial Toluca 2000  
Calle 6 Norte No. 107  
50200 TOLUCA  
MEXICO

Teléfono : +52 (0)1-800-007-5300

Fax : +52 (0)1-800-712-9920

**1.4 Teléfono de emergencia**

Teléfono de Urgencia :

**2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS****2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla****Clasificación SGA de acuerdo con 29 CFR 1910 (OSHA HCS).**

Toxicidad aguda, Oral (Categoría 4), H302  
Corrosión cutáneas (Categoría 1B), H314  
Lesiones oculares graves (Categoría 1), H318  
Toxicidad acuática aguda (Categoría 1), H400  
Toxicidad acuática crónica (Categoría 1), H410

Para el texto íntegro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

**2.2 Elementos de las etiquetas del SGA, incluidos los consejos de prudencia**

Pictograma



Palabra de advertencia

Peligro

Indicación(es) de peligro

H302 Nocivo en caso de ingestión.  
H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.  
H410 Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

Declaración(es) de prudencia

P260 No respirar los vapores o la niebla.  
P264 Lavarse la piel concienzudamente tras la manipulación.

P270	No comer, beber ni fumar durante su utilización.
P273	Evitar su liberación al medio ambiente.
P280	Llevar guantes/ prendas/ gafas/ máscara de protección.
P301 + P312	EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico si se encuentra mal.
P301 + P330 + P331	EN CASO DE INGESTIÓN: Enjuagarse la boca. NO provocar el vómito.
P303 + P361 + P353	EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitarse inmediatamente las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua o ducharse.
P304 + P340	EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar.
P305 + P351 + P338	EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.
P310	Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACION TOXICOLOGICA o a un médico.
P321	Se necesita un tratamiento específico (véase las instrucciones suplementarias de primeros auxilios en esta etiqueta).
P363	Lavar las prendas contaminadas antes de volver a usarlas.
P391	Recoger el vertido.
P405	Guardar bajo llave.
P501	Eliminar el contenido/ el recipiente en una planta de eliminación de residuos aprobada.

### 2.3 Peligros no clasificados de otra manera - ninguno(a)

## 3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

### 3.1 Sustancias

Sinónimos : 1-Aminododecane  
Laurylamine

Formula : C<sub>12</sub>H<sub>27</sub>N  
Peso molecular : 185.35 g/mol  
No. CAS : 124-22-1  
No. CE : 204-690-6

#### Componentes peligrosos

Componente	Clasificación	Concentración
Dodecylamine	Acute Tox. 4; Skin Corr. 1B; Eye Dam. 1; Aquatic Acute 1; Aquatic Chronic 1; H302, H314, H410	-

Para el texto íntegro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

## 4. PRIMEROS AUXILIOS

### 4.1 Descripción de los primeros auxilios

#### Recomendaciones generales

Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio. Retire a la persona de la zona peligrosa.

#### Si es inhalado

Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

#### En caso de contacto con la piel

Quítese inmediatamente la ropa y zapatos contaminados. Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.



**En caso de contacto con los ojos**

Lávese a fondo con agua abundante durante 15 minutos por lo menos y consulte al médico. Continuar lavando los ojos durante el transporte al hospital.

**Si es tragado**

No provocar el vómito. Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

**4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados**

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

**4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente sin datos disponibles**

---

**5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS****5.1 Medios de extinción****Medios de extinción apropiados**

Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

**5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla**

Óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno (NOx)

**5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios**

Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

**5.4 Otros datos**

sin datos disponibles

---

**6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL****6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**

Utilícese equipo de protección individual. Evite la formación de polvo. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Evacuar el personal a zonas seguras. Evitar respirar el polvo. Equipo de protección individual, ver sección 8.

**6.4 Referencia a otras secciones**

Para eliminación de desechos ver sección 13.

---

**7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO****7.1 Precauciones para una manipulación segura**

Evítese el contacto con los ojos y la piel. Evítese la formación de polvo y aerosoles. Debe disponer de extracción adecuada en aquellos lugares en los que se forma polvo. Disposiciones normales de protección preventivas de incendio. Ver precauciones en la sección 2.2

**7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades**

Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.

Almacenar en atmósfera inerte. Sensible al aire.

**7.3 Usos específicos finales**

Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

## 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL

### 8.1 Parámetros de control

#### Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

### 8.2 Controles de la exposición

#### Controles técnicos apropiados

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

#### Protección personal

##### Protección de los ojos/ la cara

Caretas de protección y gafas de seguridad. Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

##### Protección de la piel

Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

##### Sumerción

Material: Caucho nitrilo

espesura mínima de capa: 0.4 mm

Tiempo de perforación: 480 min

Material probado: Camatrik® (KCL 730 / Aldrich Z677442, Talla M)

##### Salpicaduras

Material: Caucho nitrilo

espesura mínima de capa: 0.11 mm

Tiempo de perforación: 60 min

Material probado: Dermatril® (KCL 740 / Aldrich Z677272, Talla M)

origen de datos: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Teléfono +49 (0)6659 87300, e-mail sales@kcl.de, Método de prueba: EN374

Si es utilizado en solución, o mezclado con otras sustancias, y bajo condiciones diferentes de la EN 374, ponerse en contacto con el proveedor de los guantes aprobados CE. Esta recomendación es meramente aconsejable y deberá ser evaluada por un responsable de seguridad e higiene industrial familiarizado con la situación específica de uso previsto por nuestros clientes. No debe interpretarse como una aprobación de oferta para cualquier escenario de uso específico.

## 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

### 9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

- |            |                                      |
|------------|--------------------------------------|
| a) Aspecto | Forma: cristalino<br>Color: incoloro |
| b) Olor    | sin datos disponibles                |

Aldrich - 325163

Página 4 de 8

- |  |   |
|--|---|
| c) Umbral olfativo                                       | sin datos disponibles                                     |
| d) pH  | sin datos disponibles                                     |
| e) Punto de fusión/ punto de congelación                 | Punto/intervalo de fusión: 27 - 29 °C (81 - 84 °F) - lit. |
| f) Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición | 247 - 249 °C (477 - 480 °F) - lit.                        |
| g) Punto de inflamación                                  | 115 °C (239 °F) - copa cerrada                            |
| h) Tasa de evaporación                                   | sin datos disponibles                                     |
| i) Inflamabilidad (sólido, gas)                          | sin datos disponibles                                     |

j) Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	sin datos disponibles
k) Presión de vapor	85 hPa (64 mmHg) a 170 °C (338 °F)
l) Densidad de vapor	sin datos disponibles
m) Densidad relativa	sin datos disponibles
n) Solubilidad en agua	sin datos disponibles
o) Coeficiente de reparto n-octanol/agua	log Pow: 4.7
p) Temperatura de auto-inflamación	sin datos disponibles
q) Temperatura de descomposición	sin datos disponibles
r) Viscosidad	sin datos disponibles
s) Propiedades explosivas	sin datos disponibles
t) Propiedades comburentes	sin datos disponibles

**9.2 Otra información de seguridad**  
sin datos disponibles

---

**10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**

**10.1 Reactividad**

sin datos disponibles

**10.2 Estabilidad química**

Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

**10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas**

sin datos disponibles

**10.4 Condiciones que deben evitarse**

Su exposición al aire puede afectar a la calidad del producto.

**10.5 Materiales incompatibles**

Ácidos, Cloruros de ácido, Anhídridos de ácido, Oxidantes

**10.6 Productos de descomposición peligrosos**

Otros productos de descomposición peligrosos - sin datos disponibles  
En caso de incendio: véase sección 5



**11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA****11.1 Información sobre los efectos toxicológicos****Toxicidad aguda**

DL50 Oral - rata - 1,020 mg/kg

Observaciones: Gastrointestinal: Otros cambios

Inhalación: sin datos disponibles

Cutáneo: sin datos disponibles

sin datos disponibles

**Corrosión o irritación cutáneas**

Piel - conejo

Resultado: Corrosivo

**Lesiones o irritación ocular graves**

sin datos disponibles

**Sensibilización respiratoria o cutánea**

sin datos disponibles

**Mutagenicidad en células germinales**

sin datos disponibles

**Carcinogenicidad**

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

ACGIH: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o el igual a 0,1% como cancerígeno o como carcinógeno potencial por la ACGIH.

NTP: En este producto no se identifica ningún componente, que presente niveles mayores que o iguales a 0.1%, como agente carcinógeno conocido o anticipado por el (NTP) Programa Nacional de Toxicología.

OSHA: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o el igual a 0,1% como cancerígeno o como carcinógeno potencial por la (OSHA) Administración de Salud y Seguridad Ocupacional.

**Toxicidad para la reproducción**

sin datos disponibles

sin datos disponibles

**Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única**

sin datos disponibles

**Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas**

sin datos disponibles

**Peligro de aspiración**

sin datos disponibles

**Información Adicional**

RTECS: JR6475000

Tos, Insuficiencia respiratoria, Dolor de cabeza, Náusea, Vómitos

**12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA****12.1 Toxicidad**

Toxicidad para los peces CL50 - Pimephales promelas (Piscardo de cabeza gorda) - 103 mg/l - 96.0 h

Toxicidad para las dafnias y otros CE50 - Daphnia magna (Pulga de mar grande) - 0.026 mg/l - 48 h

Aldrich - 325163

Pagina 6 de 8



- 12.2 Persistencia y degradabilidad**  
sin datos disponibles
- 12.3 Potencial de bioacumulación**  
sin datos disponibles
- 12.4 Movilidad en el suelo**  
sin datos disponibles
- 12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB**  
La valoración de PBT / mPmB no está disponible ya que la evaluación de la seguridad química no es necesaria / no se ha realizado
- 12.6 Otros efectos adversos**  
Muy tóxico para los organismos acuáticos.  
No se puede excluir un peligro para el medio ambiente en el caso de una manipulación o eliminación no profesional.

---

### 13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

#### 13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

##### Producto

Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada. Para la eliminación de este producto, dirigirse a un servicio profesional autorizado. Disolver o mezclar el producto con un solvente combustible y quemarlo en un incinerador apto para productos químicos provisto de postquemador y lavador.

##### Envases contaminados

Eliminar como producto no usado.

---

### 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

#### DOT (US)

Número ONU: 3259 Clase: 8 Grupo de embalaje: III  
Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas: Amines, solid, corrosive, n.o.s. (Dodecylamine)  
Contaminante marino: No  
Riesgo de intoxicación por inhalación: No

#### IMDG

Número ONU: 3259 Clase: 8 Grupo de embalaje: III EMS-No: F-A, S-B  
Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas: AMINES, SOLID, CORROSIVE, N.O.S. (Dodecylamine)  
Contaminante marino: No

---

### 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

REACH No. : Un número de registro no está disponible para esta sustancia, ya que la sustancia o sus usos están exentos del registro, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior

#### SARA 302 Componentes

SARA 302: Este material no contiene productos químicos sujetos a los requisitos reportados por SARA Título III, sección 302.

#### SARA 313 Componentes

SARA 313: Este material no contiene ningún componente químico con los conocidos números CAS que exceden el umbral de los niveles reportados (De Minimis) establecidos por SARA título III, sección 313.

#### SARA 311/312 Peligros

Peligro Agudo para la Salud

#### Massachusetts Right To Know Componentes

No hay componentes sujetos al Acta de Derecho a Saber de Massachusetts.

**Pennsylvania Right To Know Componentes**

Dodecylamine	No. CAS 124-22-1	Fecha de revisión
--------------	---------------------	-------------------

**New Jersey Right To Know Componentes**

Dodecylamine	No. CAS 124-22-1	Fecha de revisión
--------------	---------------------	-------------------

**Prop. 65 de California Componentes**

Este producto no contiene ninguna sustancia química conocida para el de Estado de California que pueden causar cáncer, defectos de nacimiento, o cualquier otro daño reproductivo.

**16. OTRA INFORMACIÓN****Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.**

Acute Tox.	Toxicidad aguda
Aquatic Acute	Toxicidad acuática aguda
Aquatic Chronic	Toxicidad acuática crónica
Eye Dam.	Lesiones oculares graves
H302	Nocivo en caso de ingestión.
H314	Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
H318	Provoca lesiones oculares graves.
H400	Muy tóxico para los organismos acuáticos.

**Clasificación HMIS/NFPA**

Peligro para la salud:	3
Peligro Crónico para la Salud:	
Inflamabilidad:	1
Peligro Físico	0

**Clasificación NFPA**

Peligro para la salud:	3
Peligro de Incendio:	1
Peligro de Reactividad:	0

**Información suministrada por**

Corporación Sigma-Aldrich  
Product Safety – Americas Region  
1-800-521-8956

Versión: 4.2

Fecha de revisión:  
04/02/2014Fecha de impresión:  
04/20/2014