



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

**“INFLUENCIA DE BENTONITA MODIFICADA EN
NANOCOMPUESTOS DE POLIETILENTEREFTALATO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICA

PRESENTA

BRENDA GUADALUPE BAÑOS FERNÁNDEZ

ASESORA: M. en C. María del Rosario Rodríguez Hidalgo.

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO

2011.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
 ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLAN
 PRESENTE



ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
 Jefa del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Influencia de bentonita modificada en nanocompuestos de polietilentereftalato

Que presenta la pasante Brenda Guadalupe Baños Fernández
 Con número de cuenta: 405003352 para obtener el título de:
Química

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
 Cuautitlan Izcalli, Mex. a 23 de mayo de 2011

PRESIDENTE	<u>Dr. Adolfo Eduardo Obaya Valdivia</u>	
VOCAL	<u>Q. Ciro Ismael Salas Butrón</u>	
SECRETARIO	<u>M.C. María del Rosario Rodríguez Hidalgo</u>	
1er SUPLENTE	<u>Dra. Yolanda Marina Vargas Rodríguez</u>	
2º SUPLENTE	<u>Q. Juana Cabrera Hernández</u>	

AGRADECIMIENTOS.

Al proyecto **PAPIIT** “Simulación de sistemas poliméricos utilizados como vehículos de entrega sintéticos (liberadores de fármacos) y efectos del medio”.

Clave: **IN104410-2**

Al Dr. Luis Alberto Vicente Hiestroza por el apoyo al acceso de los equipos de caracterización de la USAI - CU, UNAM.

A la Q. Margarita Portilla Bauza y Q Elvia del Socorro Reynoso Herrera responsables del Laboratorio de Análisis Térmico de la USAI, UNAM.

A la Q. Maricela Patricia Gutiérrez Franco responsable del Laboratorio de Espectroscopia de Infrarrojo y UV-Visible de la USAI, UNAM.

Al Ing. Ricardo Eras Cruz por su valiosa asesoría en las pruebas mecánicas realizadas en la FES - Aragón, UNAM.

A la Q. I. Cecilia Salcedo responsable del equipo de rayos X de la USAI, UNAM.

A mis padres:

Gracias por el apoyo, por creer en mí y por brindarme consejos ya que sin ellos no hubiera podido lograr este gran pasó en mi vida.

A mis Hermanas Sandra, Xochitl y Karina.

Gracias por alentarme siempre a seguir adelante, aunque pareciera tan difícil el camino, por todo su apoyo, por cada consejo que me ayudo a mejorar en mi vida y mi carrera.

A mi esposo Angel.

Porque sin tu apoyo, cariño, consideración y confianza no hubiera cerrado este ciclo tan importante en mi vida, Te amo.

A mi hijo Axel Said.

Por ser un aliciente e inspiración para querer ser una mejor persona día con día, eres el mejor regalo que la vida me pudo dar, Te amo.

A mis amigos Araceli, Claudia, Ingrid y Oscar.

Gracias por todos los momentos inolvidables que pasamos, algunos más divertidos que otros, por su ayuda, por el tiempo que me regalaron. Por nuestra amistad que espero y dure muchos años más. Y en especial a ti que nunca me dejaste sola.

A la familia Carmona Barajas

Por ser un apoyo importante para que pudiera realizar este trabajo y por cuidar de mi más grande tesoro.

A la M.C María del Rosario Rodríguez Hidalgo.

Por siempre darme su apoyo y porque nunca perdió la confianza en mí, por su tiempo, sus consejos y por convertirse no solo en una profesora muy importante en mi carrera sino una gran amiga, muchas gracias.

Al Dr. Cesar Soto Figueroa.

Gracias por siempre alentarme a salir adelante y por sus consejos.

A la UNAM Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 1.

Por darme la oportunidad de estudiar en sus aulas y de convertirme en una profesionalista.

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”

“No me desanimare por cada intento fallido que logre descartar, es un paso más hacia adelante”.

Thomas Alva Edison.

ÍNDICE.

RESUMEN.....	I
OBJETIVO GENERAL.....	III
OBJETIVOS PARTICULARES.....	III
HIPÓTESIS.....	III
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	IV

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.

1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.1.1. Nanocompuestos.....	1
1.1.2. Polímeros.....	2
1.1.3. Arcillas.....	3
1.1.4. Propiedades de la nanoarcilla.....	5
1.1.5. Matrices y reforzamientos.....	7
1.1.6. Materiales compuestos con matriz polimérica.....	8

CAPÍTULO 2. JUSTIFICACIÓN.

2.1. POLIETILENTEREFTALATO.....	11
2.1.1. Síntesis del PET.....	12
2.2. BENTONITA.....	15
2.2.1 Uso de bentonitas.....	15

CAPÍTULO 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	19
3.1.1. Modificación de la Bentonita.....	19
3.1.2.Preparación del Nanocompuesto de PET.....	19

3.1.3. Caracterización de los nanocompuestos de PET.....	19
3.2. CARACTERIZACIÓN.	
3.2.1 Espectroscopia Infrarrojo.....	21
3.2.2. Difracción de Rayos X.....	23
3.2.3. Resistencia a la Compresión.....	24
3.2.4. Densidad.....	27
3.2.5. Métodos Termogravimétricos.....	28
3.2.6. Calorimetría Diferencial de Barrido.....	30

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Espectroscopia Infrarrojo.....	33
4.2. Difracción de Rayos X.....	35
4.3. Termograma de Bentonita.....	37
4.4. Preparación del Nanocompuesto.....	38
4.5. Pruebas Mecánicas.....	41
4.6. Análisis Térmico.....	44
CONCLUSIONES.....	49
BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXOS.....	54

RESUMEN

La sociedad consume a diario una considerable cantidad de objetos desechables de plásticos que, una vez cumplidos con su cometido, pasan a formar parte de la basura de las grandes ciudades. El principal problema de los desperdicios se debe a la acumulación progresiva en tiraderos a cielo abierto, la acumulación de basura depende en gran medida del tiempo que duran los materiales de desecho sin descomposición, o bien, del tiempo que tardan los materiales en ser aprovechados para fines industriales.

La calidad medio ambiental depende de la nueva habilidad de la población para controlar la contaminación del aire, del agua y del suelo. Las técnicas de control de la contaminación emplean diversos métodos como el reciclaje y la reutilización, los procedimientos de fabricación de los materiales deben producir mínima degradación ambiental, esto es, mínima contaminación y mínima destrucción del paisaje en aquellos lugares de donde se extraen las materias primas.

El permanente desafío tecnológico requiere materiales cada vez más sofisticados y especializados. La mayoría de los materiales que utilizamos proceden de fuentes no renovables es decir, que no son capaces de regenerarse. Entre ellos se encuentran los polímeros, cuya principal fuente es el petróleo. Estas fuentes no renovables se empobrecen paulatinamente, por lo que es necesario descubrir nuevas reservas o desarrollar nuevos materiales con propiedades comparables y con menos impacto al medio ambiente. [1,2]

La investigación científica y tecnológica en el área de los polímeros se ocupa de buscar soluciones a los problemas de producción, de perfeccionar los procesos de fabricación y de mejorar la cantidad de los productos hechos de plásticos. Los artículos elaborados con material plástico, permiten tener mejores costos de maquinación y montaje; en la producción de plásticos el producto sale limpio del molde, con colores definitivos así como nuevos materiales con elevada resistencia, baja densidad y capaces de soportar elevadas temperaturas.

En esta tesis se presenta una manera de cómo podemos aprovechar uno de los desechos más abundantes de la contaminación ambiental, el PET.

Se realizó en principio un tratamiento de la bentonita en donde se mezcló con el compuesto orgánico hexadecilamina a diferentes concentraciones del compuesto

orgánico y en diferentes tiempos, a estos compuestos se les caracterizó mediante Difracción de Rayos X, Espectroscopia Infrarroja para cada una de las muestras, posteriormente se seleccionó la mezcla que presento una mayor modificación en su distancia interlaminar.

Posteriormente se mezcló el PET con proporciones de bentonita modificada y sin modificar, se realizó así la caracterización de las muestras en donde se realizaron pruebas como Espectroscopia Infrarrojo, Calorimetría Diferencial de Barrido DSC y Termogravimetría, así como pruebas de densidad y pruebas de esfuerzo máximo.

Este tratamiento del PET con bentonita le confiere mayores propiedades físicas y mecánicas, por lo que puede utilizarse en la ingeniería.

Objetivo General

Estudiar la influencia de la bentonita modificada en nanocompuestos de polietilentereftalato.

Objetivos particulares

- Realizar la modificación orgánica de bentonita con cantidades variables de hexadecilamina.
- Caracterizar la bentonita modificada por medio de difracción de rayos X espectroscopia de infrarrojo y termogravimetría.
- Seleccionar la mejor bentonita modificada para realizar el nanocompuesto de PET.
- Preparar nanocompuestos de PET con cantidades variables de bentonita modificada y sin modificar.
- Caracterizar los nanocompuestos de PET por medio de análisis de densidad, resistencia máxima a la compresión, esfuerzo contra deformación, espectroscopia infrarrojo y pruebas fisicoquímicas como calorimetría diferencial de barrido y análisis termo gravimétrico.

Hipótesis

La concentración de hexadecilamina influirá en la bentonita para comprobar que la mezcla de matriz polimérica PET y silicatos laminados, presentan mejores propiedades térmicas y mecánicas.

Glosario de Términos

Aditivo: Aditivos son aquellas sustancias o productos (inorgánicos o orgánicos) que, incorporados a otros compuestos producen una modificación en el aspecto de una de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento.

Agente de acoplamiento: los agentes de acoplamiento tiene la función de unir a compuestos, aumentando la atracción interfacial entre los compuestos por lo que se hacen más compatibles y se lleva a cabo un mejor mezclado.

Agregado: Es un material inerte que se presta a ser ligado por una matriz para conformar una masa aglomerada.

Anisotrópico: es un material que no se comporta de la misma manera en todas las direcciones. Se refiere a las propiedades que se diferencian por la dirección en que se mide es decir que sus características no son las mismas en todos sus cortes.

Carga aplicada: peso que soporta una estructura.

Compresión: El esfuerzo de compresión es la resultante de las tensiones o presiones que existe dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen o un acortamiento en determinada dirección.

Compuesto laminado: es un compuesto que consta de láminas o paneles que tienen una dirección preferente con elevada resistencia, tal como ocurre en la madera en los plásticos reforzados con fibras continuas y alineadas.

Estabilidad dimensional: Propiedad que tienen ciertos materiales que al ser sometidos a cambios de temperatura y humedad no pierden su forma y mantiene sus dimensiones originales.

Estrato: es cada una de las capas en que puede dividirse las rocas debido al proceso de sedimentación. Los estratos aparecen como capas horizontales de espesor más o menos uniforme.

Exfoliación: en un mineral se refiere a la rotura a lo largo de los planos atómicos con enlaces químicos débiles, y está relacionado con la estructura del mismo.

Impureza: Sustancia o conjunto de sustancias extrañas a un cuerpo o materia que están mezcladas con él y alteran, en algunos casos, alguna de sus cualidades.

Inercia química: es la propiedad de las especies químicas de no reaccionar químicamente. Es decir, es la poca tendencia de una especie química a reaccionar químicamente con otras. Este concepto está íntimamente ligado al de estabilidad molecular, y se explica por las altas energías de enlace que poseen ciertos compuestos.

Interfase: se conoce como interfase a la región dimensional de contacto entre las fases a y b en la cual las moléculas interaccionan con moléculas de ambas fases. Se refiere a la superficie geométrica que separa 2 fases.

Isotrópico: Responden de la misma manera en todas las direcciones. Se refiere a propiedades que no difieren, no importa en qué dirección se mide.

Punto de cedencia: Punto en el cual, el material sufre una deformación plástica, es decir, el material pasa la deformación elástica y queda deformado permanentemente.

Resina epóxica: es un polímero termoestable (la resina) que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o endurecedor. Las resinas epóxi más frecuentes son producto de una reacción entre bisfenol-A y la epiclorohidrina. Las resinas epoxi están constituidas comúnmente de dos componentes que se mezclan previamente antes de ser usados; al mezclarse reaccionan causando la solidificación de la resina, su curado se realiza a temperatura ambiente, durante ese curado o secado se forman enlaces cruzados lo que hace que su peso molecular sea alto.

Resistencia a la fatiga: Magnitud del esfuerzo fluctuante necesario para producir una falla en una probeta de ensayo de fatiga después de un número especificado de ciclos de carga.

Rigidez: es la capacidad de un elemento estructural o de un objeto para soportar esfuerzos sin deformarse o desplazarse. Suele calcularse a partir de la razón entre una fuerza aplicada y el desplazamiento generado por la aplicación de dicha fuerza.

Sustitución isomórfica: implica que el sitio que normalmente ocupa un catión formador de red cristalina es ocupado por otro catión, asimismo formador de red, y con tamaño similar. Esto ocurre en la propia red, ya sea durante el crecimiento cristalino, o durante su alteración química. En cualquier caso, se trata de un proceso lento o muy lento, ya que afecta a la química interna del mineral.

u.m.a: Unidad de Masa Atómica. Masa exactamente igual a $\frac{1}{12}$ de la masa de un átomo de carbono -12.

Vida útil: duración estimada que un objeto puede tener cumpliendo correctamente con la función para la cual ha sido creado. Cuando se refiere a obras de ingeniería, como carreteras, puentes, represas, etc., se calcula en años, sobre todo para efectos de su amortización, ya que en general estas obras continúan prestando utilidad mucho más allá del tiempo estimado como vida útil para el análisis de factibilidad económica.

Viscosidad: es la resistencia que presenta un líquido a fluir. Se mide a través del coeficiente de viscosidad, una propiedad que depende de la temperatura.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.2. ANTECEDENTES.

1.2.1. Nanocompuestos.

Los nanocompuestos son básicamente combinaciones de polímeros y de minerales, en donde los últimos se encuentran altamente dispersos en los primeros. En este caso nos referiremos a las nanoarcillas las cuales son ciertos tipos de minerales que tienen la capacidad de exfoliarse en capas con grosor de orden de un nanómetro (esto es, de una millonésima de milímetro). El ancho y el largo de las plaquetas pueden tener dimensiones más grandes (de 100 a 1000 nanómetros). Por esta razón, se afirma que los minerales de los nanocompuestos tienen una relación muy alta entre longitud y espesor, y que de esta manera el contacto entre ellos y los polímeros se hace a través de áreas superficiales muy altas.

Los nanocompuestos permiten obtener una significativa modificación y mejoramiento al adicionarse en un pequeño porcentaje en peso (wt.%) de compuestos inorgánicos laminados de tamaño nanométrico a una cantidad de polímero.

Al existir un área de interacción muy alta entre el aditivo mineral y el polímero, se desarrollan propiedades también excepcionales en el compuesto como son una mayor resistencia al calor, un módulo elástico alto, baja viscosidad, estabilidad dimensional, buena apariencia de la superficie y propiedades de barrera mejoradas; todo esto con niveles de aditivo del orden del 2% al 6% en peso.[2]

Los materiales compuestos tienen ventajas evidentes, en primera instancia se tienen sus cualidades funcionales: ligereza, resistencia mecánica, inercia química, larga durabilidad, mantenimiento reducido, flexibilidad en la forma en los productos conseguidos. Su uso permite aumentar la vida útil de ciertos equipos y dispositivos gracias a sus propiedades mecánicas (rigidez, resistencia a la fatiga) y también a las propiedades químicas (resistencia a la corrosión). [3]

Cada uno de estos materiales puede lograr un equilibrio aprovechando las ventajas que presentan individualmente y disminuyendo sus desventajas, la mezcla o agregación macroscópica de los diferentes materiales conserva en el producto ya procesado sus intercaras superficiales y su identidad propia.

Las características específicas que definen a los materiales compuestos son:

- Estar formados por dos o más materiales distintos, separables mecánicamente.
- Pueden fabricarse por medio de la mezcla de ellos, de manera que la dispersión de uno en otro sea de manera controlada
- Dan lugar a la combinación de propiedades que sea superior a los componentes por separado.

Las propiedades de los materiales dependen esencialmente de:

- a. Las propiedades y proporciones de los componentes base (matriz y refuerzo).
- b. La forma y distribución del refuerzo.
- c. La interacción matriz-refuerzo en su zona de interfase.

1.2.2. Polímeros.

Los polímeros son sustancias constituidas por pequeñas unidades químicas simples que se repiten y se denominan monómeros. La repetición de monómeros puede ser lineal (eslabones) o ramificada (retículos tridimensionales).

Es un material de alto peso molecular, este puede variar desde los 10 000 a los 20 000 u.m.a siendo estos los considerados de bajo peso molecular hasta los altos polímeros que alcanzan pesos de varios millones u.m.a. los átomos que constituyen estos materiales son los básicos de la materia orgánica como carbono, oxígeno, nitrógeno, hidrógeno. [1]

Los polímeros tienen características que le confieren muchas ventajas al respecto de otros materiales tales como ser:

- Materiales ligeros.
- Muy buenos aislantes de la electricidad.
- Resistentes a la corrosión y a la acción de agentes químicos.
- Fáciles de fabricar y su moldeo es sencillo y puede realizarse mediante diversos métodos.
- Más baratos que otros materiales como la madera o los metales.

Pero así también algunas características no lo favorecen como por ejemplo:

- No soportan altas temperaturas ya que a temperaturas mayores de 200 °C se funden o degradan.
- La mayoría de los polímeros son sintéticos y se obtienen de materias primas como el petróleo, el gas natural o el carbón, pero también existen polímeros naturales como la celulosa y el caucho.

1.2.3. Arcillas.

Uno de los materiales más ampliamente usados es la arcilla. Este ingrediente es barato y que se encuentra de forma natural en gran abundancia, algunas veces se utiliza tal y como se extrae de la mina y en algunas otras es necesario que se lleve a cabo un proceso para que aumente su grado de calidad. Otra razón de su popularidad es la facilidad con la que los productos de la arcilla pueden conformarse; cuando el agua y la arcilla se mezclan en proporciones adecuadas, se forma una masa plástica a la cual puede darle la forma deseada.

La arcilla funde en un amplio intervalo de temperaturas; así una cerámica densa y fuerte puede obtenerse durante el cocido sin fusión completa de manera que la forma deseada se conserve.

Las arcillas son aluminosilicatos, formados por alúmina (Al_2O_3) y sílice (SiO_2), que contiene agua enlazada químicamente. Tienen una amplia gama de características físicas, composiciones químicas y estructuras; las impurezas comunes incluyen compuestos (generalmente óxidos) de bario, calcio, sodio, potasio y hierro, y también algo de materia orgánica.

Los silicatos laminares tienen una estructura bidimensional en forma de capas o láminas también puede producirse compartiendo tres iones de oxígeno en cada uno de los tetraedros; en esta estructura la fórmula unidad que se repite se puede representar por $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{-2}$. La carga negativa neta está asociada con los átomos de oxígenos no enlazados, los cuales están en la dirección perpendicular al plano. La neutralidad de la carga eléctrica se alcanza usualmente por medio de la estructura de una segunda lámina que tiene un número de cationes en exceso, los cuales se enlazan a estos átomos de oxígeno no saturados en la capa de Si_2O_5 . [1]

Las nanoarcillas tienen la característica de ser hidrofílicas, lo que dificulta su exfoliación completa y dispersión dentro de los polímeros convencionales que suelen tener un carácter hidrófobo. Por esta razón, normalmente se modifica la montmorillonita a través de sustitución de sus iones de sodio por iones de amonio orgánico, dando como resultado un complejo organo-arcilloso que si es compatible con los materiales plásticos, de manera que las plaquetas individuales pueden dispersarse más fácilmente en la matriz polimérica (Figura 1.1).

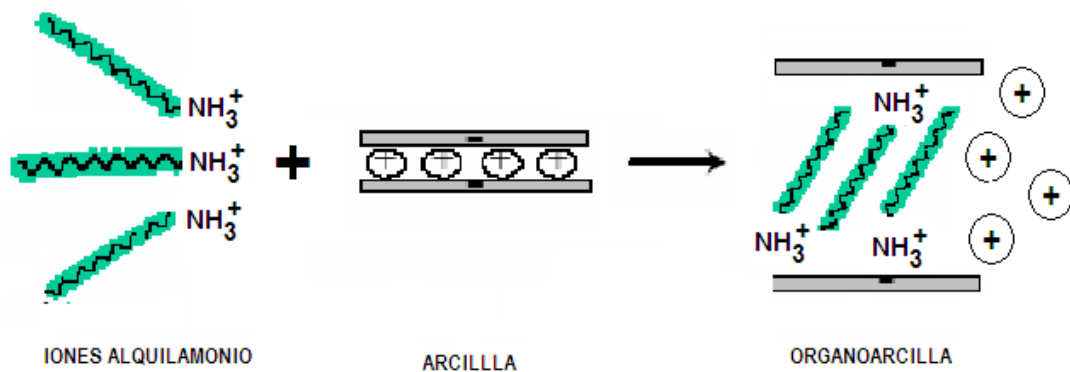


FIGURA 1.1 .PROCESO DE TRANSFORMACION DE ARCILLA SÓDICA A NANOARCILLA MEDIANTE EL USO DE IONES ALQUIL AMONIO.

Las arcillas tipo esmectita son una clase de arcillas laminadas que se pueden hinchar bajo el efecto del agua, además tienen una significativa capacidad de intercambio de cationes, la cual está alrededor de 80 meq / 100 g (esto significa que existen 80 meq de cationes intercambiables por cada 100 g de arcilla).

La unidad fundamental inorgánica de este tipo de arcilla está compuesta por dos capas tetraédricas de silicato que encierran en forma de emparedado a una capa metálica central octaédricas Figura 1.2. [4]

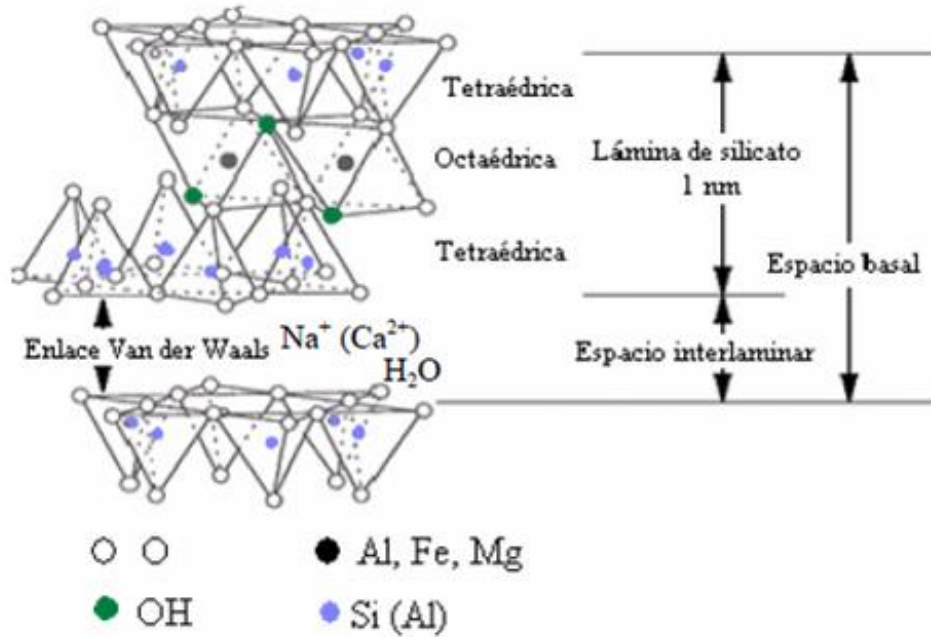


FIGURA 1.2. ESTRUCTURA DE MONTMORILLONITA

1.1.4. Propiedades de la nanoarcilla.

El término nanoarcilla desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales, filosilicatos en su mayoría, cuyas propiedades físicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 100 nm).

La nanoarcilla es un material natural modificado que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica. Una vez modificadas con cationes orgánicos son usadas como rellenos en matrices poliméricas.[5]

Las más importantes aplicaciones industriales de las nanoarcillas radican en sus propiedades físico-químicas.

Algunas propiedades de las arcillas son:

- Un tamaño de partícula inferior a 5 nm.
- Tienen espacios basales en el intervalo de 1.2 a 2.0 nm, dependiendo del tipo de catión y de la cantidad de agua presente.
- Su morfología laminar (filosilicatos).

- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de cargas en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

La capacidad de intercambio catiónico es una propiedad fundamental de las organoarcillas tipo esmectitas. Son capaces de cambiar fácilmente los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras, por otros cationes existentes en las soluciones acuosas envolventes. Esto significa que pueden captar ciertos cationes (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , etc.) y aniones (S_4O_2^- , Cl^- , P_4O_3^- , NO_3^- , etc.) y retenerlos en un estado intercambiable, es decir que estos iones pueden intercambiarse por otros cationes o aniones si las arcillas son tratadas con una solución acuosa de dichos iones.

La hidratación y la deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las nanoarcillas, la hidratación e hinchamiento de la arcilla ocurre independientemente del tipo de catión que se presente, el grado de deshidratación está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina.

La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando 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 y 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. [6]

Clasificación de las arcillas.

Los filosilicatos se clasifican si son bilaminares o trilaminares y dioctaédricos o trioctaédricos Tabla 1.1, como puede verse pertenecen a los filosilicatos grupos de minerales como las micas y las arcillas.

TABLA 1.1 CLASIFICACION DE LAS ARCILLAS SEGÚN SU MORFOLOGIA				
	DIOCTAEDRICOS		TRIOCTAEDRICOS	
Bilaminares T : O 1:1		Caolinita		Antigorita
	CANDITAS	Nacrita	SERPENTINA	crisotilo
		Dickitga		lizardita
		halloisita		bertierina
TRILAMINARES T : O : T 2 : 1	pirofilita		talco	
		Montmorillonita		saponita
	ESMECTITAS	Beidelita	ESMECTITAS	hectorita
		Nontronita		
	Vermiculitas		vermiculitas	
	Illitas			
		moscovita		biotita
	MICAS	paragonita	MICAS	flogopita
				lepidolita
T : O . T : O 2 : 1 : 1	CLORITAS			
FIBROSOS	paligorskita		sepiolita	

1.1.5. Matrices y Reforzamientos

Matrices.

Se denomina así al componente básico cuya proporción es mayoritaria en la composición del nanocompuesto. Su composición química y estructural van a determinar las posibles aplicaciones del material a lo largo de la cadena, los átomos están unidos por enlaces covalentes, de manera que cada uno de estos enlaces impone una posición relativa a los átomos enlazados. En términos generales, la geometría espacial de la molécula depende de las distancias de enlace entre sus

átomos, de los ángulos de enlace y de las posibilidades de rotación interna de los átomos alrededor de los enlaces. En esta tesis se utilizará el plástico PET como matriz.

La función de la matriz es, ante todo, rellenar los espacios no ocupados por el refuerzo, así mismo ejercer funciones esenciales, como transmitir las cargas aplicadas, mantener el refuerzo en la dirección de los esfuerzos predominantes, separar las partículas para que actúen como elementos independientes, así como proteger el refuerzo de daños estructurales y ataques corrosivos. La matriz puede compartir con el refuerzo el soporte de las cargas, o completar las propiedades del refuerzo, mejorando la tenacidad, y la distribución de tensiones en el caso de impacto. [3,9]

Todo aquello exige una adecuada adherencia entre matriz y refuerzo, que muchas veces ha de ser establecida por tratamientos superficiales de los refuerzos con agentes de acoplamiento.

1.1.6 Materiales compuestos con matriz polimérica.

Se utilizan este tipo de matrices cuando la aplicación es a bajas temperaturas, en un principio a finales del siglo XIX era utilizada para la preparación la celulosa como material de refuerzo y acetato de celulosa como matriz. En la actualidad, se utilizan materiales termoplásticos y termoestables, las primeras constituidas por polímeros comunes, tales como polietileno, polipropileno, poliestireno, policloruro de vinilo, polietilentereftalato, entre otros, macromoléculas que se endurecen durante su enfriamiento en un proceso térmicamente reversible, se refuerzan con fibras o partículas laminares de bajo costo.

Entre los polímeros termoestables más utilizados cabe citar las resinas de poliéster insaturado, resinas epóxicas y poliimidas. Las piezas fabricadas con matrices termoestables se conforman mediante calentamiento de una transformación irreversible. El refuerzo más habitual en este caso es fibra de vidrio, material relativamente barato y de muy interesantes prestaciones mecánicas.

Los materiales compuestos a base de polímeros tienen una amplia aplicación en la industria del transporte, aeronáutica y construcciones navales debido a sus buenas propiedades mecánicas, baja densidad, y a sus elevadas propiedades mecánicas específicas. [2,3]

Refuerzo

Es el segundo ingrediente en la composición de un material compuesto. Sus características químicas y su geometría son fundamentales en su elección como elemento constituyente en el material compuesto. La citada geometría del refuerzo es otra referencia en la clasificación de los materiales compuestos. Las formas habituales son partículas, fibras y láminas.

Los refuerzos son ingredientes que se añaden a las resinas y polímeros, estos ingredientes no se disuelven en la matriz de polímero. Por consiguiente, el material pasa a ser compuestos, los motivos por los cuales se adicionan estos refuerzos destaca la mejora de las propiedades físicas como solidez, resistencia al impacto y la rigidez. [7]

Existen 6 variables que influyen en las propiedades de los materiales y estructuras compuestas reforzadas.

1. Unión de interfaz entre la matriz y los refuerzos. La matriz sirve para transmitir la mayor parte de la tensión a los refuerzos. Para que se cumpla el objetivo debe de encontrarse una adherencia excelente entre la matriz y el refuerzo.

2. Propiedades del refuerzo. Se parte de la base de que el refuerzo es más fuerte que la matriz. Las propiedades de cada refuerzo varían en composición, como la forma, el tamaño y número de defectos la producción, manipulación, tratamiento, perfeccionamiento de la superficie o hibridación determinan así mismo las propiedades de los refuerzos.

3. Tamaño y forma del refuerzo. Algunas de las formas y tamaños favorecen el manejo, carga y tratamiento, así como adherencia y orientación de empacamiento a la matriz. Las probabilidades de que las partículas sean distribuidas a azar es mayor a que se distribuyan en forma de fibras largas.

4. Carga del refuerzo. La resistencia mecánica del material compuesto depende del agente de refuerzo que contenga. La mayoría de los materiales termoplásticos reforzados contiene menos del 40%(en peso) de refuerzo.

5. Técnica de tratamiento. Algunas de las técnicas de tratamiento se llevan a cabo mediante la alineación más precisa de los refuerzos.

6. Alineamiento o distribución del refuerzo. El alineamiento o distribución permite una versatilidad en los materiales compuestos. Los refuerzos se dividen en dos grupos

de materiales en estratos y fibrosos. El elemento estructural básico de los materiales compuestos laminares es el estrato. El estrato consiste en fibras unidireccionales, tejido plano o láminas de material. Dado que las capas actúan por separado como refuerzo se incluyen como ingredientes, estas capas de láminas ofrecen técnicas de tratamiento.

Debe quedar claro que el alineamiento de los refuerzos constituye la clave del diseño del material compuesto con propiedades anisótropas o isotropas. [8,10]

CAPÍTULO 2. JUSTIFICACIÓN.

Actualmente la contaminación ambiental es uno de los principales problemas que afectan a nuestro país. Se ha tratado de crear una conciencia del reciclaje en donde el residuo es recuperado y puede ser reutilizado o reciclado, sin embargo la normativa legal, la salubridad y la degradación del producto no siempre posibilitan la reutilización por lo cual el reciclaje es la mejor opción, como lo que se pretende es disminuir la cantidad de residuos y el consumo de materias primas, el reciclaje siempre resultará rentable.

La contaminación aumenta rápidamente, en la actualidad se pueden observar cambios en las condiciones ambientales del planeta; como las altas temperaturas, deslaves, inundaciones ocasionadas por lluvias intensas, el aumento del agujero de la capa de ozono, etc. estos problemas ya son perceptibles en nuestros días. La producción de residuos y la acumulación de estos es un tema que se abordará en esta tesis, tratando de reducir su cantidad y evitar la acumulación de estos.

El presidente de la Asociación Nacional de Industriales del Plástico (Anipac), Eduardo Martínez, señaló el pasado 21 de diciembre de 2010, que mientras que en México sólo 15% de los envases de Polietilentereftalato (PET) es reciclado, países como China, Estados Unidos y Japón aprovechan el material para fabricar productos como prendas de vestir. También comunicó que el plástico representa el 3% del producto interno bruto y que tan solo el 15% de los residuos de plástico, es reciclado debido a que la industria no tiene acceso a desechos sólidos municipales y a la falta de información sobre la cultura del reciclaje.[11]

En esta tesis se presenta una alternativa para la reutilización de estos desechos debido a que en la industria mexicana hacen falta más iniciativas que fomenten la reutilización, así como crear una conciencia de que el reciclaje no sólo contribuye a la mejora del medio ambiente, sino que también puede ser generadora de ingresos.

2.1. POLIETILENTEREFTALATO.

El PET (Polietilentereftalato) Figura 2.1. Es un material fuerte de peso ligero de poliéster claro. Se utilizan principalmente como recipientes para bebidas jugos, agua, bebidas alcohólicas, aceites comestibles, limpiadores caseros, películas y fibras.

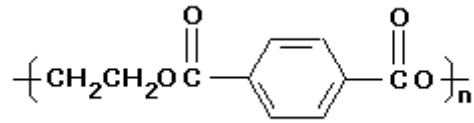


FIGURA 2.1. REPRESENTACIÓN DE UNA CADENA DE PET EN GRADO DE POLIMERIZACIÓN.

El PET se desarrolló primero para uso de fibras sintéticas por la British Calico Printers en 1941. Los derechos de patente se vendieron entonces a DuPont ellos a su vez vendieron los derechos regionales a muchas otras compañías, el PET comenzó a utilizarse para películas a mediados de los 70's pero a principios de la década de los 80's se utilizó para la fabricación de botellas encaminadas a el uso comercial. [12]

2.1.1. Síntesis del PET

Existen 2 formas principales para la síntesis de poliésteres. El primer método consta de la reacción directa de un diácido con un diol; para la producción del PET se utiliza el ácido tereftálico el cual reacciona con el etilenglicol según la reacción Figura 2.2.

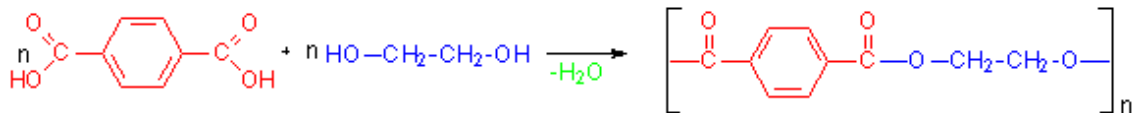


FIGURA 2.2. SÍNTESIS DE PET REACCIÓN DIRECTA

La reacción que se presenta en la Figura 2.2 se considera como una reacción típica de esterificación en la cual un ácido reacciona con el alcohol para formar ésteres y agua, por medio de una reacción de policondensación.

El segundo método implica un intercambio éster de un diéster y un diol, esta es una reacción de transesterificación en la cual el éster se transforma en otro, para el caso de la síntesis de PET la reacción que se lleva a cabo esta dada por los compuestos de tereftalato de dimetilo con etilenglicol como se puede observar en la Figura 2.3.

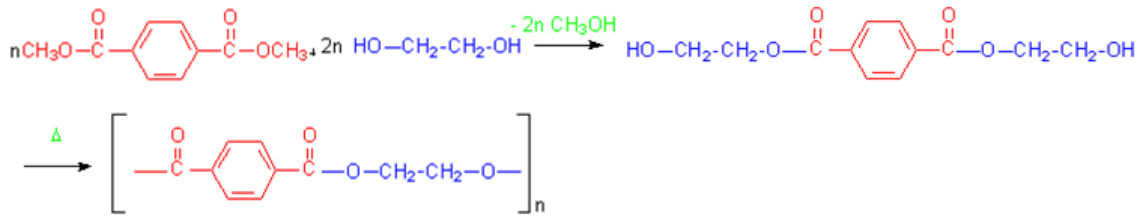


FIGURA 2.3. SÍNTESIS DE PET REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN.

Reprocesado de botellas

La fuerza del material y su gran resistencia a la presión que alcanza una bebida suave carbonatada aproximadamente de 6 bar son lo que a hecho del PET, un compuesto ampliamente utilizado para la fabricación de botellas, esta característica se debe a la alineación de las moléculas durante la cristalización en la cual la orientación se lleva de dos maneras distintas, en el caso de los envases la orientación tiene lugar según la dirección longitudinal, paralela a el eje del envase y según una dirección trasversal del mismo con lo cual la botellas tiene la capacidad de alcanzar esta presión sin deformarse o explotar.

Las razones principales que mantienen el éxito de los recipientes de PET son que, gracias a la estructura molecular del material, es irrompible. Lo que es más, el empaquetamiento con PET es ligero, transparente y resellable. Otra ventaja del material reside en sus propiedades físicas que permiten gran libertad en el diseño de empaques.

Los recipientes son 100% reciclables y al ser sumamente ligero, ayuda a disminuir la formación de desechos de empaque. Para que se lleve a cabo este proceso, primero, se colectan los recipientes, el segundo paso es enviar el material a una planta donde los materiales son separados según su naturaleza, entonces las botellas recuperadas son perforadas, embaladas y enviadas a un reclamador, el reclamador es una fábrica que trasforma las botellas en hojuelas de PET, el material crudo es la base de los productos reciclados.

La primera cosa que el reclamador tiene que hacer para asegurarse de que el producto final será tan puro como sea posible se pre-lavan y se procesan en forma de hojuelas, estas se lavan, secan se almacenan y se venden. Cuando las hojuelas son vendidas se lleva acabo realmente el proceso de reciclado se funden las hojuelas, se obtiene el material, y entonces es fabricado un nuevo producto. [13]

TABLA 2.1 PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y MECÁNICAS DEL PET			
Densidad (g/cm ³) Amorfo:	1.33 - 1.34	Resistencia a la tracción hasta la deformación	59 MPa
Densidad (g/cm ³) Semicristalino:	1.45 - 1.51	Resistencia a la tracción hasta la rotura	No rompe
Absorción de agua – equilibrio (%)	0.7	Alargamiento hasta la rotura	No rompe
Absorción de agua - en 24 horas (%)	0.1	Módulo de elasticidad en tracción	2,420 MPa
Índice refractivo	1.58 - 1.64	Resistencia a la flexión	86 MPa
Índice de oxígeno límite (%)	21		
Resistencia a la radiación	buenas		

En la Tabla 2.1 se pueden ver algunas propiedades del PET las cuales proporcionan características de:

- 1) Cristalinidad y transparencia, aunque admite cargas de colorantes.
- 2) Buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes.
- 3) Alta resistencia al desgaste.
- 4) Buena resistencia química.
- 5) Buenas propiedades térmicas.
- 6) Muy buena barrera a CO₂, aceptable barrera a O₂ y vapor de H₂O.
- 7) Compatible con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad barrera de los envases y por lo tanto permiten su uso en mercados específicos.
- 8) Totalmente reciclable.
- 9) Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios.
- 10) Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes y láminas.[14]

2.2. BENTONITA.

Una bentonita es una roca compuesta esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas, independientemente de la connotación genética.

Los criterios de clasificación utilizados por la industria se basan en su comportamiento y propiedades fisicoquímicas; así la clasificación industrial más aceptada establece tipos de bentonitas en función de su capacidad de hinchamiento en agua:

- * Bentonitas altamente hinchables o sódicas
- * Bentonitas poco hinchables o cálcicas
- * Bentonitas moderadamente hinchables o intermedias

Tratamientos destinados a mejorar la calidad de las bentonitas:

En algunas ocasiones las bentonitas se someten a procesos físicos y químicos con el objeto de mejorar sus propiedades y ser utilizadas así en la industria, este tipo de procesos son de gran importancia ya que al modificar las propiedades superficiales del mineral mediante tratamientos de distinta naturaleza por ejemplo tratamientos ácido, térmicos y modificación del espacio interlaminar.

En el caso del tratamiento ácido se produce la destrucción del mineral por disolución de la capa octaédrica, generando con ello sílice amorfa procedente de la capa tetraédrica lo que lleva a el incremento de la superficie específica, así mismo, aumenta su capacidad de intercambio iónico y la actividad catalítica.[5]

2.2.1. Usos de las bentonitas

Entre los usos de las bentonitas se tiene:

- ✓ Arenas de moldeo.

Las arenas de moldeo están compuestas por arena y arcilla, generalmente bentonita, que proporciona cohesión y plasticidad a la mezcla, facilitando su moldeo y dándole resistencia suficiente para mantener la forma adquirida después de retirar el moldeo y mientras se vierte el material fundido.

La proporción de las bentonitas en la mezcla varía entre el 5 y el 10 %, se puede utilizar tanto sódica como cálcica, la bentonita sódica se usa en fundiciones de mayor temperatura que la cálcica por ser más estable a altas temperaturas, suelen utilizarse en fundición de acero, hierro dúctil y maleable y en menor medida en la gama de los metales no féreos.

Por otro lado la bentonita cálcica facilita la producción de moldes con más complicados detalles y se utiliza, principalmente, en fundición de metales no féreos.

✓ Absorbentes

La elevada superficie específica de la bentonita, le confiere una gran capacidad tanto de absorción como de adsorción. Debido a esto se emplea en decoloración y clarificación de aceites, vinos, sidras, cervezas, etc. Tienen gran importancia en los procesos industriales de purificación de aguas que contengan diferentes tipos de aceites industriales y contaminantes orgánicos.

Se utiliza además como soporte de productos químicos, por ejemplo herbicidas, pesticidas e insecticidas, posibilitando una distribución homogénea del producto tóxico.

✓ Ingeniería Civil

Las bentonitas sódicas o cálcicas activadas son las que presentan las mejores propiedades para este uso.

Los usos en este campo se pueden resumir en:

- ☆ Creación de membranas impermeables en torno a barreras en el suelo, o como soporte de excavaciones.
- ☆ Prevención de hundimientos. En las obras, se puede evitar el desplome de paredes lubricándolas con lechadas de bentonita.
- ☆ Protección de tuberías: como lubricante y rellenando grietas.
- ☆ En cementos: aumenta su capacidad de ser trabajado y su plasticidad.
- ☆ En túneles: Ayuda a la estabilización y soporte en la construcción de túneles. Actúa como lubricante (un 3-5 % de lodo de bentonita sódica mantenida a determinada presión soporta el frente del túnel). También es posible el transporte de los materiales excavados en el seno de fluidos benoníticos por arrastre.

- ☆ En tomas de tierra: Proporciona seguridad en el caso de rotura de cables enterrados.
- ☆ Transporte de sólidos en suspensión.

✓ Catálisis

El uso de aluminosilicatos en diferentes campos de la catálisis es tan antiguo como el propio concepto de catálisis. Son muchas las aplicaciones de las arcillas como catalizadores o soporte de catalizadores en diferentes procesos químicos. Así, son utilizadas en reacciones de desulfuración de gasolina, isomerización de terpenos, polimerización de olefinas, cracking de petróleo, etc.

Las propiedades catalíticas de las bentonitas son resultado directo de su elevada superficie específica y tipo de centros activos.

Se utiliza como adsorbente, estabilizante, espesante, agente suspensor y como modificador de la viscosidad.

Su principal uso es la preparación de suspensiones tópicas, geles y soluciones. Cuando se usa como parte de una preparación oral, su naturaleza adsorbente puede enmascarar el sabor de otros ingredientes, o puede retardar la liberación de ciertos fármacos catiónicos.

Generalmente las concentraciones de bentonita como agente de soporte son del 0,5 - 5 % y del 1- 2 % cuando se usa como adsorbente. [15]

CAPITULO 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

MATERIAL	REACTIVOS	EQUIPO
Vasos de precipitados	PET reciclado de botellas de agua transparentes	Agitador magnético
Barras magnéticas	Bentonita marca Aldrich Chemistry	Mufla
Pipeta graduada	HCl concentrado. Marca Aldrich Chemistry	Parrilla eléctrica
Caja de petri	1-hexadecilamina 90% marca Aldrich Chemistry	Balanza granataria
Agitador de vidrio		Espectrofotómetro de Infrarrojo Perkin Elmer
Cápsula de porcelana		Difracción de RX en Equipo Siemens Modelo 5000
Mortero con pistilo		Maquina Universal Tinius Olsen
Soporte universal		Equipo de DSC HP-DSC1 Marca Metter Toledo.
Pinzas para cápsula de porcelana		Equipo de TGA, TGA/DSC1 Marca Metter Toledo.
Frascos Viales		
Moldes para ensayo de tracción		
Termómetro		
Vernier		

TABLA 3.1 MATERIAL, REACTIVOS Y EQUIPO DEL PROYECTO.

3.1. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1.2 Modificación de la Bentonita.

Se sometieron las muestras de bentonita a modificación orgánica con porcentajes variables de hexadecilamina ($C_{16}H_{33}NH_2$) grado analítico. Se dispersaron 2.5 g de bentonita en 50 mL de agua, agregando la cantidad requerida de 1-hexadecilamina y 0.6 mL de HCl concentrado. La mezcla se añadió a la bentonita y se mantuvo con agitación constante. Transcurrido el tiempo apropiado se filtró y se lavó con agua destilada y finalmente se secó a temperatura ambiente. Posteriormente se trituro hasta obtener un polvo fino de color paja. [16]

3.1.3 Preparación de los Nanocompuesto de PET

La preparación del nanocompuesto de PET/bentonita se llevó a cabo mediante fusión y mezclado de PET reciclado con varias concentraciones de bentonita natural y modificada. El PET fue lavado con agua y secado, posteriormente se trituro y se agregaron las cantidades de bentonita natural y modificada previamente secas y molidas, a una temperatura de 250°C.

3.1.3 Caracterización de los nanocompuestos de PET

Los nanocompuestos de polímero/bentonita se caracterizaron mediante análisis IR en un Espectrofotómetro de Infrarrojo marca Perkin Elmer IR Espectromer Spectrum este estudio se llevó a cabo para observar la modificación orgánica dentro de la arcilla ya que los grupos amino se pueden observar en este tipo de espectros.

La distancia interlaminar del compuesto se determina mediante difracción de RX en el equipo Siemens Modelo 5000 con un tubo de cobre con un $K\alpha = 1.5406 \text{ \AA}$, este utiliza un monocromador de grafito y un detector de centello. También a las muestras se les realizan pruebas de resistencia mecánica en un equipo Universal de Pruebas marca Tinius Olsen ver Figura 3.1.

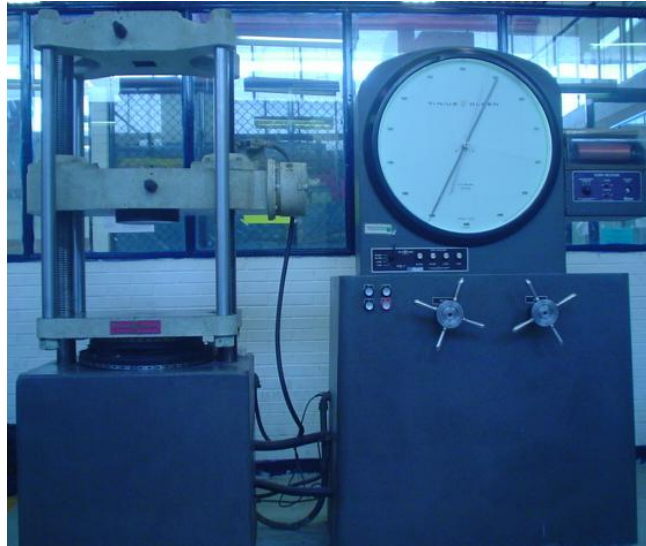


FIGURA 3.1 EQUIPO UNIVERSAL TINIUS OLSEN PARA PRUEBAS MECÁNICAS

Las muestras de nanocompuestos tienen la forma de cilindros con un diámetro de 1.50 cm y 3 cm de altura, cuyos extremos han sido previamente alisados en la pulidora que se muestra en la Figura 3.2, con la finalidad de que la prueba no tenga errores al no estar uniforme la superficie donde se aplicará la carga.



FIGURA 3.2 PULIDORA.

Las pruebas de densidad se realizaron conforme a la norma ASTM D-792. Así también se llevó a cabo el análisis térmico por medio de calorimetría diferencial de barrido DSC, equipo de alta presión HP-DSC1 horno con temperatura de 25 a 700°C con detector normal marca Mettler Toledo, con el cual se establece la temperatura de transición vítrea del nanocompuesto de PET. También se llevó a cabo un estudio de TGA en un equipo de analizador termogravimétrico TGA/DSC1 con temperatura de 25

a 1100°C en donde se puede conocer si el compuesto presenta cambio de peso importante al someterlo a un cambio de temperatura.

3.2. CARACTERIZACIÓN

3.2.1. Espectroscopía Infrarrojo.

La interacción entre las moléculas y la radiación electromagnética es la base de la espectroscopía infrarroja, cuando una molécula absorbe energía de la radiación infrarroja o microondas ve alterado su estado dinámico: en el caso de la radiación infrarroja cuando la molécula absorbe esta radiación vibra.

El primer espectro de vibraciones moleculares fue observado en 1881 por Abney y Festing, quienes prepararon emulsiones fotográficas sensibles al infrarrojo cercano y fotografiaron el espectro de absorción de 48 líquidos orgánicos. Encontraron bandas características en estos espectros, las cuales asociaron con la presencia de hidrógeno en las moléculas estudiadas.

Los espectrómetros infrarrojos son una de las herramientas más importantes para observar espectros vibracionales. Las características más relevantes de esta espectroscopía son las siguientes:

1. Si dos moléculas están constituidas por átomos distintos, o tienen distinta distribución isotópica, o configuración, o se encuentran en ambientes distintos, los espectros infrarrojos serán distintos.
2. Una sustancia definida puede identificarse por su espectro infrarrojo. Estos espectros pueden ser considerados como las huellas digitales de dicha sustancia.
3. Los espectros muestran bandas que son típicas de grupos funcionales particulares y que tienen localizaciones e intensidades específicas dentro de los espectros infrarrojos
4. A partir de los espectros se pueden inferir las estructuras moleculares. Para ello se requiere un modelo en el cual basar los cálculos.

5. Las intensidades en las bandas del espectro de una mezcla, son generalmente proporcionales a las concentraciones de las componentes individuales. Por lo tanto, es posible determinar la concentración de una sustancia y realizar análisis de muestras con varias componentes.
6. Es posible, mediante el uso de dispositivos experimentales adecuados, obtener espectros infrarrojos sin alteración de la muestra, lo que constituye a esta espectroscopía como una herramienta de análisis no destructiva.
7. El tiempo necesario para obtener y almacenar un espectro infrarrojo es del orden de minutos.

Los átomos que constituyen a una molécula están unidos entre sí por fuerzas de origen electrostático, que semejan uniones elásticas y, en consecuencia, sus movimientos son periódicos o cuasiperiódicos. Todos los movimientos relativos de los átomos en una molécula son en realidad la superposición de los llamados modos normales de vibración, en los cuales todos los átomos se encuentran vibrando con la misma fase y frecuencia normal. El número de modos normales de vibración define el espectro vibracional de cada molécula. Estos espectros también dependen de las masas de los átomos involucrados, su arreglo geométrico dentro de la molécula, y la “elasticidad” de los enlaces químicos.[17]

Técnicas de transmisión

Los materiales sólidos generalmente presentan demasiada absorción como para permitir la transmisión directa de la radiación infrarroja. Sólo en algunos casos se pueden lograr películas muy delgadas del material que permitan, sin mezclarlo con otros, obtener un espectro por transmisión.

En los sólidos en forma de polvo, además del problema de absorción se presenta otro: gran parte de la radiación transmitida es dispersada. Como la dispersión es proporcional a la diferencia entre los índices de refracción, se obtiene alguna mejoría poniendo el sólido finamente pulverizado en un medio líquido cuyo índice de refracción coincida con el de la sustancia.

Existe una técnica para preparar muestras sólidas diluidas en este método la muestra se muele con bromuro de potasio pulverizado y luego se comprime en un troquel, a una presión de 700 Kg/cm^2 ($\sim 7 \times 10^7 \text{ Pa}$), en una prensa hidráulica. El delgado disco así formado es suficientemente transparente y sólo muestra dispersión apreciable en longitudes de onda menores que $10 \mu\text{m}$.

Las técnicas de transmisión son destructivas, en el sentido de que es necesario laminar o pulverizar el material que ha de ser analizado. [18]

3.2.2 Difracción de rayos X.

La herramienta principal para investigar la estructura a escala de dimensiones diatómicas es la difracción de rayos X aplicando ciertas leyes de la física se demuestra que la longitud de onda de la radiación electromagnética debe de ser del orden del tamaño del detalle que se va a investigar. La longitud de onda de la radiación es λ , el ángulo de incidencia es θ y la distancia perpendicular entre los planos paralelos, que es el espacio o distancia interplanar es d . Debido a la diferencia de longitudes de trayectoria habrá un desplazamiento de fases entre los dos rayos X cuando lleguen al detector las dos ondas se interfieren constructivamente solo si la diferencia de sus trayectorias es un múltiplo entero de la longitud de onda del rayo X. cuando se presenta interferencia constructiva en un experimento con rayos si se conoce λ y si se mide la intensidad del haz difractado dentro de un intervalo de θ , entonces se puede calcular d .

Quizá el método que se comprende con más facilidad es el de difracción de polvos, se muele una muestra transformándola en polvo y se mezcla con un aglomerante no cristalino. El polvo y el aglomerante se someten a una fuente monocromática (de una sola longitud de onda) de radiación X coherente (que está en fase). Se mide la intensidad difractada en función de θ , con un instrumento llamado difractómetro.

3.2.3. Resistencia a la Compresión.

La resistencia a la compresión es un valor que indica la fuerza necesaria para romper o triturar un material. Los valores de resistencia a la compresión pueden ser útiles tanto para distinguir entre calidades de plásticos como para comparar plásticos con otros materiales. Para determinar la resistencia a la compresión, se divide la carga máxima en Newton por la superficie del espécimen en metros cuadrados. [8]

Esfuerzo

Las fuerzas internas de un elemento están ubicadas dentro del material por lo que se distribuyen en toda el área; justamente se denomina esfuerzo a la fuerza por unidad de área, la cual se denota con la letra griega sigma (σ) y es un parámetro que permite comparar la resistencia de dos materiales, ya que establece una base común de referencia.[19]

—

Donde:

P = Fuerza axial

A = Área de la sección transversal.

Cabe destacar que la fuerza empleada debe ser perpendicular al área analizada y aplicada en el centro del área para así tener un valor de σ constante que se distribuye uniformemente en el área aplicada.

El esfuerzo utiliza unidades de fuerza sobre unidades de área, en el sistema internacional (SI) la fuerza es en Newton (N) y el área en metros cuadrados (m^2), el esfuerzo se expresa por N/m^2 o pascal (Pa).

Deformación

La resistencia del material no es el único parámetro que debe utilizarse al diseñar o analizar una estructura; controlar las deformaciones para que la estructura cumpla con el propósito para el cual se diseñó tiene la misma o mayor importancia. El análisis de las deformaciones se relaciona con los cambios en la forma de la estructura que generan las cargas aplicadas.

Una barra sometida a una fuerza axial de tracción aumentará su longitud inicial; se puede observar que bajo la misma carga pero con una longitud mayor este aumento o alargamiento se incrementará también. Por ello definir la deformación (ϵ) como el cociente entre el alargamiento δ y la longitud inicial L , indica que sobre la barra la deformación es la misma porque si aumenta L también aumentaría δ . Matemáticamente la deformación sería:

—

Al observar la ecuación anterior se deduce que la deformación es un valor adimensional.

Diagrama esfuerzo – deformación

El diagrama de esfuerzo- deformación es característico del material y proporciona información sobre las propiedades mecánicas y su comportamiento, el comportamiento esfuerzo-deformación de un material depende de cómo se realice el ensayo y del estado físico del material.

Los polímeros se clasifican en 3 categorías:

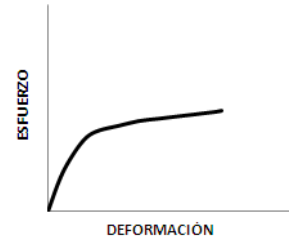
PLÁSTICO FRÁGIL



PLÁSTICO DURO Y FIRME



PLÁSTICO BLANDO Y DÉBIL



El diseño de elementos estructurales implica determinar la resistencia y rigidez del material estructural, estas propiedades se pueden relacionar si se evalúa una barra sometida a una fuerza axial para la cual se registra simultáneamente la fuerza aplicada y el alargamiento producido. Estos valores permiten determinar el esfuerzo y la deformación que al graficar originan el denominado diagrama de esfuerzo y deformación.

Los diagramas son similares si se trata del mismo material y de manera general permite agrupar los materiales dentro de dos categorías con propiedades afines que se denominan materiales dúctiles y materiales frágiles. Los diagramas de materiales dúctiles se caracterizan por ser capaces de resistir grandes deformaciones antes de la ruptura, mientras que los frágiles presentan un alargamiento bajo cuando llegan al punto de rotura.

Elementos de diagrama esfuerzo – deformación

En un diagrama se observa un tramo recta inicial hasta un punto denominado límite de proporcionalidad. Este límite tiene gran importancia para la teoría de los sólidos elásticos, ya que esta se basa en el citado límite.

Los puntos importantes del diagrama de esfuerzo deformación son:

- ☆ Límite de proporcionalidad: hasta este punto la relación entre el esfuerzo y la deformación es lineal;
- ☆ límite de elasticidad: más allá de este límite el material no recupera su forma original al ser descargado, quedando con una deformación permanente;

- ☆ punto de cedencia: aparece en el diagrama un considerable alargamiento o cedencia sin el correspondiente aumento de carga.

Este fenómeno no se observa en los materiales frágiles;

- ☆ esfuerzo último: máxima ordenada del diagrama esfuerzo – deformación;
- ☆ punto de ruptura: cuando el material falla.

Dado que el límite de proporcionalidad, elasticidad y punto de cedencia están tan cerca se considera para la mayoría de los casos como el mismo punto. De manera que el material al llegar a la cedencia deja de tener un comportamiento elástico y la relación lineal entre el esfuerzo y la deformación deja de existir.

3.2.4. Densidad.

En un cuerpo físicamente homogéneo existe proporcionalidad entre los volúmenes que se consideran y las masas correspondientes a dichos volúmenes. Esta constante de proporcionalidad se denomina densidad ρ . La densidad es la masa por unidad de volumen. La unidad derivada del SI para la densidad es kilogramos por metro cúbico. La densidad relativa se define como la relación entre la masa de un volumen determinado de material y de un volumen equivalente de agua a 23°C. La densidad relativa es una cantidad adimensional, que adoptará el mismo valor en cualquier sistema de medida.

La determinación de la densidad de un cuerpo sólido puede simplificarse si el objeto presenta una forma definida, de tal forma que resulte fácil calcular su volumen. Es el caso de la determinación de la densidad de diferentes cuerpos cilíndricos.

En este caso, los medios necesarios serán un calibrador, con el que mediremos el radio y la altura del cilindro y, además, una balanza para determinar la masa de dicho cuerpo.

También puede determinarse la densidad de un sólido utilizando el Principio fundamental de la Hidrostática o Principio de Arquímedes, que dice: “Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical hacia arriba, igual al peso del fluido desalojado por dicho cuerpo”.

Matemáticamente se expresa como:

Peso cuerpo sumergido en el fluido = Peso cuerpo en aire – F empuje

Para el agua, con una densidad de 1 g/cm^3 , esto nos proporciona un método para determinar el volumen de un cuerpo sólido aún cuando no tenga una forma geométrica definida, así como su densidad.[8,19]

3.2.5. Métodos Termogravimétricos

La reología se dedica al estudio de la deformación y el flujo de los materiales. Del griego rheos, que significa corriente o flujo. Cuando un material se funde las propiedades viscoelásticas de los polímeros son importantes porque son éstas las que gobiernan el comportamiento del flujo cuando los plásticos son procesados.

La temperatura de transición vítrea T_g representa la temperatura en la que ocurre un cambio de comportamiento reológico, antes de la T_g el polímero se comporta como un material vítreo, después de la T_g el material comienza a comportarse como un material viscoelástico.

En un análisis termogravimétrico se registra, de manera continua, la masa de una muestra colocada en una atmósfera controlada, o bien en función de la temperatura, del tiempo. En el primer caso (experimento dinámico) la temperatura de la muestra va aumentando de manera controlada (normalmente de forma lineal con el tiempo), y en el segundo (experimento isotérmico), la temperatura se mantiene constante durante todo el experimento Figura 3.2.

La representación de la masa o del porcentaje de masa en función del tiempo o de la temperatura se denomina termograma o curva de descomposición térmica.

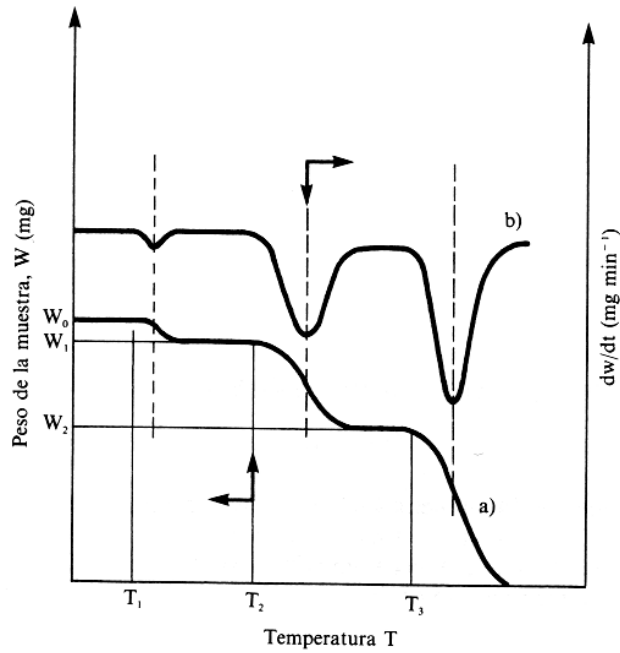


FIGURA 3.2. TIPOS DE TERMOGRAMA: a) CONVENCIONAL; b) DIFERENCIAL.

Instrumentación

Los instrumentos comerciales modernos empleados en termogravimetría constan de: una balanza analítica sensible; un horno; un sistema de gas de purga para proporcionar una atmósfera inerte (o algunas veces reactiva) y un microprocesador para el control del instrumento y la adquisición y visualización de datos.

Preparación de muestra

La preparación de una muestra para realizar análisis termogravimétrico no conlleva dificultades. Se coloca una cantidad muy pequeña de la muestra en una cápsula de platino y esta se suspende, mediante un soporte, de un alambre en forma de gancho quedando finalmente en el interior del horno que a su vez está aislado del exterior mediante un tubo de vidrio. La termobalanza se utiliza para pesar la masa inicial de muestra.

Aplicaciones

Los métodos termogravimétricos están limitados por las reacciones de descomposición, de oxidación, vaporización, sublimación y desorción. En el caso de los polímeros los termogramas proporcionan información sobre los mecanismos de descomposición de diversas preparaciones poliméricas, los modelos de descomposición son característicos de cada tipo de polímero y pueden ser utilizados con finalidades de identificación. [20]

3.2.6 Calorimetría diferencial de barrido

La calorimetría diferencial de barrido 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, pureza de compuestos cristalinos, entalpías de reacción y determinación de otras transiciones de primer y segundo orden.

La calorimetría diferencial de barrido puede trabajar en un intervalo de temperaturas que va desde la temperatura del nitrógeno líquido hasta unos 600 °C. Por esta razón esta técnica de análisis se emplea para caracterizar aquellos materiales que sufren transiciones térmicas en dicho intervalo de temperaturas. La familia de materiales que precisamente presenta todas sus transiciones térmicas en ese intervalo es la de los polímeros. [9, 20]

En el campo de polímeros pueden determinarse transiciones térmicas como la temperatura de transición vítrea T_g , temperatura de fusión T_m ; se pueden hacer estudios de compatibilidad de polímeros, reacciones de polimerización y procesos de curado. Cualquier reacción polimérica acompañada por un cambio entálpico puede ser seguida por DSC. Esta técnica es ampliamente utilizada para el estudio de polimerizaciones, especialmente en sistemas basados en resinas epoxi y monómeros acrílicos. La reacción de formación del polímero tiene lugar con desprendimiento de calor de polimerización.

La velocidad con que se desprende este calor está relacionada con el desarrollo de la reacción, lo que permite el estudio de la cinética de polimerización.

La finalidad de la calorimetría diferencial de barrido es registrar la diferencia en el cambio de entalpía que tiene lugar entre la muestra y un material inerte de referencia en función de la temperatura o del tiempo, cuando ambos están sometidos a un programa controlado de temperaturas. La muestra y la referencia se alojan en dos pocillos idénticos que se calientan mediante resistencias independientes. Esto hace posible emplear el principio de “balance nulo” de temperatura.

Cuando en la muestra se produce una transición térmica (un cambio físico o químico que da lugar a una liberación o absorción de calor), se adiciona energía térmica bien sea a la muestra o a la referencia, con objeto de mantener ambas a la misma temperatura. Debido a que la energía térmica es exactamente equivalente en magnitud a la energía absorbida o liberada en la transición, el balance de energía proporciona una medición calorimétrica directa de la energía de la transición.

Instrumentación

Un calorímetro diferencial de barrido convencional consta de un horno calorimétrico, un sistema de gas de purga y un procesador para el control del instrumento y la adquisición de datos.

Existen dos tipos de métodos para obtener datos en DSC: DSC de potencia compensada y DSC de flujo de calor. En el primero, la muestra y el material de referencia se calientan mediante calentadores separados aunque sus temperaturas se mantienen iguales mientras las temperaturas se aumentan (o disminuyen) linealmente. En el segundo, se mide la diferencia de cantidad de calor de la muestra y de la referencia cuando la temperatura de la muestra se aumenta (o disminuye) linealmente. A pesar de que los dos métodos proporcionan la misma información, en la experimentación de esta tesis solo utilizaremos el primero por ser de uso más común.

Existen dos tipos de ensayo el dinámico que es cuando la muestra se somete a procesos de calentamiento (enfriamiento) constante. Se obtiene la variación de flujo de calor en función de la temperatura y el isotermico en donde se calienta inicialmente la muestra hasta una temperatura que se mantiene constante durante el resto del ensayo. Se obtiene la variación del flujo de calor en función del tiempo.

Preparación de muestras

Las muestras se cargan en cápsulas de aluminio con una capacidad entre 10 – 50 mL. Normalmente estas cápsulas se sellan con una tapa de aluminio para impedir que por problemas de dilatación o descomposición de la muestra, ésta se proyecte fuera de la cápsula contaminando el pocillo. La cantidad de muestra utilizada puede ser variable, desde varios miligramos hasta 30 mg, así como el estado y forma de la misma. No obstante, la cantidad y forma de la muestra influyen bastante en la calidad y precisión de la medida. En muchos casos, debido a la baja conductividad térmica de la muestra, cuanto mayor sea la superficie de contacto entre la misma y el foco calefactor, más rápidamente se difundirá el calor a toda la masa de la muestra. Para mejorar la conductividad térmica de la muestra se emplean tapas de platino sobre los pocillos. En el pocillo de referencia se suele colocar una cápsula vacía de igual tipo y forma que la que contiene la muestra a analizar. [20,21]

Aplicaciones

- Calor específico y propiedades en las que varía el calor específico como la temperatura de transición vítrea.
- Transiciones de fase
- Polimorfismos
- Determinación de puntos de fusión
- Determinación de parte amorfa y cristalina
- Cinéticas de reacción
- Tiempo e inducción a la oxidación
- Descomposición

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ESPECTROSCOPIA INFRARROJO.

Se realizó la mezcla de bentonita con cantidades variables de hexadecilamina correspondientes a los porcentajes de 10, 25, 50 y 75% a diferentes tiempos 2, 4 y 8 horas, a partir de este estudio de espectroscopía no se observaron cambios aparentes de las muestras por lo que se eliminó el tiempo de 4 horas y se sometieron a estudios las muestras correspondientes a los demás tiempos.

Una vez que se sometió a modificación orgánica la bentonita, se obtuvieron los espectros de IR realizados tanto a la muestra de bentonita pura como de las muestras modificadas (Figura 4.1), en la imagen se observa el espectro IR de la bentonita modificada más representativo es decir en donde se observaba el cambio de manera más visual, en el Anexo A se encuentran los espectros infrarrojos de las diferentes muestras, en ellas se puede observar la incorporación del compuesto amino en la bentonita así como las bandas más características de cada uno de los compuestos. A pesar de no haber un estudio amplio de los espectros de IR de las arcillas en los libros, se pueden obtener las bandas características para los compuestos a partir de los grupos funcionales presentes en estos.

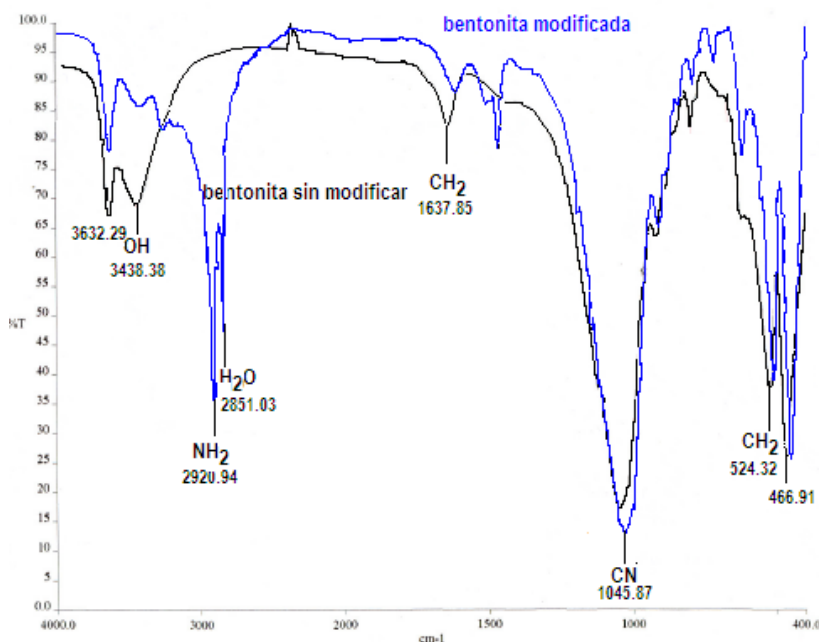


FIGURA 4.1. ESPECTRO INFRARROJO DE LA BENTONITA MODIFICADA Y SIN MODIFICAR.

La estructura fina de expansión de complejos de arcillas minerales con aminos primarias y secundarias y su comportamiento térmico está determinada por análisis espectroscópicos. Las bandas de absorción en 917.94 y 1045.87 cm^{-1} son características de una montmorillonita sódica, así también se pueden observar los valores de 799.25 y 672.10 cm^{-1} correspondientes al balanceo del enlace CH_2 de la cadena lineal de más de 5 carbonos, también existe una marcada banda que se observa en los valores de 3632.29 y 3438.38 cm^{-1} que se le asigna a un grupo OH presente en el compuesto de la arcilla. Posteriormente cuando se realizó la modificación orgánica se pudo observar que se mantenía la estructura de la bentonita es decir se encontraban las mismas bandas pero adicionales a estas aparecían otras que son asignadas a el grupo amino. La frecuencia importante del grupo amino utilizada en este estudio son las asociadas con el estiramiento de N-H, flexión y vibraciones del C-N.

Las asignaciones de las vibraciones de N-H se presentan frecuencias fundamentales 932 , 968 , 1628 , 3336 , 3638 y 3414 cm^{-1} . Las aminos primarias muestran dos bandas de absorción en $3300\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ atribuidas a vibraciones asimétricas y simétricas de los grupos NH_2 . La frecuencia y la intensidad de enlaces dependen de la naturaleza y el tamaño de los compuestos orgánicos. Las aminos primarias y secundarias participan con el enlace de hidrógeno ya sea como bases o ácidos. [22, 23]

La existencia de enlaces fuertes, en los enlaces intra o intermoleculares afectan en los espectros de IR. Teóricamente no deben de existir más de cuatro bandas de deformación de las aminos en los espectros de aminos primarias. En la práctica sólo una banda ha sido atribuida a una vibración de tijera. Las vibraciones de deformación están localizadas en $1590\text{-}1650\text{ cm}^{-1}$. Existe una banda que aparece en la región de la deformación del agua $1620\text{-}1650\text{ cm}^{-1}$, esta es usada en la interpretación de los espectros de IR de amino-arcillas por lo que se considera como una banda muy característica. Se asignan también bandas a $1050\text{-}1460$, $760\text{-}860$, y $260\text{-}440\text{ cm}^{-1}$ estas son asignadas a vibraciones de cabeceo, tijera, torsión respectivamente del N-H.

Las vibraciones C-N generalmente da lugar a bandas en regiones de $1000\text{-}1400\text{ cm}^{-1}$, siendo estas bandas muy sensibles al grupo amino y a su asociación con un alifático. En el espectro de aminos primarias en soluciones orgánicas diluidas, está puede ser vinculada a la vibración del enlace, esta banda es localizada en el intervalo de $1000\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$ en aminos primarias alifáticas, cuando el grupo NH_2 es enlazado al grupo CH_2 , en $\text{R-CH}_2\text{-NH}_2$ siendo R una cadena alifática. [24]

Con la obtención de estas bandas características de la arcilla se verificó que se estaba adicionando el compuesto hexadecilamina a la bentonita, y que no se estaba llevando alguna otra reacción en donde se pudieran obtener compuestos diferentes a la arcilla modificada.

4.2 DIFRACCIÓN DE RAYOS X.

El efecto de modificación también fue evaluado por difracción de rayos X, mediante este estudio se midió la distancia interlaminar del compuesto. La señal de difracción utilizada comúnmente para conocer la estructura de estos compuestos laminares es la correspondiente al primer plano de difracción, el 003. El ángulo de difracción 2θ es el que aparece dicho plano sirve para calcular, mediante la ley de Bragg, la distancia interplanar de los compuestos. La ley de Bragg se encuentra en la ecuación siguiente:

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

La bentonita natural mostró un pico característico en $2\theta = 7.02$ correspondiente a un espaciado interlaminar de 12.45 (Figura 4.2). Los difractogramas para las demás muestras se pueden observar en el Anexo B. En la Tabla 4.1 se muestran estos datos en esta se puede observar que la modificación con mayor distancia interlaminar de 21.73 y $2\theta = 4.06$, corresponde a la de el porcentaje de 50% con un a tiempo de agitación de 2 horas, demostrando que la modificación orgánica se llevó de manera satisfactoria para este tiempo, así como que la distancia interplanar es inversamente proporcional a el ángulo de difracción, se puede conocer también que si se aumenta el agente modificador hexadecilamina no aumenta más la distancia interlaminar.

Las fuerzas de atracción de la hexadecilamina deben de ser lo menor posibles, existe la probabilidad de que estas fuerzas sean mayores a altas concentraciones debido al aumento de la cantidad de moléculas de hexadecilamina presentes en la solución. [25,26]

La preparación de nanocompuestos poliméricos a partir de partículas laminares supone la rotura de la estructura primaria de las partículas generándose una dispersión homogénea de las laminillas del polímero; para que se puedan desarrollar nanocompuestos con buenas propiedades mecánicas, es necesario separar suficientemente las laminillas de las partículas en el polímero para aumentar la

superficie de contacto de la matriz, mejorándose por lo tanto los efectos como carga reforzante y generar una partícula de dimensiones nanométricas para controlar la afinidad interfacial entre la superficie de la arcilla y el polímero para así conseguir una buena interacción de las laminas con el polímero.

Cantidad de modificador (%en peso)	Tiempo de Modificación (Horas)	Angulo 2θ	Distancia Interlamilar (Å)
0	0	7.02	12.45
10	2	6.25	14.13
10	8	6.06	14.56
25	2	4.96	17.77
25	8	4.86	18.14
50	2	4.06	21.73
50	8	4.87	18.13
75	2	4.80	18.39
75	8	4.84	18.22

TABLA 4.1. AUMENTO DEL ESPARCIMIENTO INTERLAMINAR DE LA ARCILLA MODIFICADA Y SIN MODIFICAR DETERMINADO MEDIANTE DRX.

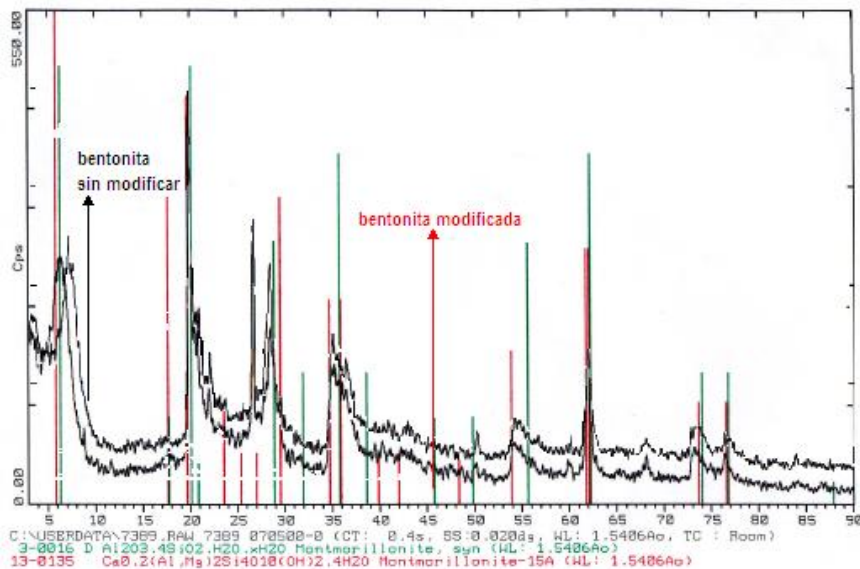


FIGURA 4.2. DIFRACCIÓN DE RAYOS X PARA LA BENTONITA MODIFICADA Y SIN MODIFICAR.

4.3 TERMOGRAMA DE BENTONITA.

Para conocer si había efectos en la arcilla modificada se realizó un estudio de termogravimetría. La curva de la arcilla natural observada en la Figura 4.3 se muestra el perfil típico de las esmectitas, se observa una pérdida de peso inicial en un intervalo de 0 A 100°C, que corresponde a la eliminación de agua absorbida entre las láminas del silicato. Posteriormente se presentó una meseta 80 y 100 °C, está perdida de peso está relacionada con la remoción de grupos hidroxilo de los extremos de las láminas de la arcilla y finalmente se observa en la temperatura de 500 a 700°C la deshidrogenación total de la estructura arcillosa.

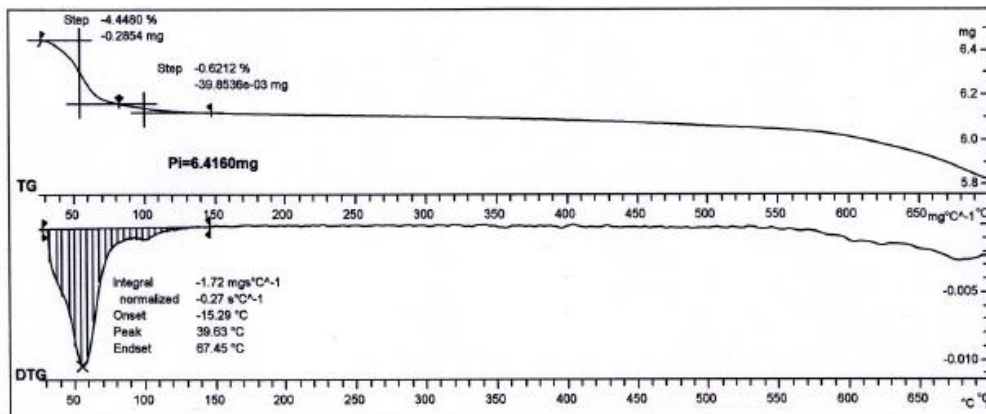


FIGURA 4.3 TERMOGRAMA DE BENTONITA SIN MODIFICAR.

En termograma TG de la muestra con el 50% de modificación Figura 4.4 se observa una diferencia en el intervalo de las temperaturas y las mesetas más cortas, este puede ser atribuido al carácter hidrófobo de la muestra debido a la presencia del compuesto orgánico incorporado, se observan pérdidas entre los valores de 150 a 450°C que se puede deber a la deshidrogenación del grupo amino presente entre las laminillas y finalmente entre 450 y 700 la descomposición total del compuesto. [27]

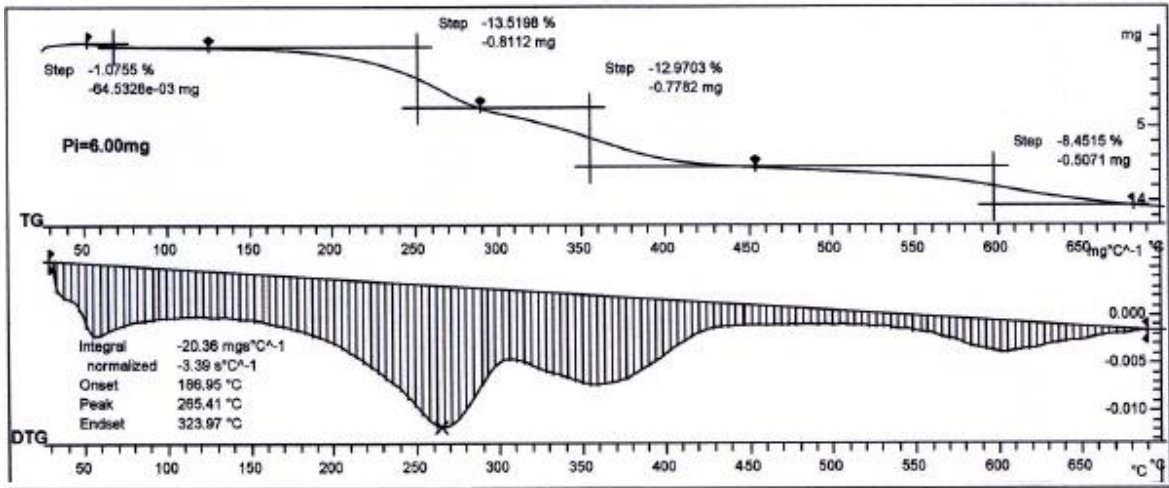


FIGURA 4.4 TERMOGRAMA DE BENTONITA MODIFICADA.

4.4 PREPARACIÓN DEL NANOCOMPUESTO.

Después de seleccionar la bentonita que tenía mayor distancia interlaminar y por lo tanto mayor compatibilidad con el PET se llevó a cabo el mezclado por fusión Figura 4.5 a partir de éste se puede preparar un amplio intervalo de nanocompuestos con estructuras intercaladas o dispersadas dependiendo del grado de penetración del polímero en los compuestos laminares. Tiene, además, grandes ventajas sobre otros métodos (el mezclado en disolución o mezclado in situ), ya que, en primer lugar, desde el punto de vista medioambiental, no tiene los inconvenientes de uso de disolventes orgánicos y el segundo lugar, porque es compatible con los procesos industriales que se usan para preparar los plásticos de gran consumo, como la extrusión o la inyección.

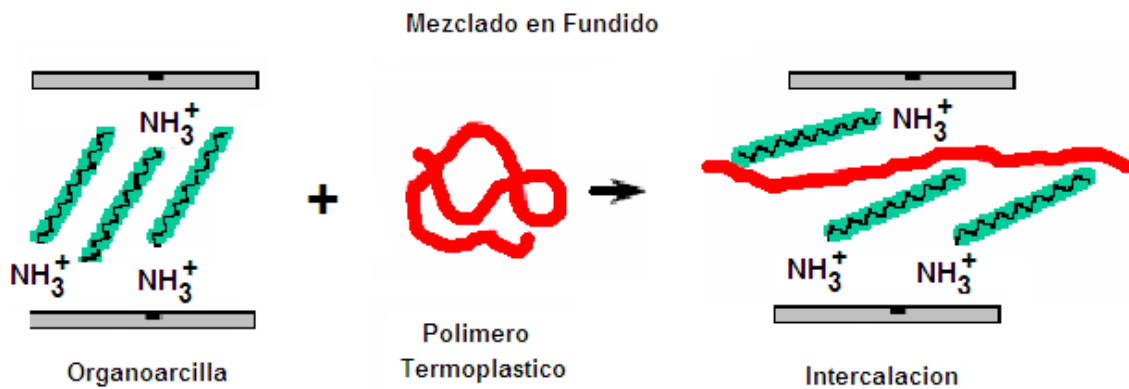


FIGURA 4.5 MEZCLADO POR FUSIÓN

Se realizó un espectro infrarrojo para la muestra del PET extruido y para las mezclas de PET con bentonita, las cuales se pueden observar en las Figuras 4.6, 4.7 y 4.8

Es importante localizar las bandas características para el PET, estas bandas están basadas en los grupos funcionales que se encuentran en el compuesto, uno de los principales grupos y característicos del PET es el del éster, localizado en las bandas de $1750-1740\text{ cm}^{-1}$ correspondientes a el grupo $\text{C}=\text{O}$, también se observa las señales características del anillo aromático correspondientes a valores de vibraciones de tensión en $300-3100\text{ cm}^{-1}$, vibraciones de flexión fuera del plano $900-675\text{ cm}^{-1}$, vibraciones de flexión en el plano en $1300-1000\text{ cm}^{-1}$, bandas de armónicos en $2000-1650\text{ cm}^{-1}$ y bandas asignadas al grupo etileno CH_2 del grupo $\text{O}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{O}$ con valores observados en 1134 y 848 cm^{-1} . [28]

Con este estudio se puede observar que los tres compuestos son muy similares lo que indica que la mezcla por fusión se llevó a cabo de manera correcta y que la mezcla es uniforme en todas las partes del compuesto esto debido a que no se encuentra una banda que sea asignable sólo a la bentonita.

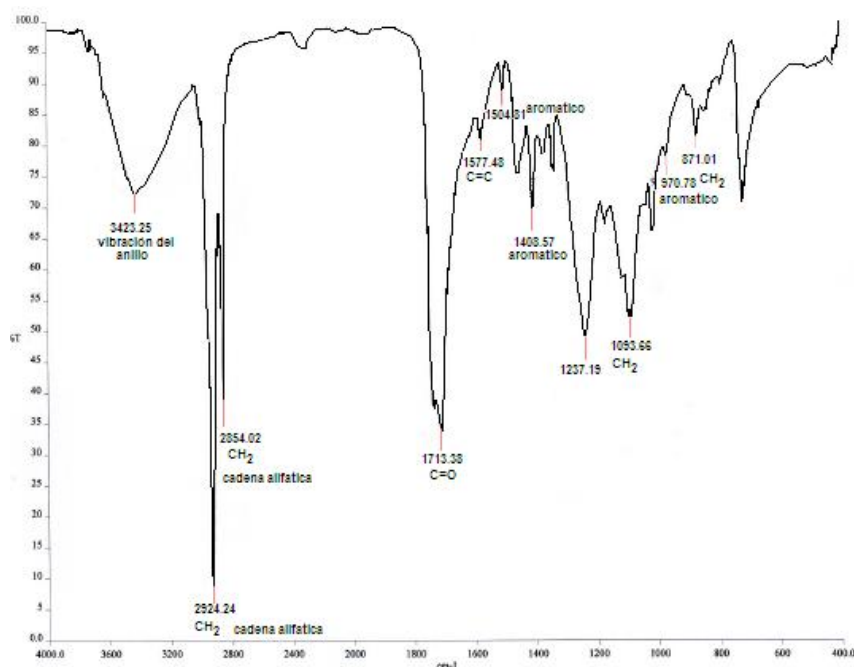


FIGURA 4.6 ESPECTRO INFRARROJO PARA LA MUESTRA DE PET EXTRUIDO.

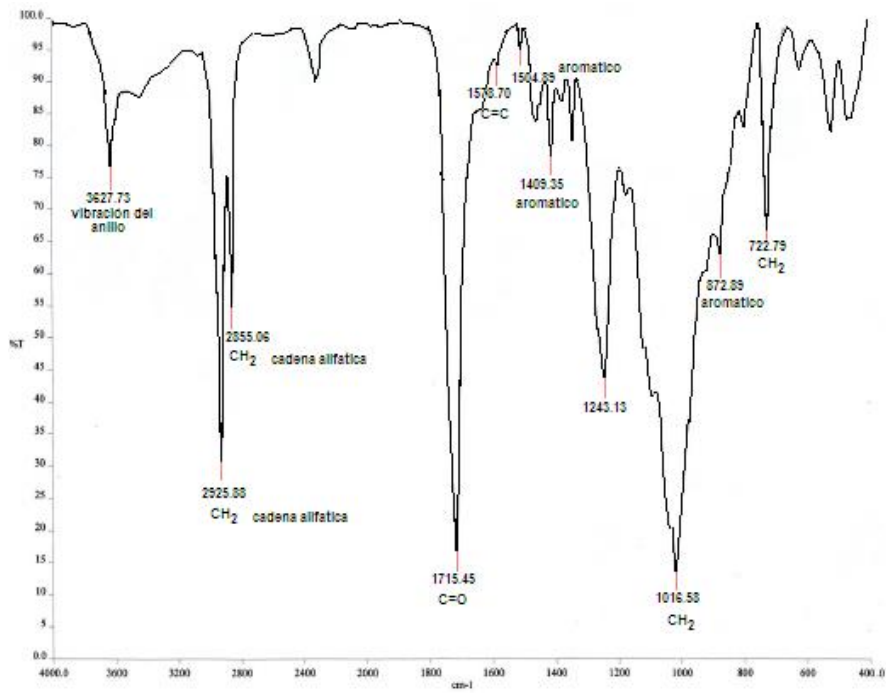


FIGURA 4.7 ESPECTRO INFRARROJO PARA LA MUESTRA DE PET CON BENTONITA SIN MODIFICAR EN PROPORCIÓN 7%.

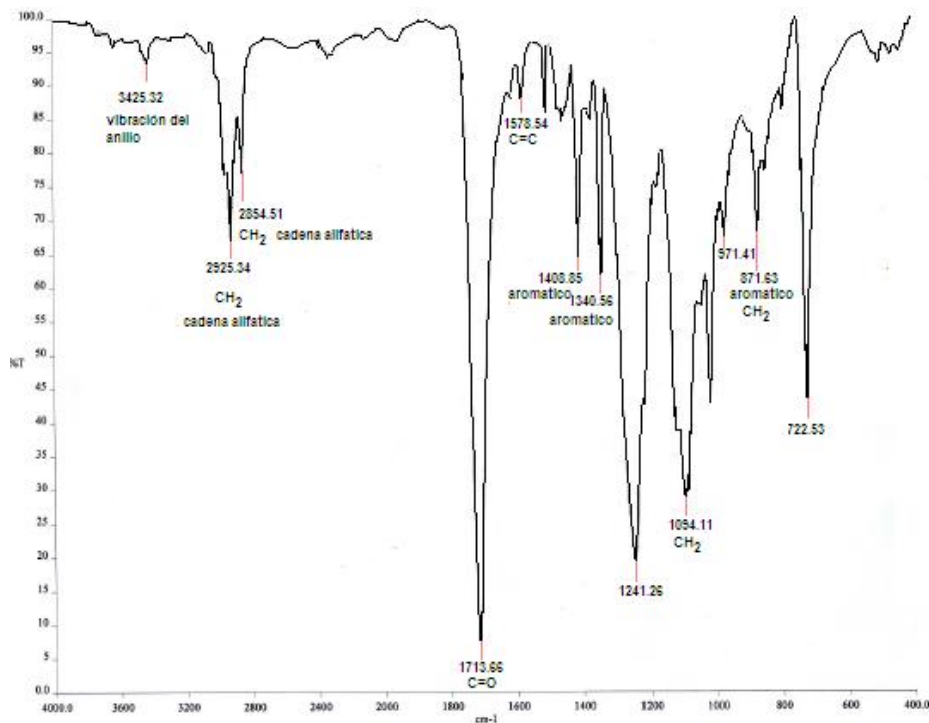


FIGURA 4.8 ESPECTRO INFRARROJO PARA LA MUESTRA DE PET CON BENTONITA MODIFICADA EN PROPORCIÓN 3%.

4.5 PRUEBAS MECÁNICAS

A las muestras del PET mezclado con la arcilla modificada se le realizaron pruebas mecánicas. Los polímeros son materiales viscoelásticos y sus propiedades dependerán de la temperatura, humedad, velocidad de prueba e historia de las muestras. El ensayo de materiales más común es la prueba de tensión o tracción, mediante la cual se aplican cargas de tensión en una muestra. Para realizar estas pruebas fue necesario en principio realizar las probetas cilíndricas Figura 4.9 y posteriormente fueron pulidas en una pulidora para madera. Después de ser pulidas las muestras se llevaron a cabo las pruebas de resistencia mecánica los resultados se encuentran en la Tabla 4.2 a partir de esta tabla se puede observar que las mezclas más favorables son las de 7% de bentonita sin modificar (SM) y la de 3% de bentonita modificada (M) con valores de 49.2540 y 53.1918 MPa respectivamente; con ellos y en comparación con el valor del PET extruido se observa que se está llevando un aumento considerable en las propiedades mecánicas, por arriba de 200 Kg por área. El empleo de otros porcentajes de arcilla conduce a la disminución de esta característica debido a que no se llevaba la mezcla de manera homogénea produciéndose la fractura en área transversal y por lo tanto se observaban compuestos frágiles y quebradizos Figura 4.10. Así también se observa en la Tabla 4.2 que la densidad no es afectada al agregarle la bentonita ya sea modificada ni sin modificar, es importante que no sea afectada en su totalidad el compuesto ya que si no sugeriría que se están llevando a cabo reacciones adicionales.



FIGURA 4.9. PROBETAS UTILIZADAS PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS MECÁNICAS.



FIGURA 4.10 MUESTRA DEL COMPUESTO DESPUES DE LLEVARSE ACABO LA PRUEBA DE TRACCIÓN

MEZCLA PET+BENTONITA (%en peso)	Densidad relativa	Resistencia Máxima (Mpa)
0	1.34	39,4528
1 SM	1.31	40,9747
3 SM	1.38	5,6587
5 SM	1.36	35,9992
7 SM	1.36	49,2540
1 M	1.38	6,3516
3 M	1.37	53,1918
5 M	1.34	32,8344
7 M	1.36	8,2032

TABLA 4.2 RESULTADOS PARA LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA MAXIMA Y DENSIDAD PARA LAS MEZCLAS DE PET CON BENTONITA SIN MODIFICAR(SM) Y MODIFICADA (M).

Con estos valores se puede realizar una gráfica de esfuerzo deformación, a partir de esta se puede conocer acerca del comportamiento del plástico al colocarle una carga.

La gráfica de PET extruido sin bentonita muestra un tipo de plástico blando y tenaz, mientras que cuando se le agregó la bentonita modificada y sin modificar, cambia su comportamiento con una tendencia dura y resistente. En ellas se observan tres zonas. [29]

En zona elástica (a) en ella la deformación es repartida a lo largo de la probeta, son de pequeña magnitud y si se retirara la carga aplicada, la probeta recuperaría su forma inicial, la tensión más elevada que alcanza esta región se denomina límite de fluencia. En la zona (b) de fluencia o cedencia, en esta la probeta sufre una deformación brusca sin incremento de la carga aplicada, este fenómeno se da cuando las impurezas o los elementos de la fusión bloquean la red cristalina impidiendo su desplazamiento, mecanismo mediante el cual el material se deforma plásticamente, y por último, la zona de estricción (c) en donde la deformación se concentra en la parte central de la probeta, a partir de este punto todas las deformaciones continuarán acumulándose hasta la ruptura.

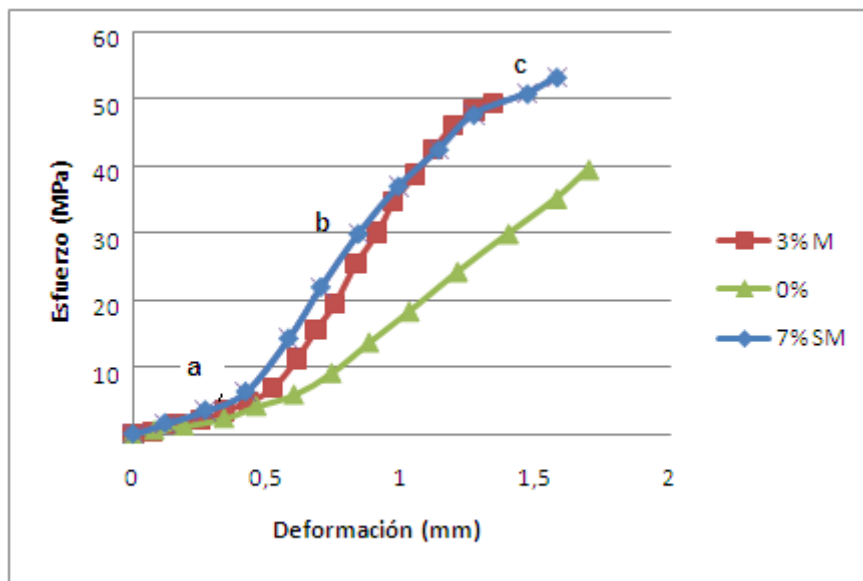


FIGURA 4.11. GRÁFICA DE ESFUERZO CONTRA DEFORMACIÓN PARA LAS MEZCLAS DE PET CON BENTONITA.

Las gráficas correspondientes a las otras muestras se encuentran localizadas en el Anexo C, en ellas se observa que es poca la mejora que presentan estas mezclas de compuestos en función con la tenacidad y dureza.

4.6 ANÁLISIS TÉRMICO.

Es importante conocer que cambios sufre la composición de compuesto con la temperatura al ser agregada la arcilla modificada y sin modificar. Para conocer este tipo de cambios se realizaron pruebas de termogravimetría TGA y calorimetría diferencial de barrido DSC.

En el análisis Figura 4.12 se observa una pérdida de peso de 77.4772 % para el PET extruido en un intervalo de 350 a 500°C este valor se debe a la degradación térmica correspondiente al rompimiento del entrecruzamiento de enlaces, en el intervalo posterior de 500 a 700°C que corresponde a la degradación total del polímero.

Para la mezcla con 7 % de bentonita sin modificar se observa una pérdida de 83.3016 % en un intervalo de 260 a 550°C de igual forma corresponde al inicio de la degradación térmica del PET y posteriormente después de los 550°C la degradación total. Para la mezcla en donde se colocó el PET con 3% de arcilla modificada se observa una pérdida en las temperaturas de 310 y 420°C de 84.6012% equivalente a la degradación térmica del PET y posterior a esta temperatura la degradación total del compuesto. Una información muy importante que se puede deducir a partir de este estudio es que el compuesto no absorbe una cantidad de agua considerable, ya que no es perceptible en el peso del compuesto por lo que es despreciable.

Como se puede observar tanto los intervalos de temperatura como el porcentaje de pérdida de peso es muy similar en las muestras de nanocompuestos a diferentes concentraciones, lo que indica que el material sigue conservando su estabilidad térmica aún cuando se encuentra modificado. [12,20]

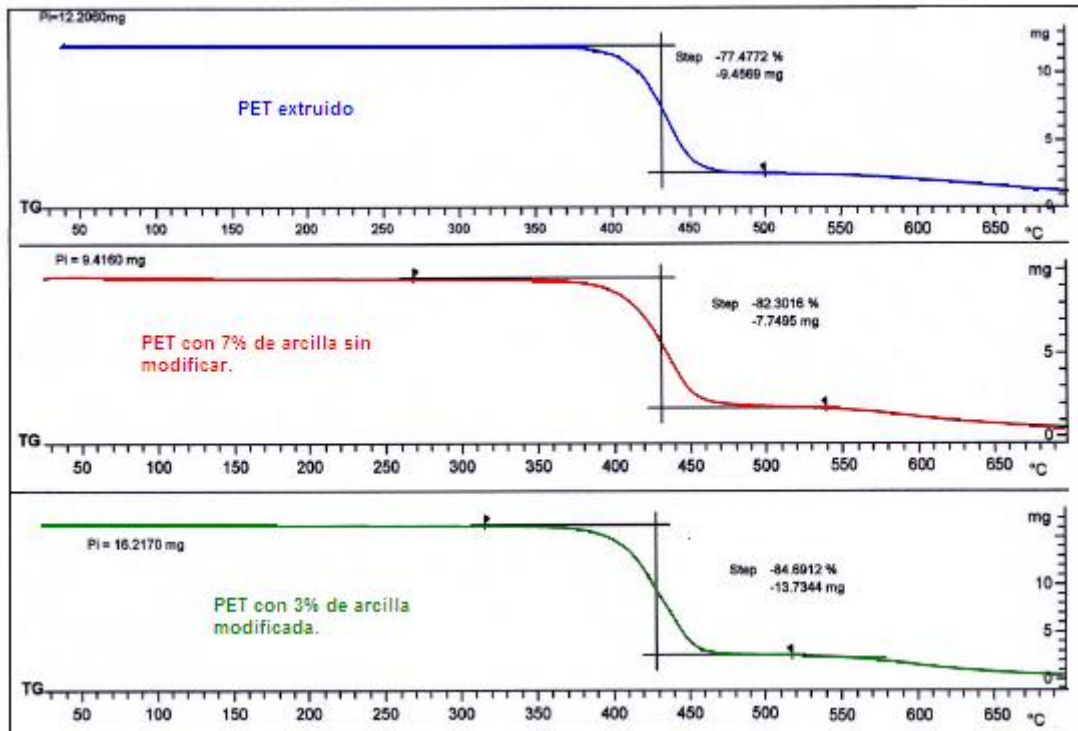


FIGURA 4.12 TERMOGRAMA DE PET EXTRUIDO Y PET MEZCLADO CON ARCILLA

El PET se comporta como un material cristalino, debido a esto se observan generalmente 2 puntos principales en el termograma DSC, estos valores corresponden a la temperatura de transición vítrea T_g , y el punto de fusión.

A continuación se presenta el termograma de calorimetría diferencial de barrido DSC para el PET extruido Figura 4.13 en este se observan dos valores importantes, uno se encuentra en la temperatura de 68.26°C esta corresponde a la temperatura de transición vítrea (T_g) esta es la temperatura en donde el plástico comienza a ablandarse, en realidad se trata de la región amorfa de los materiales cristalinos en esta temperatura el material se torna más frágil y flexible, esto es debido a que cuando el polímero se encuentra en temperaturas bajas, los movimientos de las moléculas se encuentran congelados, al llegar a la temperatura de transición vítrea comienzan los movimientos de las cadenas del polímero, se aumenta de forma brusca el volumen libre lo que trae consigo que el material sea más blando. [20]

Posteriormente se observa un pico en la temperatura de 243.15°C este valor corresponde a la temperatura de fusión se puede observar un pico ancho endotérmico,

esta es una transición termodinámica en donde la temperatura está determinada a partir de las fuerzas intermoleculares, responsables de la agregación molecular y pueden expresarse como la energía cohesiva o la energía necesaria para separar una molécula del agregado sólido o líquido. Cuando los polímeros tienen valores de energía cohesiva por encima de 5 kcal/mol, son muy cristalinos, la rigidez o flexibilidad de cadena, dependiendo ésta de la mayor o menor facilidad para la rotación alrededor de los enlaces covalentes de la cadena. Por tanto, un polímero será tanto más cristalino cuanto más rígidas sean sus cadenas y entre más fuertes sean las interacciones existentes entre ellas. [21,28]

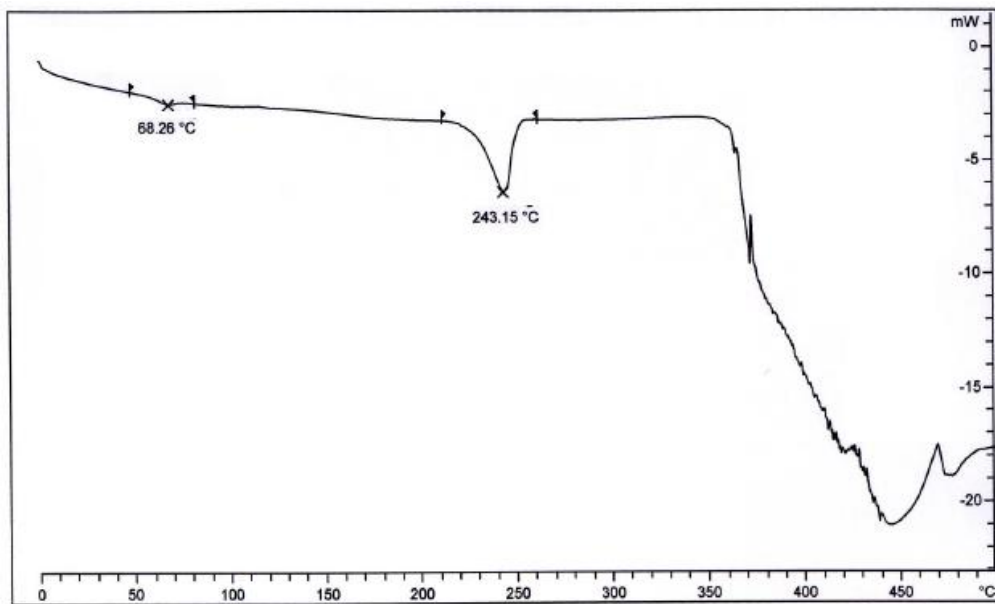


FIGURA 4.13. TERMOGRAMA DSC PARA LA MEZCLA DE 0 %

En la Figura 4.14 y 4.15 se pueden observar los termogramas de las mezclas poliméricas con arcilla modificada y sin modificar. En ellos se pueden observar de igual forma 2 picos importantes los cuales en el caso del termograma de la Figura 4.14 correspondiente a la mezcla de PET con 7% de arcilla sin modificar, en donde se observa a 242.95 y 438.21 °C la temperatura de transición vítrea y punto de fusión respectivamente. Para la Figura 4.15 donde se incorporó al PET 3% de arcilla modificada, estos valores se encuentran en 242.01 °C para la temperatura de transición vítrea y para el punto de fusión 431.21 °C.

Como se pueden observar estos valores son muy parecidos para ambos compuestos, lo que implica que no se observa cambio en la temperatura si se le agrega menos o

mayor cantidad de bentonita o si se agrega bentonita modificada o sin modificar. Sin embargo se observan cambios muy importantes al compararse con el termograma de PET extruido donde la temperatura aumenta considerablemente.

Estos cambios de temperatura se pueden deber a distintos factores como lo puede ser el peso de los nanocompuestos ya que al aumentar el peso de los polímeros se observa que tiene mayor dificultad para cristalizar al tener más enmarañados los enlaces, con ello se observa entonces que es necesaria mayor energía para que estos enlaces se rompan, así también al llevar a cabo un cambio en la estructura del compuesto los efectos de la naturaleza de las unidades repetitivas de la cadena están relacionadas íntimamente con las fuerzas intermoleculares, la rigidez de la cadena, la simetría implican que el compuesto este mejor en cuanto a la estabilidad térmica, así también se puede suponer que se esté llevando a cabo la reticulación del polímero con la arcilla lo que le confiere mayores características de rigidez en sus cadenas. [12]

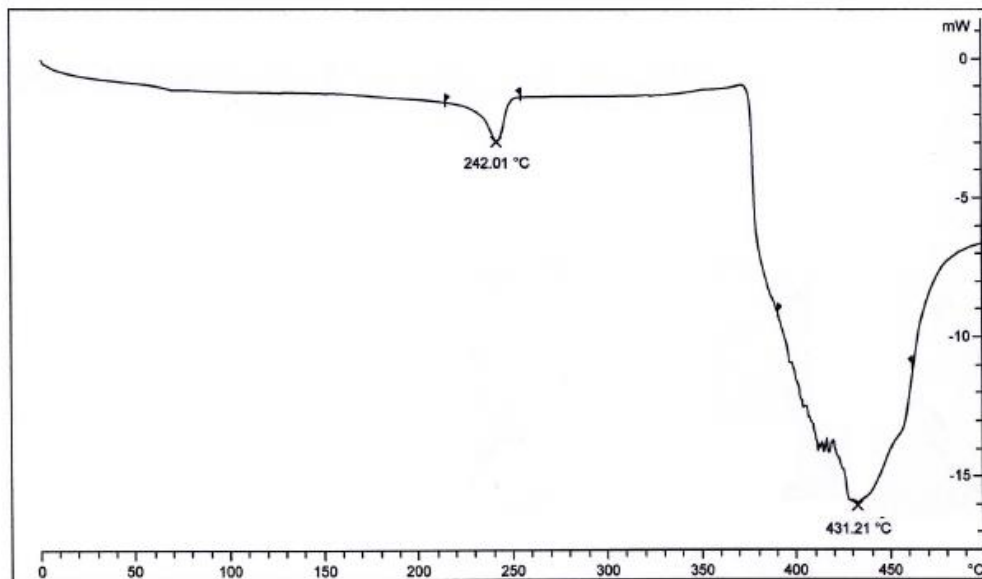


FIGURA 4.14 TERMOGRAMA DSC PARA LA MEZCLA DE 7 % DE PET CON BENTONITA SIN MODIFICAR.

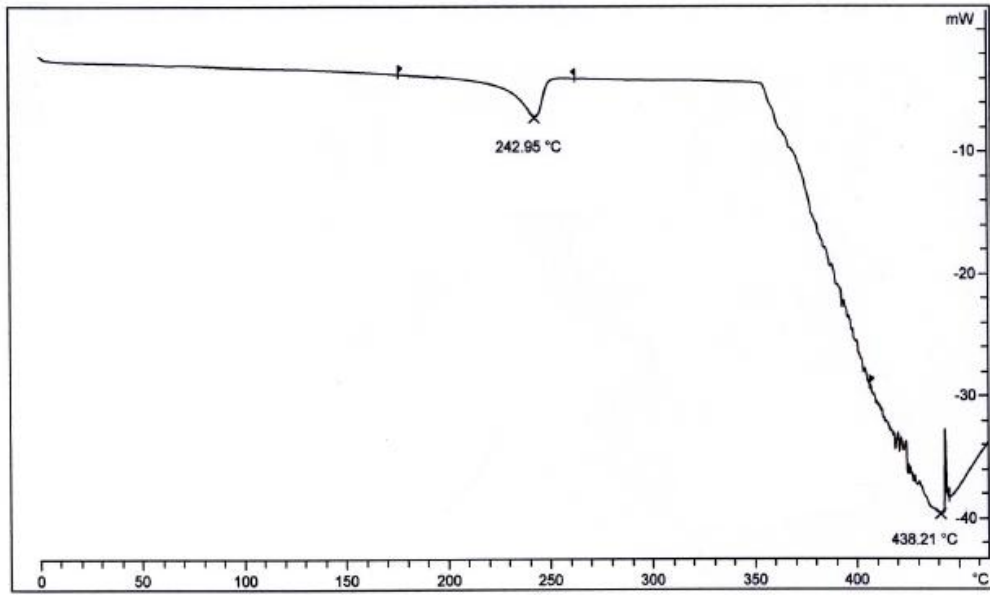


FIGURA 4.15 TERMOGRAMA DSC PARA LA MEZCLA DE 3 % DE PET CON BENTONITA MODIFICADA.

CONCLUSIONES.

- * En la presente tesis se estudió la influencia de la bentonita modificada en nanocompuestos de polietilentereftalato.
- * Por medio del estudio de espectroscopia infrarroja se demostró que la bentonita presentaba cambios en su estructura cuando se modifica con hexadecilamina, al observar picos característicos que dan evidencia de la agregación del grupo amino.
- * Se realizó la modificación orgánica de bentonita con cantidades variables de hexadecilamina, y se seleccionó mediante el análisis de difracción de rayos X la bentonita modificada con hexadecilamina que presentó la mayor distancia interlamina de 21.73 correspondiente a un tiempo de mezclado de 2 horas y un 50% en peso del compuesto orgánico, con lo cual, se logra una mayor estabilidad en la mezcla con PET.
- * La estabilidad permite que al llevarse a cabo la mezcla de PET con arcilla modificada, la mezcla sea totalmente homogénea, garantizando con ello que las características del material sean uniformes.
- * Así también se llevó a cabo un termograma para la muestra de bentonita modificada y sin modificar en ella se observaron los cambios en la pérdida de peso, en la muestra de bentonita modificada se observaron mesetas más cortas y cambios en la temperatura de 150 a 450°C correspondientes a la deshidrogenación del grupo amino. Con lo que se verificó nuevamente la modificación orgánica.
- * Se prepararon nanocompuestos de PET con cantidades variables de bentonita modificada y sin modificar por medio del mezclado por fusión. Se caracterizó por medio del estudio de un espectro infrarrojo en donde se observó que la mezcla realizada se encuentra homogénea ya que no se observaron cambios en comparación con el PET extruido sin bentonita ya que no existen bandas que sean asignables solo a la bentonita.
- * Se caracterizaron los nanocompuestos de PET por medio de pruebas de densidad, resistencia máxima a la compresión, gráficas de esfuerzo contra

deformación, espectroscopia infrarrojo y pruebas fisicoquímicas como calorimetría diferencial de barrido y análisis termo gravimétrico.

- * Una vez caracterizados, después de mezclado Se caracterizaron los nanocompuestos de PET para conocer sus características al finalizar el mezclado en donde se sometieron a pruebas de resistencias mecánicas en ellas se observó que las muestras que presentaban mayor resistencia corresponden a los porcentajes de 7 % de bentonita sin modificar y de 3 % de bentonita modificada soportando valores de 49.2540 y 53.1918 MPa respectivamente.
- * Se demostró que la bentonita le confiere mayores propiedades al PET al aumentar la carga que soporta.
- * Así también la densidad no se ve afectada al ser agregada la bentonita modificada y sin modificar ya que no se observa cambio considerables en el valor.
- * Con los valores de resistencia a la compresión se pudo obtener una grafica de esfuerzo contra deformación en donde esta se puede suponer el comportamiento que presenta la mezcla en donde se observa un aumento en la dureza y resistencia del material para las mezclas que corresponden a 7 % de bentonita sin modificar y 3 % de bentonita modificada en comparación con el PET extruido.
- * A partir de que se conoció cuales eran las mezclas que le conferían mayores características al PET, se realizaron pruebas de análisis térmico ya que es importante conocer si afectan el comportamiento a los cambios de temperatura del compuesto.
- * Con el estudio de termogramas se pudo observar que no hay cambios en la estabilidad térmica del compuesto modificado con bentonita y el compuesto sin bentonita, ya que presenta intervalos de temperatura con pérdidas de peso similares.
- * El estudio de calorimetría diferencial de barrido DSC en donde se observa para el PET extruido la temperatura de transición vítrea T_g de 68.26°C y un pico a 243.15°C correspondiente al punto de fusión.

- * Para las mezclas se observó un cambio en el aumento de la temperatura para la mezcla de 7 % de bentonita sin modificar se tienen los valores de 242.95°C la temperatura de transición vítrea y 438.21 °C punto de fusión y para 3 % de PET con bentonita modificar estos valores se encuentran en 242.01 °C para la temperatura de transición vítrea y para el punto de fusión 431.21 °C.

- * Estos cambios de temperatura se pueden deber a el aumento de peso, cambio de la estructura y reticulación del polímero con la bentonita

BIBLIOGRAFIA

1. CALLISTER. W. *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Ed. Reverte, S.A. México. 1997.
2. TWARDOWSKI. T. *Introduction to Nanocomposite Materials: Properties, Processing, Characterization*. Ed. Destech Publications, inc. USA.2007.
3. DE SAJA. J. *Materiales. Estructura, Propiedades y Aplicaciones*. Ed. Thomson. México 2005.
4. ASKELAND D. *Ciencia e Ingeniería de los Materiales* 4ta. Edición México .2004.
5. CORTES H. *Fundamentos de Cristalografía*. Ed. Elizom. Colombia 2006.
6. ARDANUY M. Tesis para obtener el grado de Doctora en Ciencias Químicas: *Síntesis y Caracterización de Nanocompuestos de Poliolefinas e Hidróxidos Dobles Laminares*. Universidad Politécnica de Cataluña. España. 2007
7. SEYMUR. R. *Introducción a la Química de los Polímeros*. Ed. Reverte. España 1995.
8. RICHARDSON and LOKENSGARD. *Industria del Plástico*. Ed. Paraninfo. España 2000.
9. MIRAVETE A. *Materiales Compuestos I*. Ed. Reverte. España 2007.
10. ASHBY M. *Materiales para Ingeniería*. Ed. Reverte. España 2009.
11. <http://www.publimetro.com.mx/noticias/mexico-exporta-desechos-plasticos/> 21 de diciembre 2010.
12. CINTA M: *Ciencia y Tecnología de Polímeros*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. España 2006.
13. FIRAS A., Dumitru P. *Recycling of PET*. European Polymer Journal. Vol. 41, 1453–1477. 2005
14. BRANDRUP J. *Polymer Handbook*. 4ta edición. Ed. Wiley-Interscience Publication USA. 1999.
15. DOVAL M. García E., Luque del Villar J., Martín-Vivaldi J. I. y Rodas M. *Arcillas Industriales: Yacimientos y Aplicaciones*. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, S. A. España. 1991.
16. NEIRA -Arenas G., Barrera- Castro M., Mejía- Rojas I., Freddy- Palacios J. *Prepared Polymer-silicate Nanocomposites Using Modified Colombian Bentonites.*, Scientia et Technica Vol.36, 591-595. 2007..
17. STUART B. *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. Ed. Wiley. USA. 2007.
18. GRIFFITHS. P. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. 2da edición. Ed. Wiley. USA. 2004

19. POPOV E. *Introducción a la Mecánica de Sólidos*. Ed. Limusa. México 2000.
20. SANDLER S. *Polymer Synthesis and Characterization*. Ed. Academic Press. USA 1998.
21. SORENSON W. *Preparative Methods of Polymer Chemistry*. 3ra edición. Ed. Wiley –Intercience. USA. 2001
22. PRETSCH E. *Determinación Estructural de Compuestos Orgánicos*. Ed. Masson. España 2002.
23. YARIV S. *Organo-clay Complexes and Interactions*. Ed. Marcel Dekker, Inc. USA 2002.
24. PINNAVIA T.J. *Polymer-clay Nanocomposites*. Ed. Wiley series polymer science. England.2001.
25. SPERLING L. *Introduction Physical Polymer Science*. 3ra edición. Ed. Wiley –Inter Science. USA 2001.
26. PRETSCH E. *Determinación Estructural de Compuestos*. Ed. Madisson. España 2002.
27. GALLARDO T.; ARELLANO S.; OSORIO S. *Preparación y Caracterización de una Arcilla Porosa de Estructura Heterogénea*. *Jornal of The Mexican Chemical Society*.vol 47. Sociedad Química de México 240-244. México 2003.
28. LOBO H. *Handbook of Plastics Analysis*. Ed. Marcel Dekker, Inc. USA 2003
29. TIMOSHENKO S. *Elementos de Resistencia de Materiales*. Ed. Limusa. México 2000.
30. XUEPEI Y.; CHUNCHENLI, G. *Thermal Degradation Investigation of Polyethylene Terephthalate Fibrous Silicate Nanocomposites*. *Rev. Polymer Degradation and Stability*. Vol. 93. 466-475. 2008.
31. SKOOG D. *Principios de Análisis Instrumental*. Ed. Mc Graw Hill. España. 2002.
32. SAX I. *Diccionario de Química y de Productos Químicos Hawley*. Ed. Omega. España. 2006.
33. FRIED. J. *Polymer Science and Technology*. Ed. Prentice Hall.USA. 1995.
34. KITTEL. C. *Introducción a la Física del Estado Sólido*. 3ra. Edición. Ed. Reverte. S.A. España. 2003.
35. CHANG R. *Química*. 7ma edición. Ed. Mc Graw Hill. Colombia 2002.

ANEXOS

Anexo A.

Espectroscopia infrarrojo.

En este apartado se observan los espectros infrarrojos de las diferentes muestras de bentonita modificada.

Para la interpretación de un espectro de IR para una sustancia, se puede dividir en dos zonas principalmente una es llamada la región de huella dactilar ($< 1500 \text{ cm}^{-1}$) y la zona de identificación de grupos funcionales, siendo la segunda la más importante, las bandas que aparecen en esta área, se deben a los modos de tensión de los enlaces, en el caso de la bentonita se observan bandas OH, H₂O, NH₂, CH₂ y CN en valores que van desde 3700 a 1000 cm^{-1} aproximadamente Tabla A1.

TIPO DE VIBRACIÓN	GRUPO	VALOR DE cm^{-1} TEÓRICO
Tensión	Alcanos C-H	2960-2850 (f)
Flexión	Alcanos C-H	1470-1350 (f)
Tensión	Alcoholes OH	3650-3590 (v)
Flexión	Alcoholes OH	1620-1590 (v)
Tensión	Amina N-H	3500-3300 (m)
Tensión	Alquil-aminas C-H	1220-1020 (d)

Intensidad de absorción: fuerte (f), media (m), variable (v), débil (d).

TABLA A1. IDENTIFICACIÓN DE BANDAS DE INFRARROJO.

Sin embargo las bandas que se pueden observar en la región de huella dactilar se deben a modos normales de flexión que se basan en el movimiento de los átomos del esqueleto y dependen de los grupos que afectan al directamente al esqueleto recibe este nombre debido a que son propias de cada compuesto orgánico.

Se observa en la Figura A1, A2, A3, un cambio en la intensidad de la banda y la amplitud de la misma, básicamente se atribuyen estos cambios debido a la concentración del reactivo que con ello trae consigo un mayor número de fuerzas intramoleculares, por ejemplo los puentes de hidrógeno que presenta la arcilla en el

grupo OH o en el grupo NH una cantidad mayor de estas interacciones propicia que los enlaces se encuentren más fuertemente enlazados y las vibraciones (medidas por la radiación infrarroja) disminuyan en mayor medida.

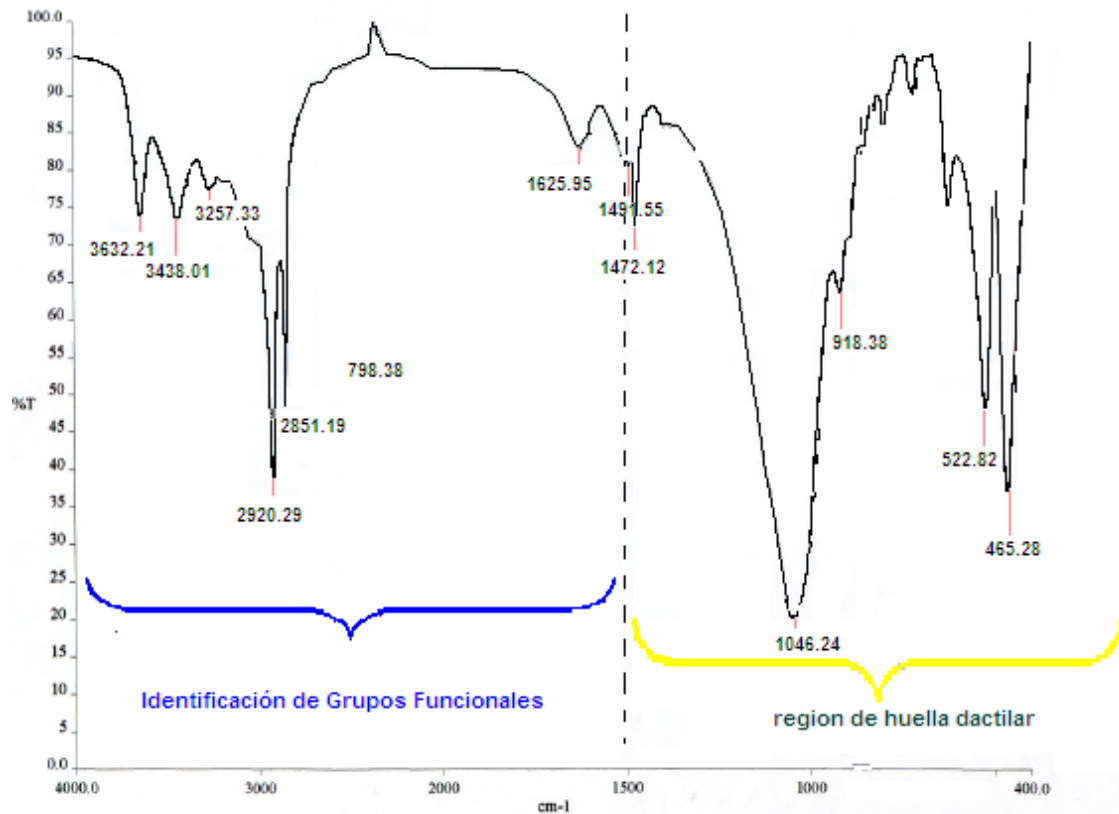


FIGURA A1. ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO PARA LA MEZCLA DE BENTONITA CON EL COMPUESTO ORGÁNICO 10%

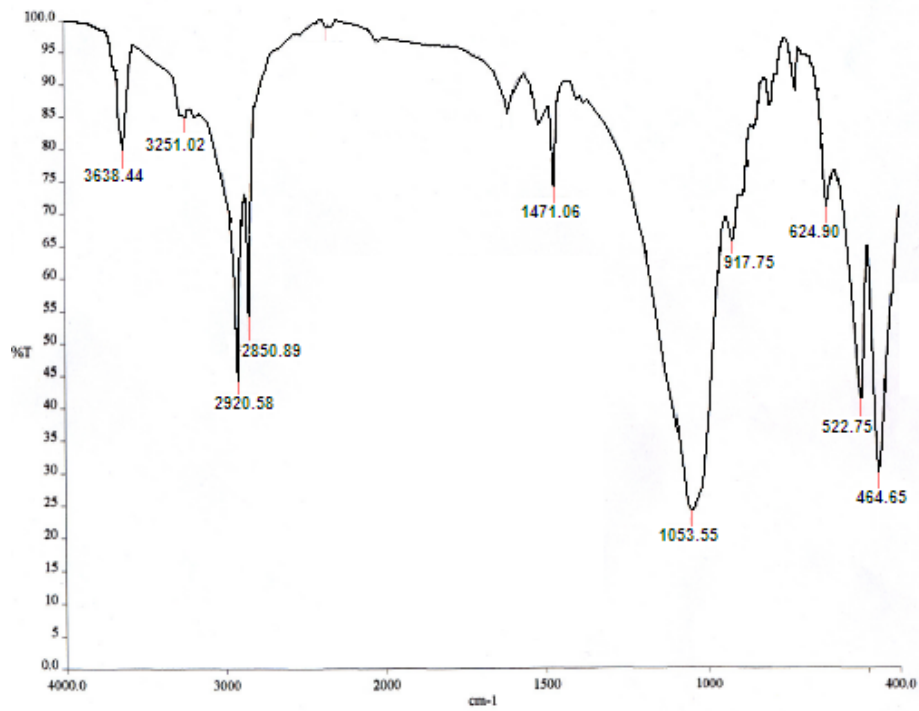


FIGURA A1. ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO PARA LA MEZCLA DE BENTONITA CON EL COMPUESTO ORGANICO 50%

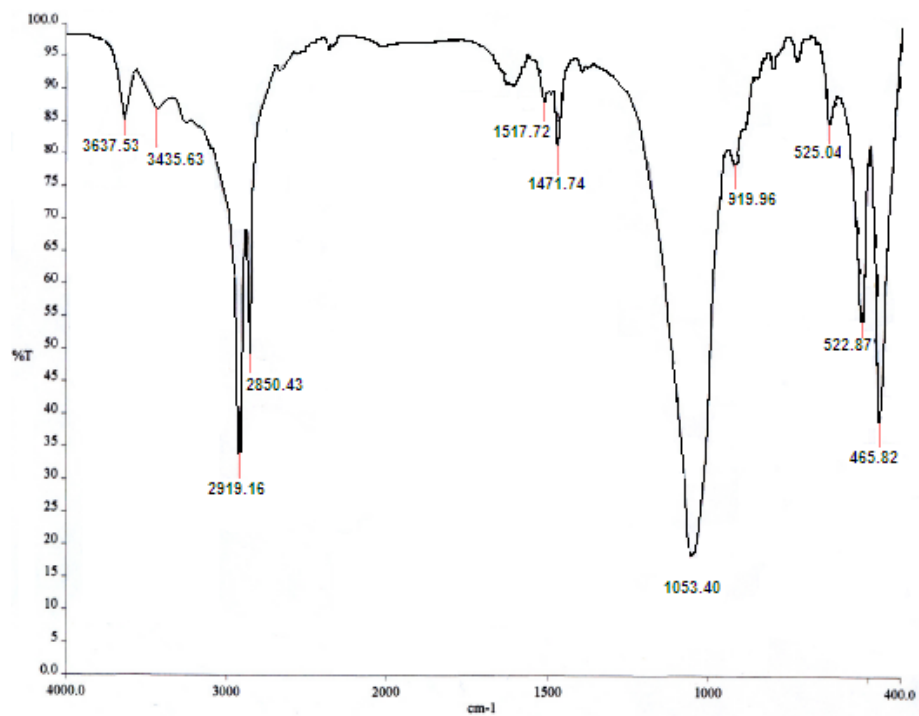


FIGURA A1. ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO PARA LA MEZCLA DE BENTONITA CON EL COMPUESTO ORGANICO 75%

Anexo B

Difracción de rayos x

En las siguientes figuras B1, B2, B3 se presentan los difractogramas para la muestras de bentonita modificada, se tomaron los difractogramas más representativos de las muestras, considerando el tiempo de reacción de 2 horas. A partir de ellos se consideró el de mayor distancia interlaminar por medio de la utilización de la ecuación de la ley de Bragg.

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

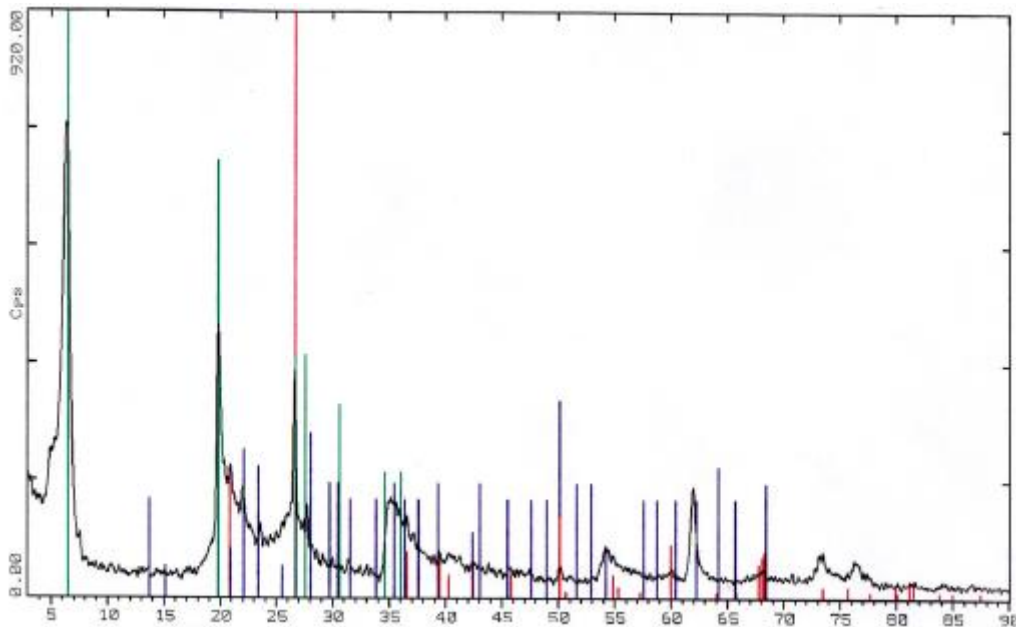


FIGURA B1.DIFRACTOGRAMA DE ORGANO Bentonita CON 10% DE AGENTE MODIFICANTE.

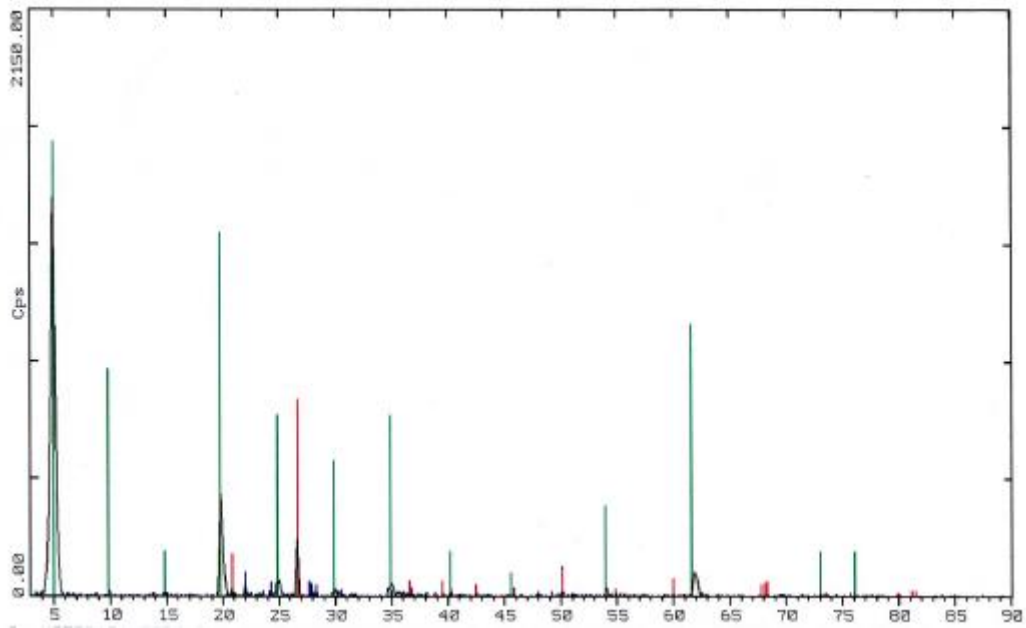


FIGURA B2.DIFRACTOGRAMA DE ORGANO Bentonita CON 25% DE AGENTE MODIFICANTE.

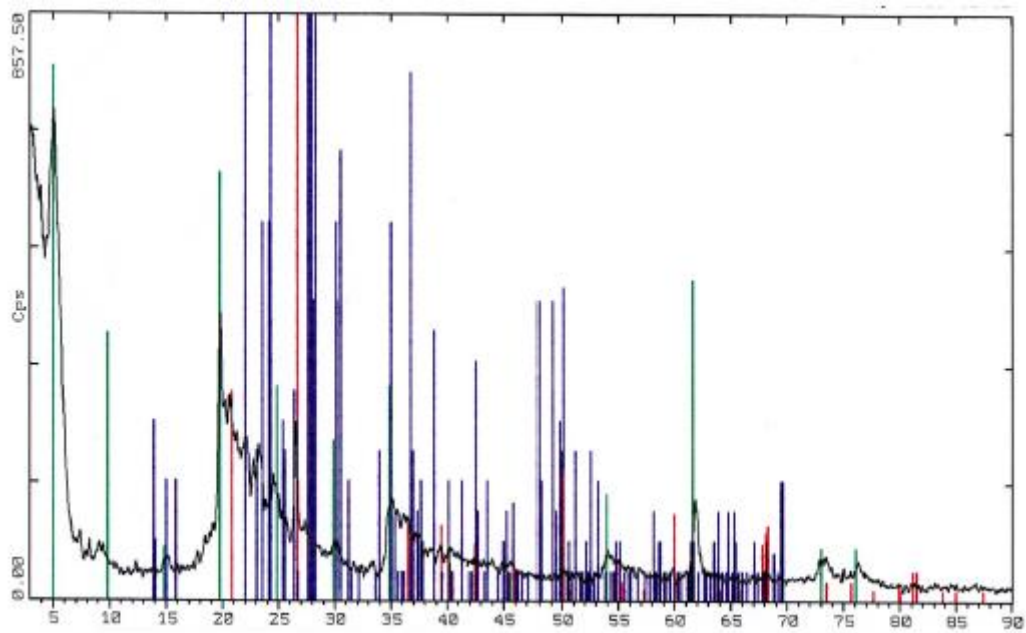


FIGURA B3.DIFRACTOGRAMA DE ORGANO Bentonita CON 75% DE AGENTE MODIFICANTE

Anexo C

Gráficas de esfuerzo deformación.

En este anexo se pueden observar las gráficas de deformación contra esfuerzo para las diferentes mezclas, es importante observar, el comportamiento que presentan las muestras ante la carga aplicada.

Para entender que sucede con las mezclas poliméricas es importante conocer el término de tenacidad esta es la energía total que absorbe un material antes de alcanzar la rotura, por acumulación de cargas.

La curva Esfuerzo contra Deformación es muy importante debido a que en ella se muestra lo que sucede realmente con el material, en el caso de las muestras donde se observa un material dúctil, cuando es sometido a fuerza de tensión, este se convierte en inestable y sufre estricción localizada durante la última fase del ensayo y la carga requerida para la deformación disminuye debido a la disminución del área transversal, además la tensión media basada en la sección inicial disminuye, produciéndose como consecuencia un descenso de la curva esfuerzo contra deformación después del punto de carga máxima.

Básicamente todas las gráficas se dividen en las siguientes zonas, la diferencia que presentan es el valor de la carga que cada área soporta por lo que al soportar menor carga se comporta de manera más frágil.

La zona elástica es la parte donde al retirar la carga el material regresa a su forma y tamaño inicial, en casi toda la zona se presenta una relación lineal entre la tensión y la deformación y tiene aplicación la ley de Hooke. La meseta de fluencia es la región donde el material se comporta plásticamente; es decir, en la que continúa deformándose bajo una tensión "constante" o, en la que fluctúa un poco alrededor de un valor promedio llamado límite de cedencia o fluencia. Endurecimiento por deformación es la zona en donde el material retoma tensión para seguir deformándose; va hasta el punto de tensión máxima, llamado resistencia última por ser el último punto útil del gráfico. Y por último se encuentra la zona de tensión post-máxima es el último tramo el material se va poniendo menos tenso hasta el momento de la fractura. La tensión de fractura es llamada también tensión última por ser la última carga que soporta el material.

En las gráficas que se obtuvieron se observa una pequeña variación ya que no se presenta una relajación de la tensión pues esta aumenta hasta la ruptura

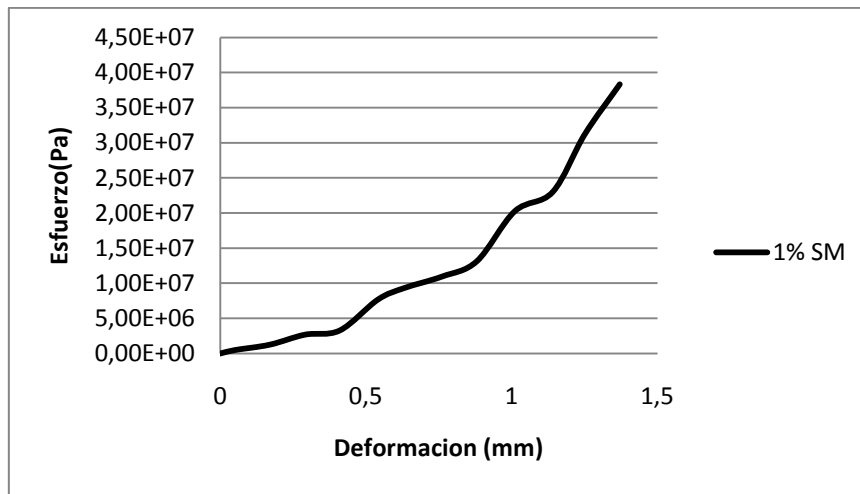


FIGURA C1. DEFORMACIÓN CONTRA ESFUERZO DE LA MEZCLA DE PET CON DE 1% DE ARCILLA SIN MODIFICAR EN DONDE SE OBSERVA UN COMPORTAMIENTO FRÁGIL.

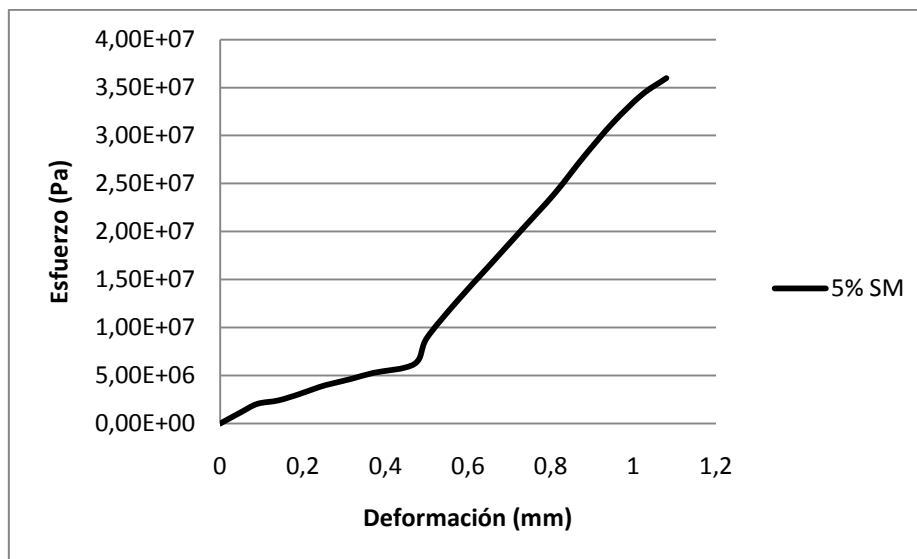


FIGURA C2. DEFORMACIÓN CONTRA ESFUERZO DE LA MEZCLA DE PET CON DE 5% DE ARCILLA SIN MODIFICAR EN DONDE SE OBSERVA UN COMPORTAMIENTO BLANDO.

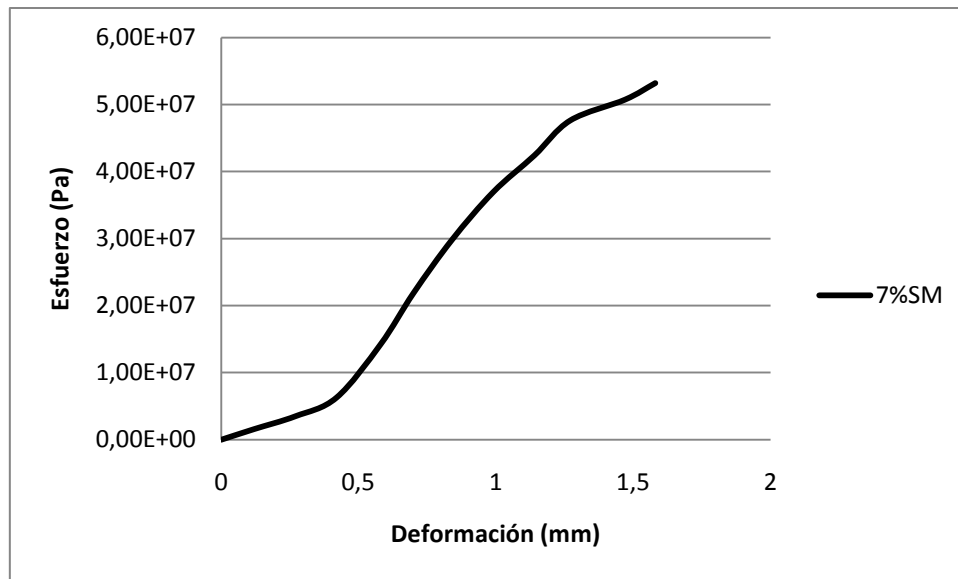


FIGURA C3. DEFORMACIÓN CONTRA ESFUERZO DE LA MEZCLA DE PET CON DE 7% DE ARCILLA SIN MODIFICAR EN DONDE SE OBSERVA UN COMPORTAMIENTO BLANDO Y DÉBIL.

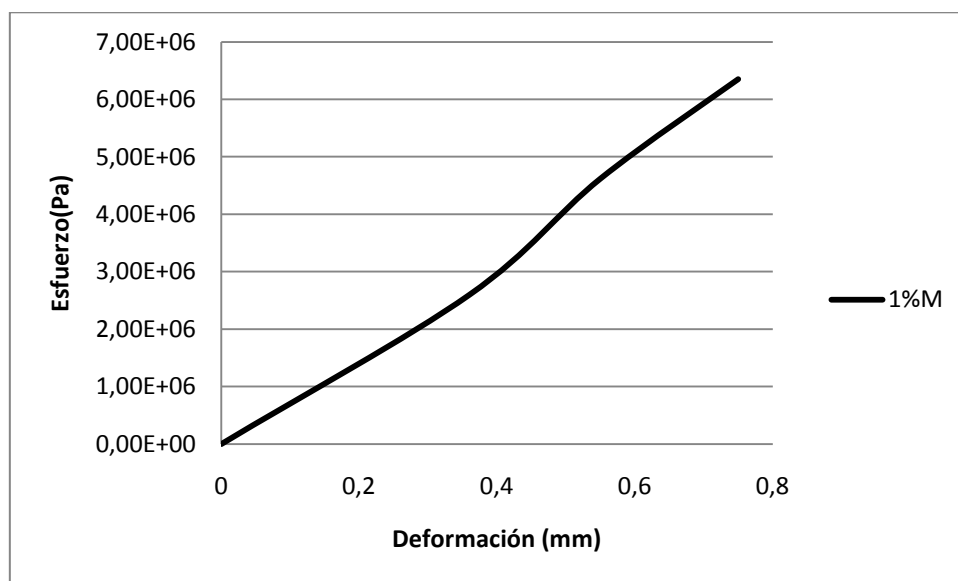


FIGURA C4. DEFORMACIÓN CONTRA ESFUERZO DE LA MEZCLA DE PET CON DE 1% DE ARCILLA MODIFICADA EN DONDE SE OBSERVA UN COMPORTAMIENTO FRÁGIL.

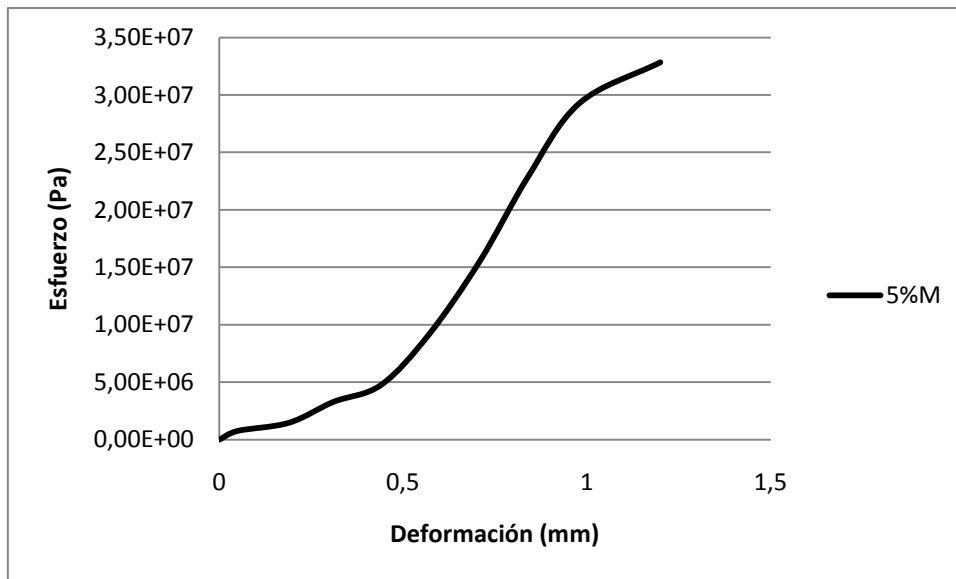


FIGURA C5. DEFORMACIÓN CONTRA ESFUERZO DE LA MEZCLA DE PET CON DE 5% DE ARCILLA MODIFICADA EN DONDE SE OBSERVA UN COMPORTAMIENTO BLANDO.

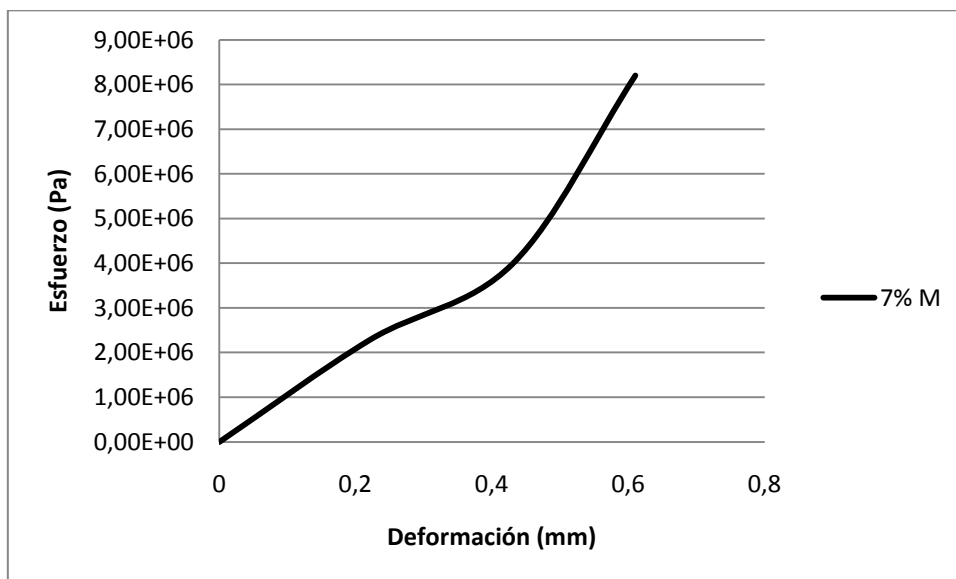


FIGURA C6. DEFORMACIÓN CONTRA ESFUERZO DE LA MEZCLA DE PET CON DE 7% DE ARCILLA MODIFICADA EN DONDE SE OBSERVA UN COMPORTAMIENTO DURO Y FRAGIL.