

**ELABORACION DE MATERIALES COMPUESTOS POLIMÉRICOS  
REFORZADOS CON NANOPARTICULAS DE DIÓXIDO DE TITANIO PARA  
APLICACIONES INDUSTRIALES**

**Tesis que presenta**

**Tatiana FLOREZ GONZALEZ**

Para obtener el grado de  
Ingeniera Mecánica

Director:

**Jorge SALDARRIAGA, I.M MSc**  
Grupo de Materiales  
Universidad Pontificia Bolivariana

Codirectora:

**Lina Marcela HOYOS PALACIO, I.Q. Ph.D.**  
Grupo de Investigación de Dinámica Cardiovascular - Centro de Bioingeniería  
Facultad de Medicina  
Universidad Pontificia Bolivariana

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
MEDELLÍN**

**NOVIEMBRE de 2013**

Dedicada principalmente a Dios, a mis padres y hermanos por su entrega, por creer en mí, por su apoyo incondicional, por ayudarme a superarme en los momentos de dificultad y por el orgullo que sienten por mí, por eso todo lo que soy hoy, es gracias a ustedes.

## **AGRADECIMIENTOS:**

Esta meta no podía ser alcanzada sin la dedicación, apoyo, comprensión y paciencia de mis dos directores la Dra. Lina Marcela Hoyos Palacio y el MSc. Jorge Saldarriaga, les agradezco por ser mi guía, por brindarme todos sus conocimientos y soluciones en el momento oportuno, por darme las herramientas correctas para sacar adelante este proyecto.

De igual manera mis agradecimientos al I.M Carlos René Muños Jiménez por su colaboración y acompañamiento para la realización de caracterización mecánica a los polímeros obtenidos en este trabajo de tesis.

Al Centro de Bioingeniería quienes me ayudaron en la gestión de materiales y equipos necesarios para la realización de este trabajo.

Al Centro de Investigación de Materiales Avanzados (CIMAV) de México y a la Universidad de Antioquia, por ayudarme con las pruebas de microscopia TEM y SEM.

Por último pero no menos importante agradezco al grupo de docentes de la Universidad Pontificia Bolivariana por los conocimientos compartidos y enseñados para mi desarrollo profesional; gracias a todos los contribuyeron de gran manera en este gran triunfo de ser aspirante al título de Ingeniera Mecánica.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS .....	5
LISTA DE TABLAS .....	6
LISTA DE ANEXOS .....	7
RESUMEN .....	8
INTRODUCCIÓN .....	9
1. Marco teórico.....	10
1.1 NANOTECNOLOGÍA .....	10
1.2 SOL-GEL PROCESO PARA MATERIALES NANOTECNOLÓGICOS .....	11
1.3 DIÓXIDO DE TITANIO.....	12
1.4 MATERIALES COMPUESTOS .....	12
1.5 MATRICES POLIMERICAS PARA MATERIALES COMPUESTOS.....	12
1.6 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS .....	13
1.6.1 Técnicas analíticas avanzadas.....	13
1.6.2 Técnicas difractométricas .....	14
1.6.3 Técnicas espectrométricas .....	14
1.6.4 Propiedades mecánicas .....	16
2 METODOLOGÍA.....	17
2.1 Selección del polímero.....	17
2.2 Elección de elementos para la modificación química .....	17
2.3 Síntesis de ruta Sol-gel.....	17
2.4 Elaboración del material compuesto .....	18
2.5 Caracterización morfológica de los materiales compuestos .....	20
2.6 Caracterización mecánica de los materiales compuestos .....	20
3. ANÁLISIS Y RESULTADOS .....	21
3.1 Nanoparticulas de TiO <sub>2</sub> .....	21
3.2. Caracterización morfológica de los materiales compuestos .....	22
3.3. Caracterización mecánica de los materiales compuestos .....	27
4. COMPROMISO ÉTICO: .....	34
5. IMPACTO AMBIENTAL: .....	34
5.1 Poliestireno expandido .....	34
5.2 Estireno .....	34
6. CONCLUSIONES.....	35
7. ANEXOS .....	36
8. REFERENCIAS .....	45

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso del Sol-gel.....	11
Figura 2. Agitación de los polímeros. ....	18
Figura 3. Vaciado del polímero en los moldes. ....	19
Figura 4. Corte de las probetas en maquina laser. ....	19
Figura 5. Probetas cortadas. ....	21

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Reactivos y proporciones .....	17
Tabla 3. Probetas ensayadas .....	18
Tabla 2. Imágenes SEM de las partículas de dióxido de titanio.....	22
Tabla 4. Poliestireno + Poliestireno expandido sin-carga. .	23
Tabla 5. Poliestireno + Poliestireno cristal sin nano-carga. ....	24
Tabla 6. Poliestireno + Poliestireno cristal (carga: 1,5%). ....	25
Tabla 7. Poliestireno + Poliestireno cristal (carga: 2%). .	25
Tabla 8. Poliestireno + Poliestireno expandido (carga: 1,5%). ....	26
Tabla 9. Flexión: Poliestireno cristal y poliestireno expandido sin nano-carga.....	27
Tabla 10. Flexión: Poliestireno cristal y poliestireno expandido (carga: 0,05%) .....	28
Tabla 11. Flexión: Poliestireno cristal y poliestireno expandido (carga: 1,5%) .....	29
Tabla 12. Flexión: Poliestireno cristal (carga: 2%). .....	30
Tabla 13. Especificaciones ensayo de tracción. ....	30
Tabla 14. Tracción: Poliestireno cristal y poliestireno expandido sin nano-carga.....	31
Tabla 15. Tracción: Poliestireno cristal y poliestireno expandido (carga: 0,05%). .....	31
Tabla 16. Tracción: Poliestireno cristal y poliestireno expandido (carga: 1,5%).....	32
Tabla 17. Tracción: Poliestireno cristal (carga: 2%). .....	33

## LISTA DE ANEXOS

7.1 Anexo 1. Ficha técnica poliestireno .....	36
7.2 Anexo 2. Ficha técnica Poliestireno cristal .....	39
7.3 Anexo 3. Ficha técnica Poliestireno expandido.....	44

## RESUMEN

Los inicios de la inclusión de la nanotecnología por parte del gobierno colombiano comienzan en el 2004 cuando Colciencias selecciona el área de “Nanotecnología y Materiales Avanzados” como una de sus ocho áreas estratégicas para el desarrollo de la productividad y competitividad colombiana. En el 2005, se creó el Consejo Nacional de Nanociencia y Nanotecnología impulsado por la Sección Colombia del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), y a continuación se instaló una red de investigación y desarrollo de nanotecnociencias en centros educativos como la Universidad Javeriana, Universidad de San Buenaventura, Universidad del Bosque, Universidad Distrital, y Universidad Santo Tomás (Universidad Distrital, 2012)

La nanotecnología, al presentarse como una tecnología transversal y de un profundo impacto en todos los ámbitos de la vida, pretende solucionar algunos de los grandes problemas modernos que aquejan a la población humana, como búsqueda de nuevos combustibles, métodos de purificación del agua, curas contra el cáncer, el VIH, Parkinson, fuentes de comida, agricultura, solución a problemas de higiene y salubridad. Al ser un área transversal del conocimiento, se hace muy difícil enumerar todas sus aplicaciones; No obstante es posible realizar una división general de las mismas, de la siguiente manera:

- Aplicaciones en biología y medicina.
- Aplicaciones en nuevos materiales.
- Aplicaciones en sensórica, electrónica y robótica.

Con el paso del tiempo las innovaciones de vanguardia en el ámbito de la electrónica, la informática y las telecomunicaciones no han sido para países sub-desarrollados, pero sin embargo la nanotecnología, podría ofrecer oportunidades e igualdad para los más pobres. (Zuluaga, y otros, 2007) Se estima que alrededor de 2 millones de ingenieros y científicos en el campo de la nanotecnología (Kittisak Koombua, 2007), se necesitarán en el mundo en la próxima década para suplir la demanda de desarrollo de investigación. ¿Está Colombia lista para afrontar este reto en la preparación académica de sus profesionales para la próxima década?

Actualmente la gran mayoría de las tecnologías en plástico se están importando a nuestro país, esto por la falta de desarrollo tecnológico en las universidades aplicado a la industria.

Con la presente investigación se buscó desarrollar un polímero nanoreforzado y así ampliar la posibilidad de la industria Colombiana de desarrollar materiales poliméricos nanoreforzados, disminuyendo la importación de estas materias primas innovadoras al país.



## INTRODUCCIÓN

Las nuevas tecnologías requieren de materiales con una combinación de propiedades muy buenas para trabajar de acuerdo a su aplicación de la manera más óptima posible.

Actualmente la Ciencia de Materiales enfoca su atención en el desarrollo de materiales reforzantes micro y nanométricos, con el propósito de generar elementos de mayor resistencia, flexibilidad y ligereza, al mismo tiempo que combinen un alto carácter de funcionalidad. (Hoyos, 2009)

El presente trabajo hace referencia a la importancia de desarrollar materiales compuestos poliméricos ya que han tenido un progresivo avance en el desarrollo nacional, y la mayoría de países industrializados están invirtiendo grandes sumas de dinero en el desarrollo de estos, debido a su gran papel estratégico en la interacción económica global. (Cartuja, 2010)

Los materiales compuestos se obtienen a partir de distintas combinaciones de elementos químicos o aleaciones, las cuales permiten obtener nuevas propiedades según los procesos a los que han sido sometidos. Dentro de las razones que los países industrializados han tenido para desarrollarlos, se puede mencionar la preservación y protección del medio ambiente, la reducción del consumo de materias primas estratégicas, el incremento de la competitividad en el mercado mundial, las mejoras en la productividad industrial, entre otras. (Rodriguez, Bejarano, & Villazon)

La idea principal de este trabajo es elaborar uno de estos materiales reforzado con dióxido de titanio y evaluar la variación de las propiedades mecánicas de los polímeros al reforzarlo.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 NANOTECNOLOGÍA

El prefijo “nano” proviene del latín “nanus” que significa muy pequeño o enano y en términos físicos es el prefijo para referirse a la milmillonésima parte de algo ( $10^{-9}$ ) (Serena & Correa, 2009); así un nanómetro es la distancia que obtenemos al subdividir un milímetro en un millón de partes.

Desde una primera mirada, parecería inoficioso ponerse a analizar partículas tan pequeñas; pero el panorama cambia totalmente cuando se ahonda en el tema y se descubre que los objetos a estas pequeñas dimensiones, tienen la capacidad de transformar el mundo conocido. No es en vano, que investigadores colombianos en el área de la nanotecnología como es el caso de Jairo Giraldo Gallo, se atreven a llamarla “la mayor revolución en la historia” haciendo énfasis en la importancia que ya tiene en el mundo y su gran potencial para reinventar el universo (Martelo & Vink, 2008).

En la historia, a medida que la humanidad adquiría cada vez más conocimiento, tuvo la necesidad de clasificarlo, creando entonces disciplinas como la física, la química, las ingenierías, las humanidades; lo cual sirvió para adquirir un conocimiento más profundo y detallado, y por definición menos general, lo que pudo causar una pérdida de vínculos entre diferentes áreas, algunas veces generando la percepción de que los conocimientos son aislados e independientes (Serena & Correa, 2009).

Básicamente lo “*nano*”, es una convergencia de las diferentes áreas del conocimiento que tras años han luchado por su independencia (física, química, biología, ingenierías, artes, etc.); ahora la nanotecnología deja al descubierto que el mundo no es de disciplinas, ni de muchas ciencias sino que todo converge para desarrollar aplicaciones de interés científico y humano. Por lo tanto, se debe afrontar el reto de relacionar una gran cantidad de disciplinas que antes para poder enfrentar una investigación en nanotecnología.

Las técnicas de síntesis desarrolladas para materiales a escala nanométrica han crecido de forma exponencial (Deposición química de vapor, sol gel, electroforesis, etc.). Una de las principales técnicas usadas para la síntesis de múltiples nanosistemas es el sol gel y sobre dicha técnica se investiga en esta propuesta.

## 1.2 SOL-GEL PROCESO PARA MATERIALES NANOTECNOLÓGICOS

El proceso sol-gel permite la fabricación de materiales amorfos y policristalinos con características especiales en su composición y propiedades. (Hench & West, 1990) Su utilidad radica en que necesita menor temperatura en comparación con los métodos tradicionales de fabricación de vidrios por fusión.

El sol-gel es una ruta química que inicia con la síntesis de una suspensión coloidal de partículas sólidas o cúmulos en un líquido (sol) y la hidrólisis y condensación de éste sol para formar un material sólido lleno de solvente (gel). (Klein, 1994). El solvente se le extrae al gel simplemente dejándolo reposar a temperatura ambiente durante un período de tiempo llamado envejecimiento, en el cual el gel se encogerá expulsando el solvente y agua residual. Al término del tiempo de envejecimiento, por lo general aún se tienen solventes y agua en el material, además de que el tamaño del poro es considerable. Para solucionar esto, el material se somete a un tratamiento térmico, al final del cual obtendremos nuestro material en forma de monolito o de película delgada (Hoyos, 2009) (C. J. Brinker, 1990)

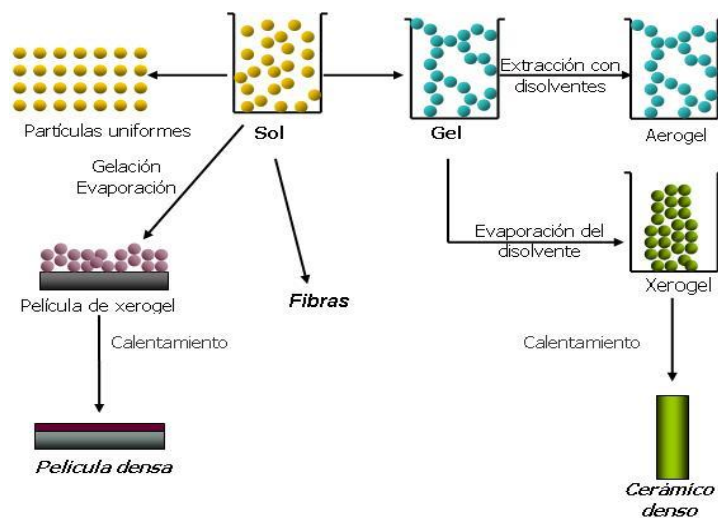


Figura 1. Proceso del Sol-gel

En el presente trabajo se sintetizaron nanopartículas dióxido de titanio vía sol gel, a continuación se expone como reforzante del material.

### **1.3 DIÓXIDO DE TITANIO**

El dióxido de titanio se obtiene directamente de minas o de arena en forma de rocas volcánicas. En general, no es puro, por lo que hay que eliminar otros compuestos con los que está mezclado, pero es relativamente barato extraerlo. El mineral del que más comúnmente se saca es el rutilo (El polvorin, 2011)

El dióxido de titanio,  $TiO_2$ , es un semiconductor tipo n-sensible a la luz que absorbe radiación electromagnética en la región del UV, es anfótero y muy estable químicamente. Por las características mencionadas es el fotocatalizador más empleado y actualmente se utiliza para degradar moléculas orgánicas durante la purificación del agua. En esta investigación se utilizará el método Sol-Gel para sintetizar dióxido de titanio, proceso que permitirá obtener materiales amorfos y policristalinos de forma sencilla y con un alto porcentaje de pureza. (Hoyos, 2012).

Los nanoreforzantes como el  $TiO_2$  prometen brindar nuevas propiedades y comportamientos en las matrices elementales de los materiales. Las aplicaciones directas de estos nanoreforzantes es apenas un objeto de estudio mundial.

### **1.4 MATERIALES COMPUESTOS**

Los materiales compuestos provienen de la asociación intencional y artificial de dos o más materiales dispares en el que uno de ellos hace las veces de reforzante y otro de matriz aglutinadora de tal forma que sus ventajas se multipliquen y los defectos se compensen (efecto sinérgico). (Cruz, 2012).

Estos materiales han sido utilizados desde siempre por el hombre pero obtenidos y/o tratados con nuevas tecnologías que cuentan con unas propiedades mejoradas o superiores cuando se comparan con las de los materiales tradicionales (A, J, & C, 1999) (Cruz, 2012).

### **1.5 MATRICES POLIMERICAS PARA MATERIALES COMPUESTOS**

Son en general, materiales orgánicos constituidos por grandes moléculas, basados en moléculas discretas unidas de manera repetitiva.

Los polímeros presentan aplicaciones en diversos campos, tales como la construcción, la electrónica, la industria química, automotriz, los empaques, etc.

Las metas de desarrollo para este tipo de materiales, se enfocan hacia polímeros con nuevas estructuras moleculares, logrando así mejores propiedades térmicas, mecánicas,

químicas, al igual que hacia polímeros funcionales con propiedades ópticas, magnéticas, electrónicas, etc.

Las diversas aplicaciones de los polímeros, son muestra de su alto potencial de innovación, existiendo muchas opciones de investigación y desarrollo en torno a los polímeros de extrema resistencia, polímeros compuestos, copolímeros re-ordenados, polímeros portadores de información, polímeros con propiedades eléctricas, electrónicas, magnéticas y ópticas. Polímeros dotados de memoria. (Rodríguez, Bejarano, & Villazon).

## **1.6 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS**

El desarrollo de nuevos y mejorados materiales sólidos para diferentes aplicaciones ha experimentado cambios realmente revolucionarios desde hace aproximadamente dos décadas, debido al surgimiento de sofisticados métodos de caracterización que proporcionan información fundamental acerca de su estructura, su superficie y sus propiedades. Estos métodos de caracterización han permitido comprender las características estructurales (tanto cristalina como amorfa), y analizar el efecto de los métodos de síntesis sobre las propiedades.

La comprensión, provecho y control de los fenómenos y las propiedades de los materiales a nivel microscópico son objetivos importantes de la Ciencia de Materiales, lo cual permite tanto el desarrollo de nuevos materiales que satisfagan las necesidades tecnológicas, como la optimización de su uso para reducir desechos y el impacto ambiental por contaminación.

En el pasado, la función básica de los científicos de materiales estaba representada en la caracterización cuantitativa de los fenómenos y el desarrollo de modernas teorías para explicarlos. Actualmente, se ha acumulado un detallado conocimiento de un gran número de diferentes fenómenos eléctricos, magnéticos, ópticos, mecánicos y térmicos, descritos en términos de correlaciones clásicas o cuánticas de la materia condensada. La ciencia de los materiales, más allá del año 2050, se caracterizará por el control de los fenómenos que se presentan en los materiales a escala nanométrica y de foto segundos (Delgass, Haller, Kellerman, & Lunsford, 1979) (Hoyos, 2009).

### **1.6.1 Técnicas analíticas avanzadas**

El progreso de la Ciencia de los Materiales está íntimamente relacionado con los logros en el desarrollo de especializadas técnicas analíticas, que permitan examinar el átomo y la estructura electrónica de los materiales a nivel nanométrico. Los objetivos futuros en el diseño y procesamiento de nuevos materiales, así como en el monitoreo y control de

nuevos fenómenos y propiedades, constituyen la fuerza que impulsa el desarrollo de nuevos conceptos y nuevas técnicas de difracción, microscopía y espectroscopia. El logro de resoluciones más altas, mayores sensibilidades y límites de detección, son las metas principales en el campo de las técnicas de caracterización, para el desarrollo de análisis in situ y técnicas no destructivas. Como consecuencia de los avances en este campo, gradualmente irán desapareciendo las fronteras entre los tres métodos analíticos más importantes: Difracción, microscopía y espectroscopia (Hoyos, 2009).

### **1.6.2 Técnicas difractométricas**

El grupo de técnicas físicas está constituido por las técnicas difractométricas. En función del tipo de fuente de partículas empleada se puede hablar de difracción de rayos X, difracción de neutrones y difracción de electrones. De éstas, la difracción de rayos X es la técnica de aplicación más general y la más ampliamente utilizada para la identificación de especies y estructuras cristalinas.

Cuando se hace incidir radiación X sobre un material, se puede observar que esta radiación es parcialmente atenuada por la materia; es decir, sólo una cierta fracción de intensidad de esta radiación la atraviesa sin que se produzcan cambios en su energía o longitud de onda. La medida de esta intensidad transmitida es la base de las técnicas de absorción de rayos X (Hoyos, 2009).

### **1.6.3 Técnicas espectrométricas**

Tanto las distintas técnicas de absorción como las de emisión de rayos X, pertenecen al vasto grupo de las técnicas espectrométricas en las que se encuentran técnicas tan conocidas como la absorción atómica, espectrometría de emisión, infrarrojos, Raman, ultravioleta, resonancia magnética nuclear, entre otras. El fundamento de todas es básicamente el mismo y radica en la existencia, en un sistema atómico o molecular, de distintos estados o niveles de energía y de posibles transiciones entre ellos. La medida de la energía de la radiación electromagnética absorbida o emitida en estas transiciones es la base de estas técnicas (L.M. Malarda, 2009).

#### **1.6.3.1 Microscopía electrónica de barrido (SEM) y de transmisión (TEM)**

La microscopía electrónica es una técnica poderosa para determinar el tamaño y la forma de partículas, que además de suministrar información de su composición, bien

sea detectando los rayos X producidos por la interacción de los electrones con la materia o analizando la forma cómo los electrones son difractados.

La fuente energética empleada en las técnicas de microscopía electrónica, son electrones de alta energía (100–400 keV) que chocan contra la muestra y producen diversos efectos. Los electrones tienen longitudes de onda características en el rango 0,1–1nm (luz visible: 400–700 nm), con lo cual se llega casi a “ver” detalles a nivel atómico. De este modo, la interacción del haz primario de electrones con la muestra proporciona una abundante información acerca de la morfología, cristalografía y composición química del material. (Hoyos, 2009)

### **1.6.3.2 Microscopía electrónica de barrido (SEM)**

La microscopía electrónica de barrido se realiza con un instrumento de alta resolución (~100 Å) que permite la observación y caracterización superficial de materiales orgánicos e inorgánicos. Esta técnica posee aplicaciones importantes tales como; el estudio de la microestructura, determinación del grado de cristalinidad, morfología de las muestras, defectos y estados de agregación de las mismas y microanálisis in situ (Hoyos, 2010).

En un microscopio electrónico de barrido, se barre la superficie de la muestra con un haz de electrones de alta energía, dando como consecuencia diversos tipos de señales. Estas señales incluyen electrones retrodispersos, secundarios y Auger (fotones debidos a la fluorescencia de rayos X y otros fotones de diversas energías) (Hoyos, 2010).

### **1.6.3.3 Microscopía de transmisión (TEM)**

El microscopio electrónico de transmisión posee un haz de electrones que incide y atraviesa la muestra observada y la sombra de detalles finos se captura en una pantalla con propiedades de emisión de luz, ubicada en la parte inferior de la columna. Los límites de resolución para una imagen directa de los detalles estructurales de sólidos se reduce a aproximadamente 1nm (Hoyos, 2010).

En un microscopio electrónico de transmisión (TEM), una muestra delgada se irradia con un haz de electrones de alta energía (por lo general en el rango de 100 a 200 keV). Este haz es enfocado por lentes magnéticos. Los primeros lentes antes de la muestra permiten la variación de la abertura de iluminación y el tamaño del área iluminada. La distribución de la intensidad del haz de electrones después de la interacción con el modelo forma una imagen sobre una pantalla fluorescente por el lente objetivo y el sistema de lentes de post-objetivo. Las imágenes son grabadas por una cámara digital o alternativamente, con una emulsión fotográfica sensible de electrones. (The Pennsylvania State University Materials Characterization Laboratory , 2013).

Para utilizar un TEM debe cortarse la muestra en capas finas, no mayores de un par de miles de Ångstroms. Los microscopios electrónicos de transmisión pueden aumentar un objeto hasta un millón de veces, pero su resolución está gobernada por los errores de las lentes magnéticas, específicamente por la aberración esférica de los objetivos (Hoyos, 2010).

#### **1.6.4 Propiedades mecánicas**

##### **1.6.4.1 Ensayo tracción**

Es una medida de la respuesta de un material ante una fuerza que tiende a estirarlo. De estos ensayos se suele obtener información sobre la resistencia a la tracción, elongación y modulo elástico.

La máquina universal de ensayos es la encargada de dar los resultados de esta prueba; la cual consta de un brazo fijo y uno móvil, ambos dotados con unas mordazas donde se sujetan las probetas. Los brazos se separan a una velocidad constante mientras se determina la carga y la extensión. Las probetas que se emplean en los ensayos de tracción normalmente se preparan mediante inyección o compresión, o también se pueden obtener recortándolas de zonas planas de las piezas ya transformadas. Las probetas deben tener unas dimensiones normalizadas, que pueden variar según la aplicación (iq.ua). El ensayo de tracción se realiza bajo la norma D638.

##### **1.6.4.2 Ensayo de flexión**

La resistencia a la flexión de un material es su capacidad para soportar fuerzas aplicadas en su eje longitudinal. Los esfuerzos inducidos por una carga de flexión son realmente una combinación de esfuerzos de tracción, compresión y cizalla. Las propiedades de flexión se calculan referidas al esfuerzo y deformación que se producen en la superficie externa de la probeta empleada.

Las probetas empleadas en los ensayos de flexión son paralelepípedos de material y presentan la ventaja sobre las de tracción de que son más fáciles de preparar dada su forma, además el alineamiento de las probetas en el equipo es mucho más sencillo y no provocan concentración de esfuerzos en ciertos puntos, como puede ocurrir en los ensayos de tracción. El método más empleado para realizar los ensayos de flexión consiste en tres puntos de carga. En este una probeta de material de sección rectangular se apoya en dos soportes y la carga la realiza un puntero situado entre los soportes. El valor obtenido para el modulo en ensayos de flexión puede coincidir en ocasiones con el modulo obtenido en ensayos de tracción, y la forma de calcularlo y el efecto de las



diferentes variables es el mismo (iq.ua). El ensayo de flexión se realizó bajo la norma D5023

Para el desarrollo del proceso de investigación se tuvieron en cuenta cuatro etapas, que versan desde la selección del polímero hasta la caracterización final. A continuación se explica cada fase de la propuesta.

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Selección del polímero

Se eligieron dos polímeros de acuerdo a sus propiedades y disponibilidad en el mercado. El poliestireno cristal y el poliestireno expandido, ya que son empleados ampliamente en las industrias (ver anexos 1, 2 en los que aparecen las fichas técnicas de cada uno de estos polímeros).

El polímero empleado para la disolución del poliestireno cristal y el poliestireno expandido fue el Estireno en su presentación líquida, este permitió la dilución de los polímeros hasta llegar a saturación.

### 2.2 Elección de elementos para la modificación química

Para reforzar los polímeros se eligió el Dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), debido a su buena dispersión, a sus propiedades como son: ser un semiconductor tipo n-sensible a la luz que absorbe radiación electromagnética en la región del UV, es anfótero y muy estable químicamente.

### 2.3 Síntesis de ruta Sol-gel

El Dióxido de titanio para su obtención con alta pureza, se realizó por la técnica sol-gel, los reactivos y proporciones para 50 ml se ven en la tabla 1.

Butoxido de titanio	20.95 ml
Etanol	24.1 ml
$\text{H}_2\text{O}$	4.97 ml
$\text{H}_2\text{NO}_3$ (5%)	1 ml

Tabla 1. Reactivos y proporciones. (C. J. Brinker, 1990) ruta modificada por el autor).

Se realizó la mezcla con las proporciones de la tabla y se agito vigorosamente por 30 min y se secó a 80°C por 12 horas, luego se calcino a 450°C por una hora y fueron las partículas que se adicionaron a los polímeros.

## 2.4 Elaboración del material compuesto

Para la elaboración de los films primero se realizó la unificación de los materiales en un beaker con 540 ml de Estireno (solvente) y 70 gr de poliestireno cristal o de poliestireno expandido; se agitan por aproximadamente 2 horas para su total homogenización, transcurrido este tiempo se le agrega pequeños porcentajes de TiO<sub>2</sub> y se procede a agitar nuevamente por 15 minutos, finalmente se vierte en el molde previamente elaborado con vidrio y madera para su curado a temperatura ambiente. Este proceso de secado total del polímero tiene una duración de 48 horas.

Probeta N°	Estireno (ml)	Poliestireno Expandido (gr)	Poliestireno Cristal (gr)	Carga de TiO <sub>2</sub> (%)
1	540	70		1.5
2	322		50	2
3	540		70	1.5
4	540		70	0
5	540	70		0
6	540	70		0.05
7	540		70	0.05

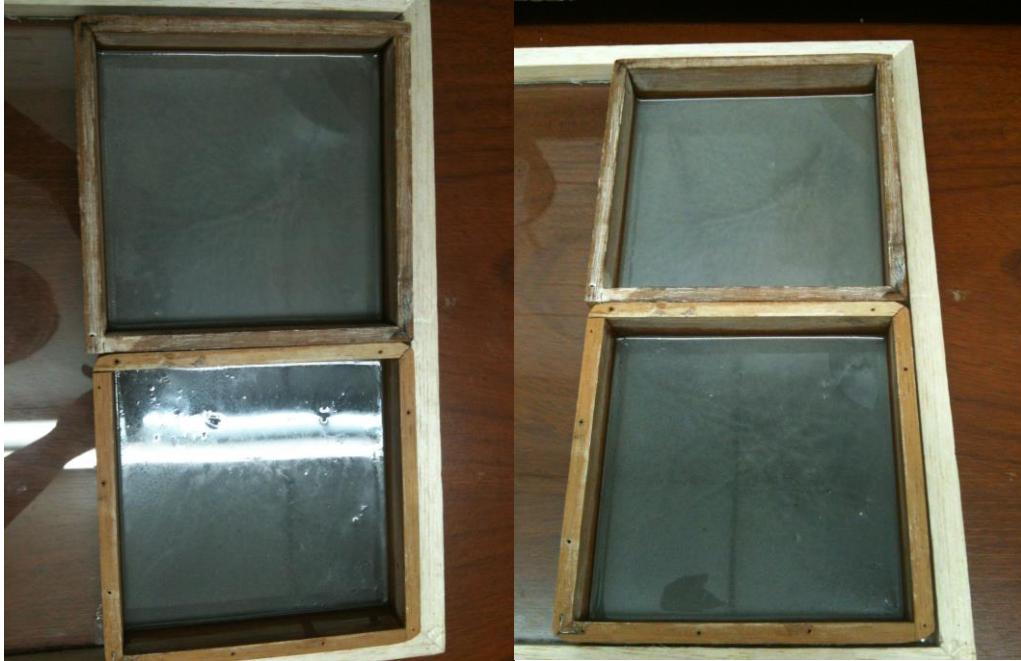
Tabla 2. Probetas ensayadas. Elaborado por el autor

En la figura 1. Se muestra la agitación de las probetas para su homogenización por aproximadamente 2 horas.



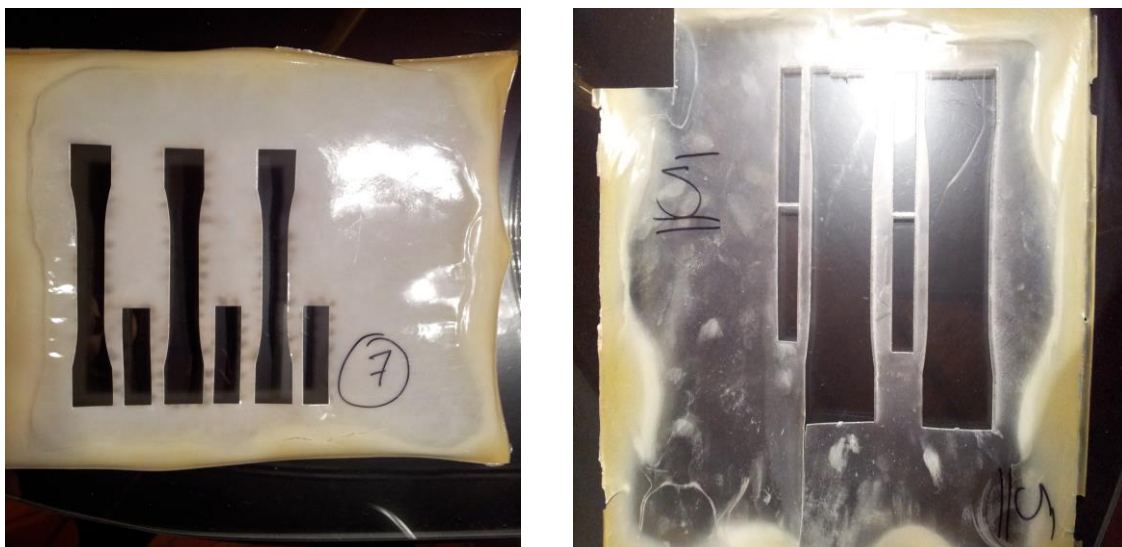
Figura 2. Agitación de los polímeros. Elaborado por el autor

Luego de la homogenización de la mezcla, se vacían los polímeros en los moldes previamente fabricados con vidrio y balsa; como lo muestra la figura 3.



**Figura 3. Vaciado del polímero en los moldes.**  
Elaborado por el autor

Finalmente son dejados los polímeros para su curación a temperatura ambiente por aproximadamente 48 horas; luego se extraen del molde y son cortadas las probetas según norma ASTM para su correspondiente caracterización mecánica y morfológica.



**Figura 4. Corte de las probetas en maquina laser.**  
Elaborado por el autor

En el siguiente numeral se muestran la caracterización morfológica realizada a los materiales compuestos elaborados.

## **2.5 Caracterización morfológica de los materiales compuestos**

La caracterización de los polímeros nanoreforzados se realizó por microscopía de barrido (SEM) y por microscopía electrónica de transmisión (TEM).

El microscopio de transmisión (TEM) marca JEOL JSM 5300 el cual trabaja en alto vacío con un barrido convencional. Con un haz de electrones una potencia de 3-5 keV, en el modo de electrones retrodispersos y secundarios con una corriente de emisión de 75-85  $\mu$ A y una distancia de trabajo de 6 mm. Para la preparación de las muestras, estas se adhirieron sobre un portamuestras recubierto con una cinta adhesiva conductora de doble cara (cinta de carbono), encima de esta se colocó la muestra de nanotubos y dispersada sobre la cinta. Este equipo se encuentra en el Centro de Investigación de Materiales Avanzados (CIMA) de México. Esta técnica se usó para caracterizar los polímeros reforzados con nanopartículas de dióxido de titanio (Tablas: 4, 5, 6,7 y 8).

Las imágenes del microscopio de barrido de las nanopartículas obtenidas (Tabla 2), fueron tomadas en un JEOL JEM-2010. Imágenes de SEM se obtuvieron usando un JEOL JSM 5300 operado a 5 kV. EDX espectros se recogieron en JEOL JSM 5300 en modo STEM funciona a 5 kV. Este equipo se encuentra en las instalaciones de la Universidad de Antioquia.

## **2.6 Caracterización mecánica de los materiales compuestos**

Las probetas fueron obtenidas bajo corte por maquina laser marca CUT, dimensiones: 1000 x 1200 x 500 mm; potencias 200 Whs.

En el momento del corte los parámetros fueron:

- Potencia 80%
- Velocidad: 25 cm/min
- Calidad: 6

Para la caracterización mecánica, se tuvieron en cuenta las normas ASTM D638 para las pruebas de tracción y la D5023 para la de flexión a tres puntos

Para la pruebas de flexión a tres puntos se realizó el ensayo con una velocidad de 1,33 mm/min.



Figura 5. Probetas cortadas. Elaborado por el autor

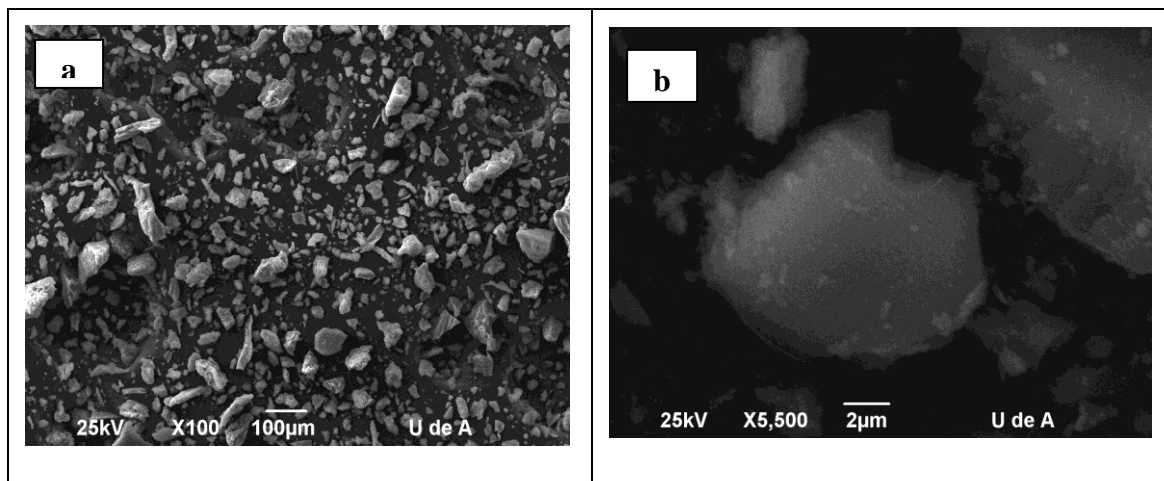
### 3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Este trabajo busca evidenciar el proceso realizado para la elaboración de un material polimérico reforzado con nanopartículas de  $\text{TiO}_2$ ; los materiales utilizados para esta investigación son el Estireno, poliestireno expandido, poliestireno cristal.

#### 3.1 Nanopartículas de $\text{TiO}_2$ .

Se obtienen muestras las nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  por medio del método del sol gel y aplicando la ruta adecuada a partir de Butoxido de Titanio, de acuerdo al procedimiento reportado en el numeral 2.3.

En la tabla 2, se observan las micrografías SEM de las nanopartículas de  $\text{TiO}_2$ , en las figura 2a y 2b se observan las aglomeraciones de las nanopartículas, pero en la figura c y d, se observa el detalle de las mismas y revelando un tamaño promedio de 100 nanómetros y uniformidad en la muestra.



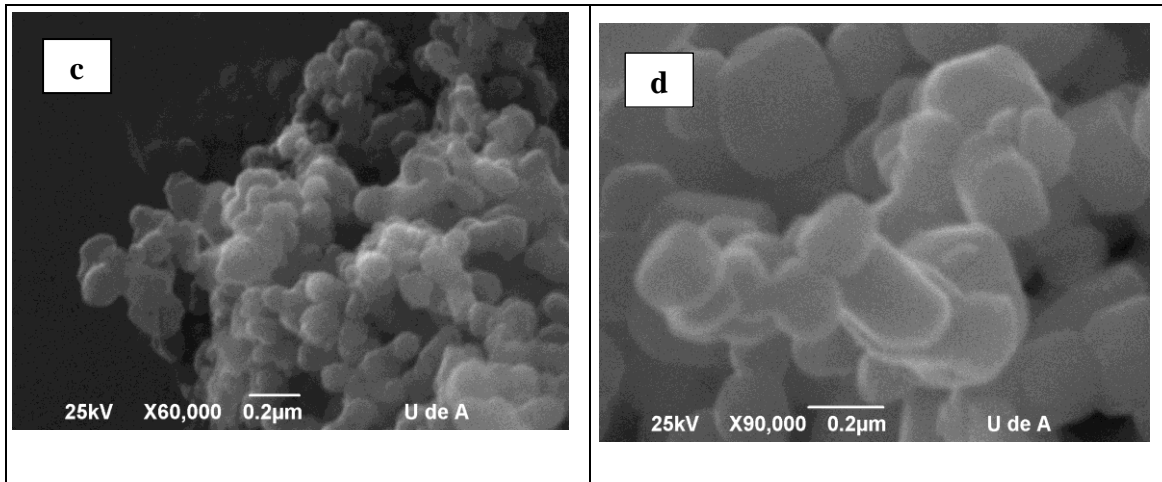
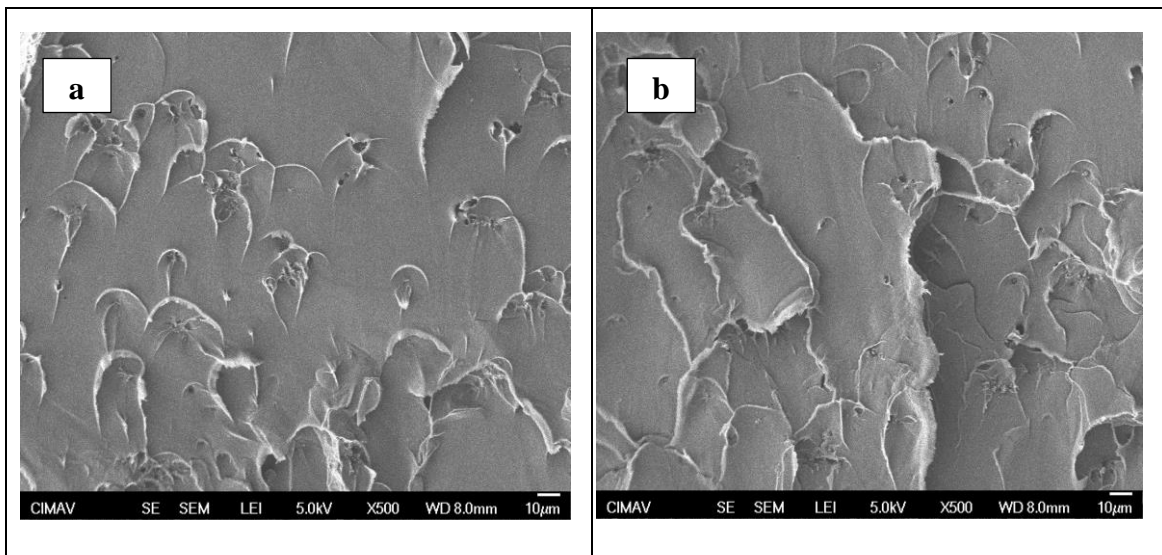


Tabla 3. Imágenes SEM de las partículas de dióxido de titanio. a) Imagen SEM a X100, b) Imagen SEM a X5.500, c) Imágenes SEM a X60.000 y d) Imágenes a X90.000.

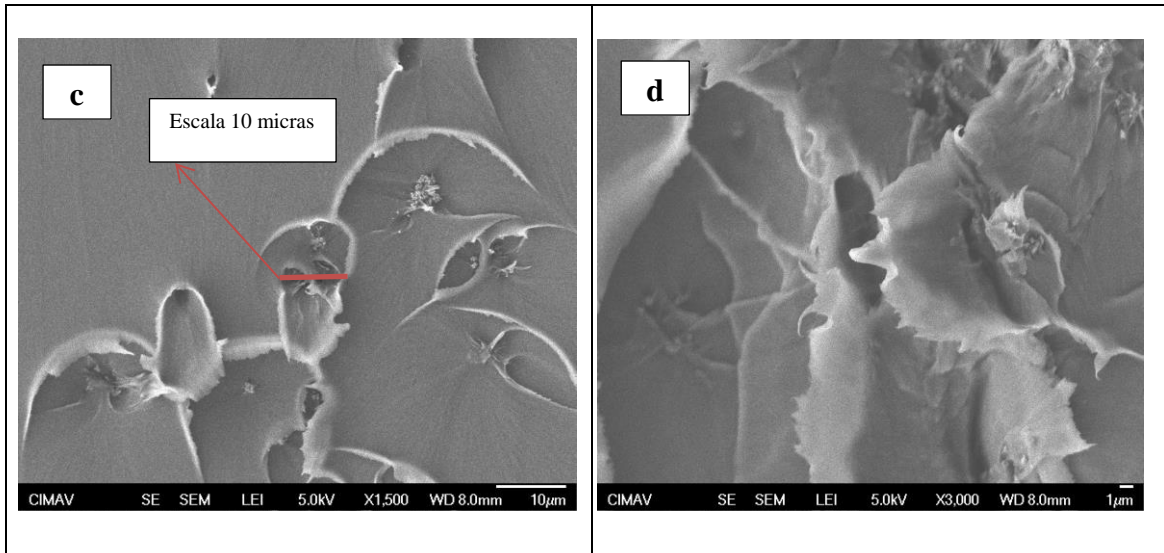
### 3.2. Caracterización morfológica de los materiales compuestos

En la tabla 4. Se evidencia una polimerización en forma de escamas; Estas tienden a levantarse hacia la superficie debido a la acción del solvente cuando se comienza a evaporar o por los espacios internos de aire del poliestireno expandido.

La forma que tome la estructura interna del material también dependerá del polímero que lo acompañe, haciendo que este tenga una reacción diferente. Las escamas tienen un tamaño alrededor de 10 micras.

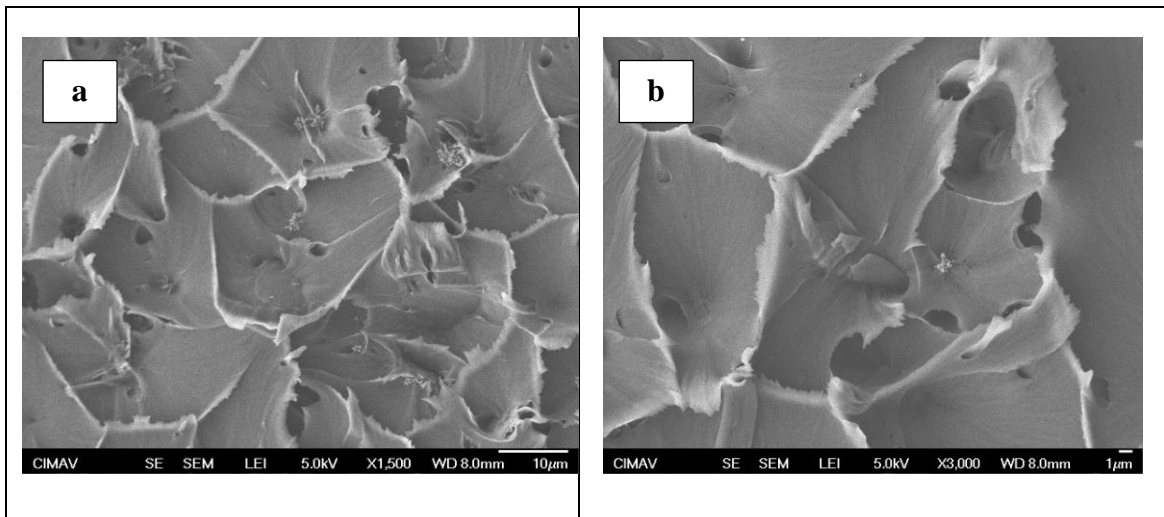


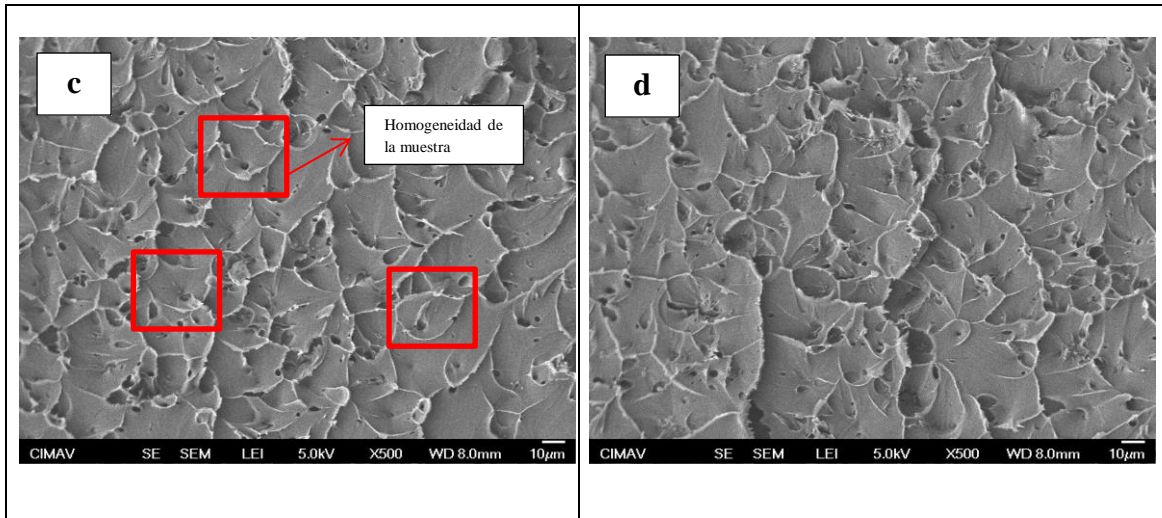




**Tabla 4. Estireno + Poliestireno expandido sin-carga. Elaborado por el autor. a) Imagen SEM a X500, b) Imagen SEM a X500, c) Imágenes SEM a X1.500 y d) Imágenes a X3.000.**

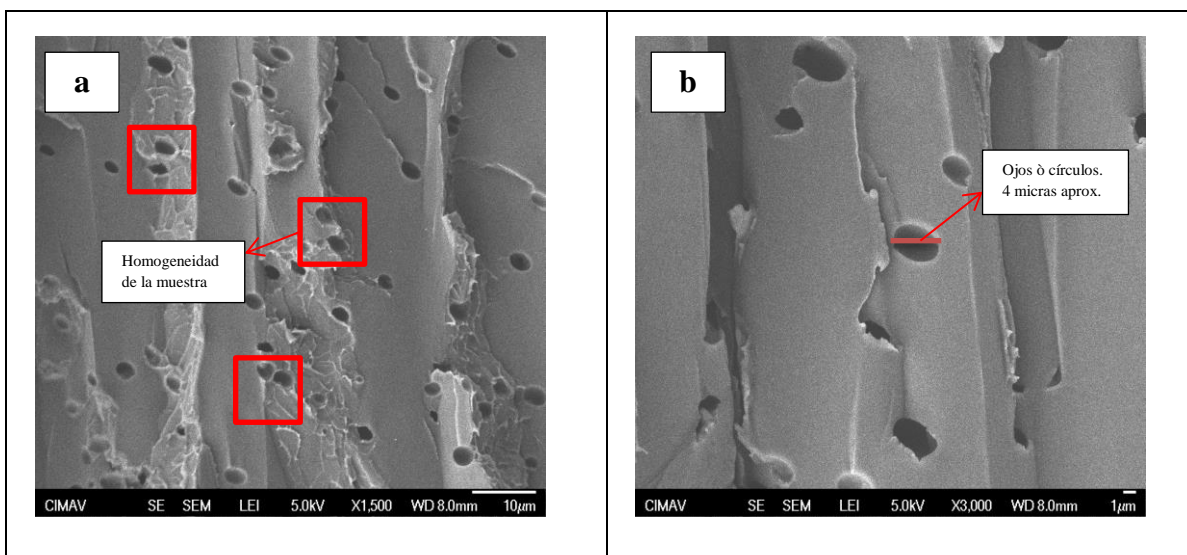
En la tabla 5. Se evidencia un caso similar con el poliestireno cristal sin nano-carga, igualmente se ven escamas que tienden hacia la superficie por acción del solvente, pero son un poco más homogéneas ya que aproximadamente cada  $1,2 \text{ cm}^2$  tiene la misma cantidad de partículas dispersas, que la del poliestireno expandido sin nano-carga y tienen un tamaño aproximado de 10 micras.





**Tabla 5. Estireno + Poliestireno cristal sin nano-carga. Elaborado por el autor. a) Imagen SEM a X1500, b) Imágen SEM a X3000, c) Imágenes SEM a X500 y d) Imágenes a X500.**

En la tabla 6, ya se evidencia la deposición presente en la muestra de las nanopartículas de  $TiO_2$  en el polímero, estas tienen una forma de ojos o círculos de aproximadamente 4 micras; En esta mezcla se puede observar que a diferencia con el poliestireno expandido, la acción del solvente no presenta en ella muchos cambios, y solo toma la forma de la superficie en la que está el polímero. Tiene una apariencia homogénea y las nanopartículas están uniformemente distribuidas.





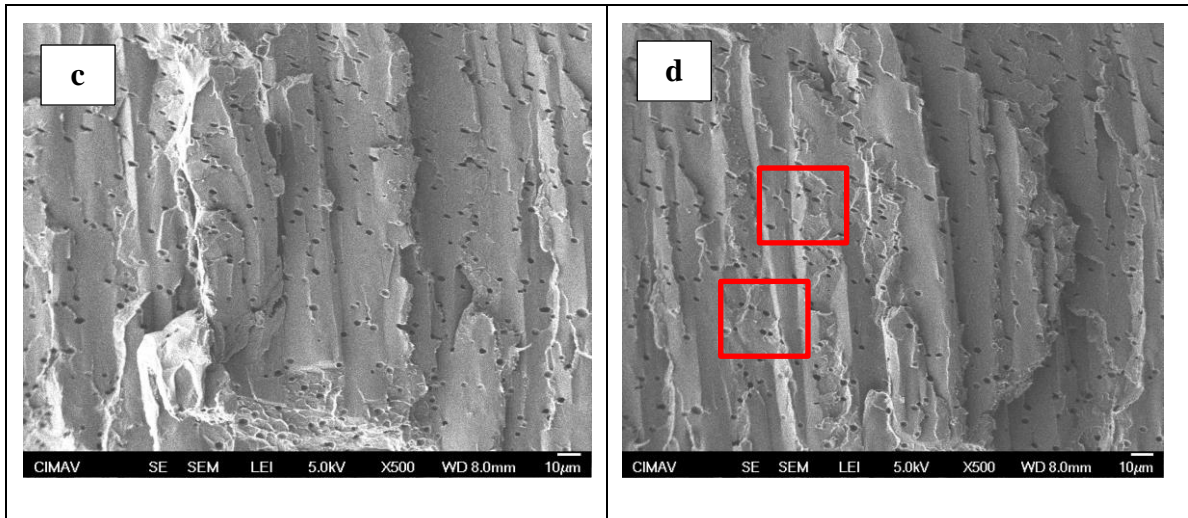


Tabla 6. Estireno + Poliestireno cristal (carga: 1,5%). Elaborado por el autor. a) Imagen SEM a X3.000, b) Imágen SEM a X1.500, c) Imágenes SEM a X500 y d) Imágenes a X500.

En la tabla 7. De igual manera se observa la dispersión de las nanopartículas de manera homogénea pero con un porcentaje de 2% de  $TiO_2$ , comienza una aparición de escamas.

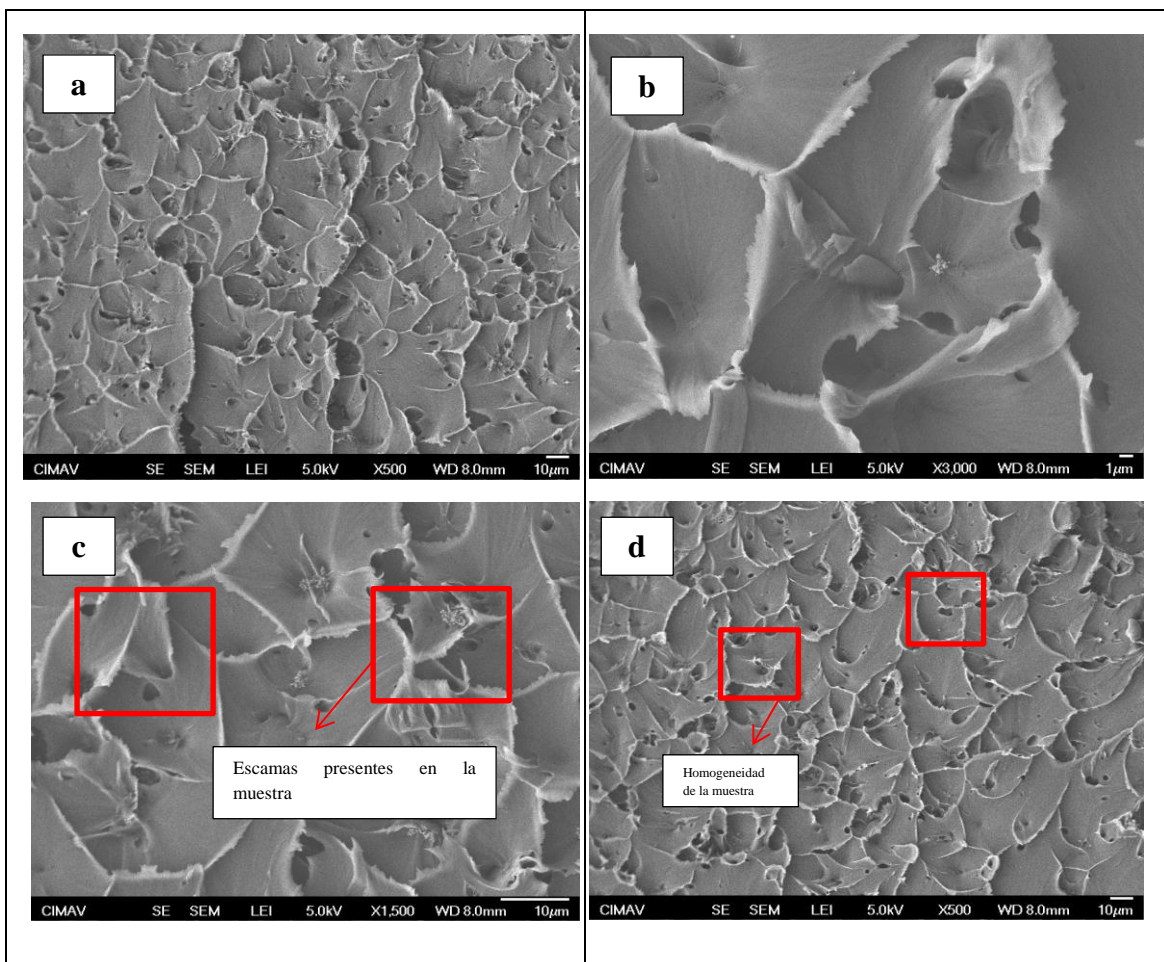
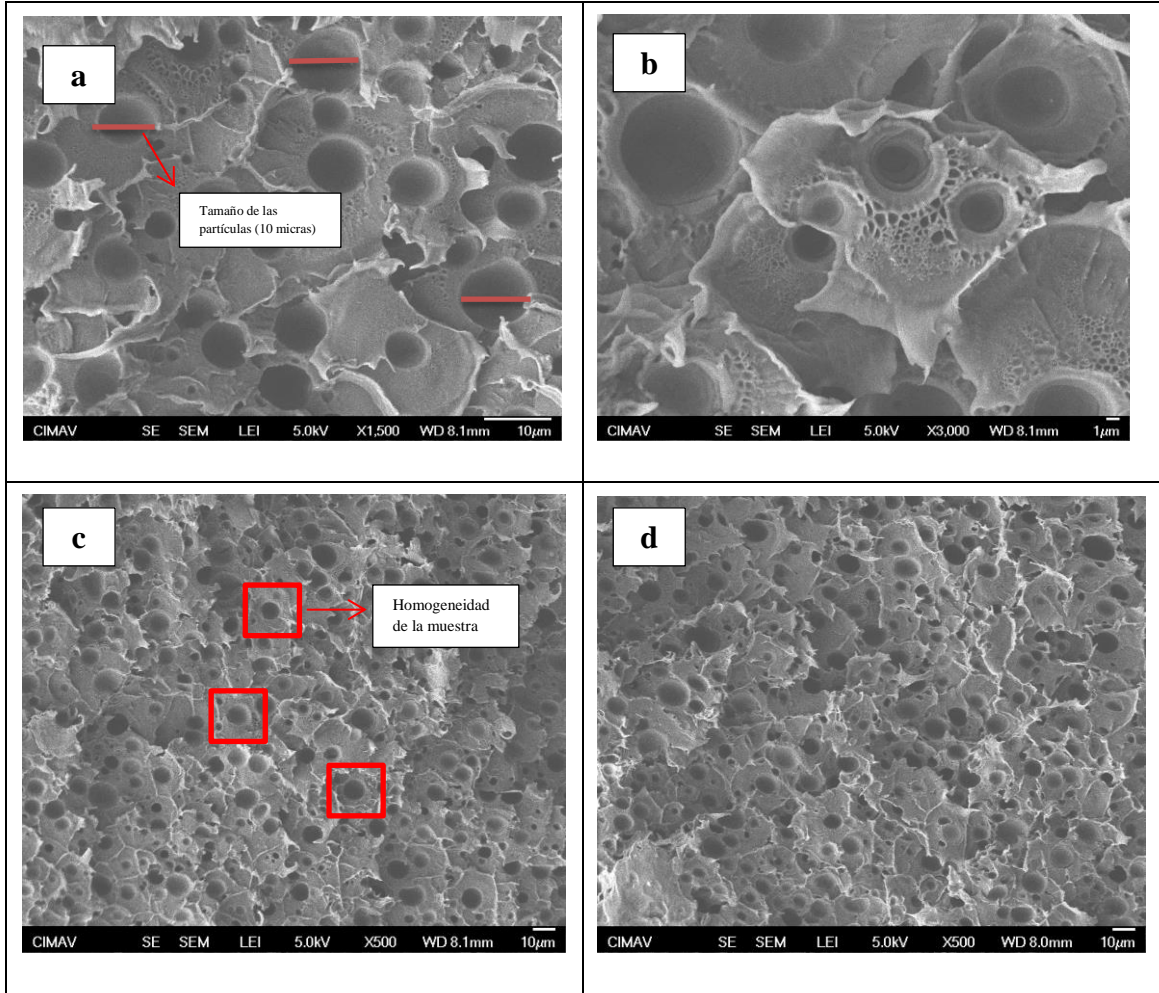


Tabla 7. Estireno + Poliestireno cristal (carga: 2%). Elaborado por el autor. a) Imagen SEM a X500, b) Imágen SEM a X3000, c) Imágenes SEM a X1.500 y d) Imágenes a X500.

En la tabla 8. Podemos ver nanopartículas de  $\text{TIO}_2$  inmersas en Poliestireno Expandido de un tamaño aproximado de 100 nanómetros; se pueden ver cambios en comparación con el poliestireno cristal de homogeneidad y dispersión de la muestra; de igual manera podemos ver las diferencias presentes cuando tenemos un polímero reciclado y uno no reciclado. El reciclado tiende a reaccionar más con el solvente en el momento que se está secando.



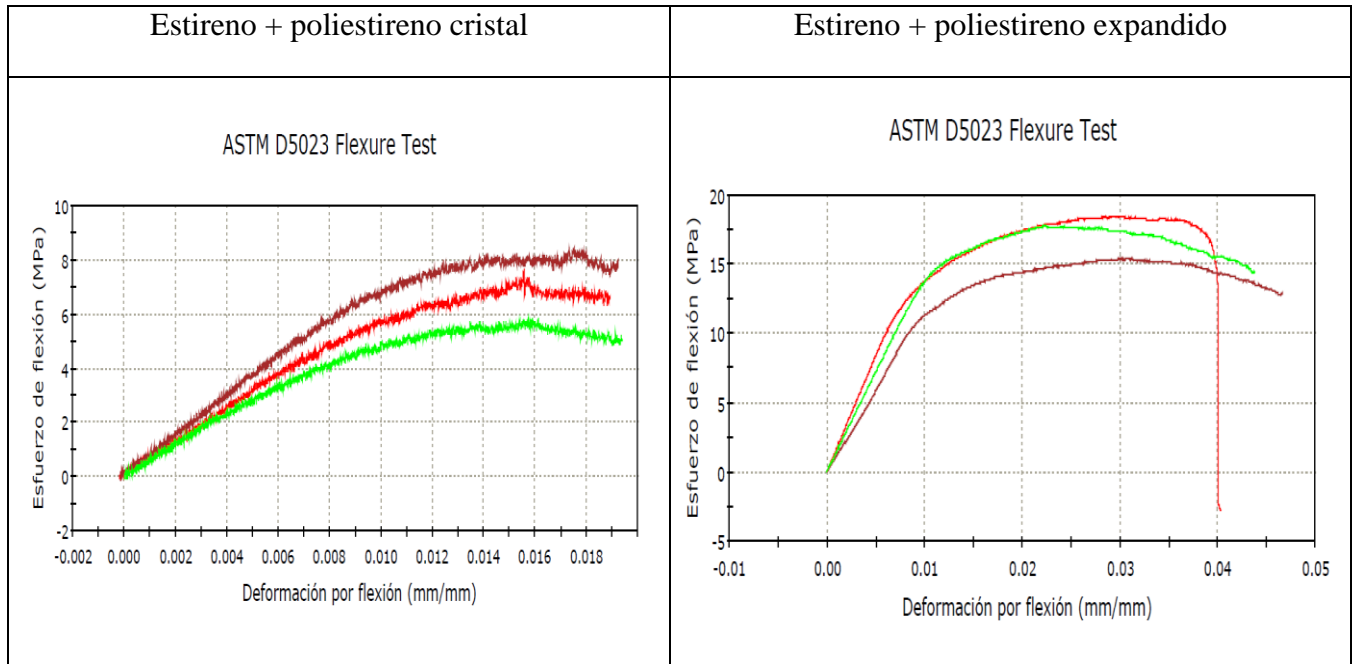
**Tabla 8. Estireno + Poliestireno expandido (carga: 1,5%). Elaborado por el autor. a) Imagen SEM a X1.500, b) Imagen SEM a X3.000, c) Imágenes SEM a X500 y d) Imágenes a X500.**

En las imágenes analizadas anteriormente, se evidencian los cambios internos que recibe el polímero al ser nanoreforzado, también se observó que el poliestireno cristal es más homogéneo y tiene mejor dispersión de las nanopartículas con un porcentaje de 1,5 % de carga.

A continuación se analizarán las probetas por medio de pruebas mecánicas de tracción y de flexión.

### 3.3. Caracterización mecánica de los materiales compuestos

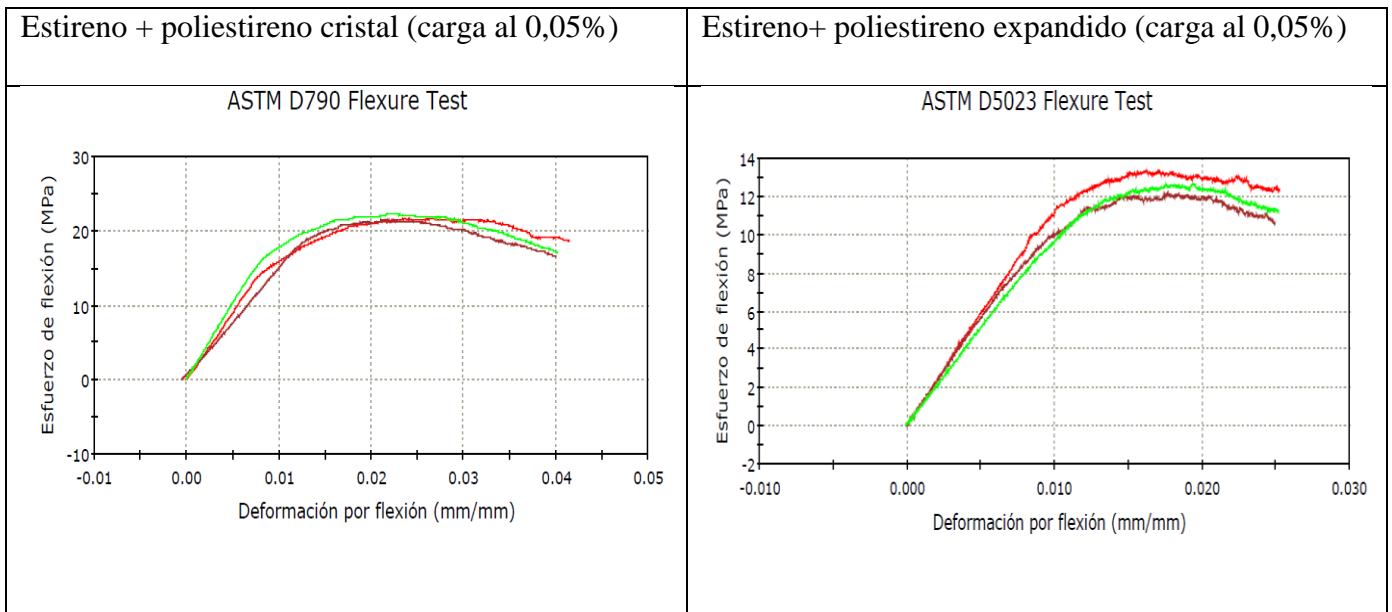
A continuación se presenta y analiza las gráficas de los resultados de las pruebas de flexión y tracción. Para las pruebas de flexión el orden de cada probeta está basado en los colores: el color rojo (1), marrón (2), y verde (3).



**Tabla 9. Flexión: Poliestireno cristal y poliestireno expandido sin nano-carga. Elaborado por el autor**

En la tabla 9 se aprecia la gráfica del poliestireno cristal y se muestra como este plástico presenta un esfuerzo máximo que oscila entre los 5 y 8 MPa, una deformación unitaria bastante constante de 0.019 mm/mm y un módulo elástico de 591,62 MPa. Por otro lado, se ve en la gráfica del poliestireno expandido como este plástico presenta un esfuerzo máximo superior al del cristal cuyos valores se encuentran ubicados entre 15 y 18 MPa. Se aprecia claramente como su deformación unitaria es menos homogénea que la del cristal, con valores entre 0.04 y .046 mm/mm, adicionalmente presenta un módulo elástico de 1444,27 MPa.

Por medio de los polímeros sin nano-carga podemos tener unos blancos comparativos y ver que mejoras o que cambios nos presenta el polímero una vez son nanocargados con  $\text{TiO}_2$ .



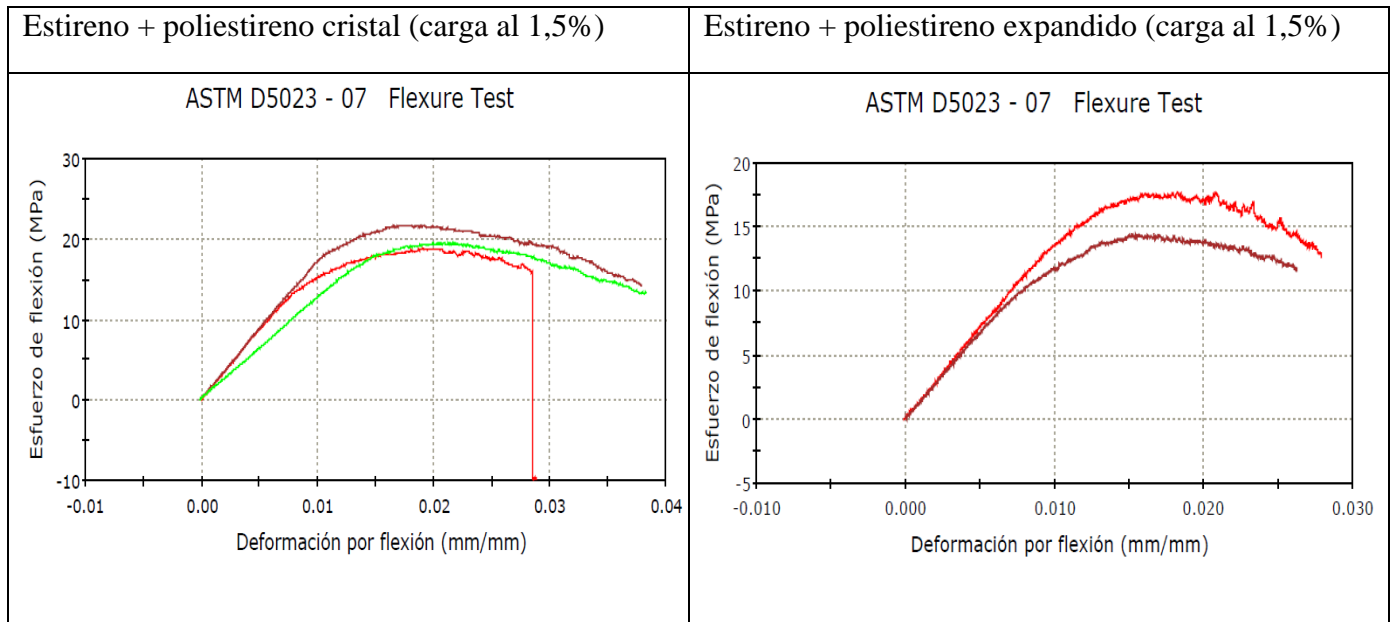
**Tabla 10. Flexión: Poliestireno cristal y poliestireno expandido (carga: 0,05%). Elaborado por el autor**

En la tabla 10. Se observa la homogeneidad en el comportamiento mecánico de las curvas tanto para el Poliestireno crista como el expandido, luego de ser cargados con las nanoparticulas ya que estas no toman una forma aleatoria sino más bien uniforme.

Para el caso del poliestireno cristal se ve como su resistencia mecánica a flexión pasa de un valor máximo de 8 MPa en el blanco comparativo, a unos 23 MPa con una carga de 0.05% de nanoparticulas de  $TiO_2$ , lo que representa un aumento en la resistencia máxima del material a flexión del 187 %. Valor que es bastante considerable ya que estamos hablando de un polímero. De forma particular se observa también como su deformación unitaria pasa de 0.019 mm/mm a 0.042 mm/mm, lo que representa un aumento en la ductilidad del material del 121%. Por último, se puede apreciar un aumento considerable del módulo elástico que pasa de 591,62 MPa a 1782,46 MPa, lo que representa un aumento del 201%.

En el caso del poliestireno expandido se ve como su resistencia mecánica a flexión pasa de un valor máximo de entre 15 y 18 MPa en el blanco comparativo a un valor promedio de 12 MPa. en el material nanocargado con titanio, lo que representa un decremento en la resistencia máxima del material a flexión promedio del 30%. Respecto a la deformación unitaria pasa de 0.04 y .046 mm/mm a 0.025 mm/mm, lo que representa un perdida de ductilidad del material promedio del 41%. Por último, se puede apreciar como su módulo elástico luego de la incorporación de la nanocarga permanece constante. El módulo elástico varía de 1444,27 MPa a 1106,60 MPa lo que representa una disminución del 23%

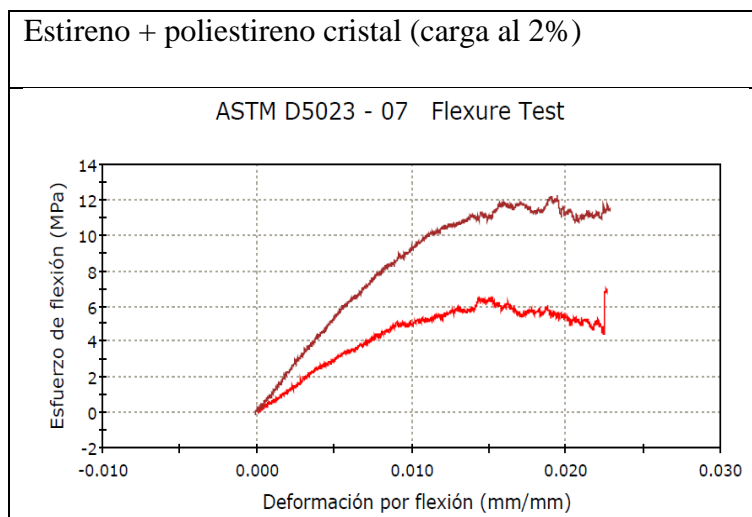




**Tabla 11. Flexión: Poliestireno cristal y poliestireno expandido (carga: 1,5%). Elaborado por el autor**

En la tabla 11. Se evidencian cambios similares a los resultados anteriores en el comportamiento del poliestireno cristal con una nano-carga de 1,5%; ya que este conserva las mismas propiedades mecánicas, su resistencia a flexión sigue siendo de aproximadamente 23 MPa y se tiene un valor del módulo elástico de 1602,20 MPa. Lo cual indica que desde este punto se tiene un aumento de 170% referente al blancos comparativos.

Con el poliestireno expandido también se presenta el mismo comportamiento, no hay cambios representativos y las propiedades siguen siendo las mismas. El modulo elástico si presenta un incremento de 1444,27 MPa a 3556,60 MPa, lo que significa un aumento del 146%.



**Tabla 12. Flexión: Poliestireno cristal (carga: 2%). Elaborado por el autor**

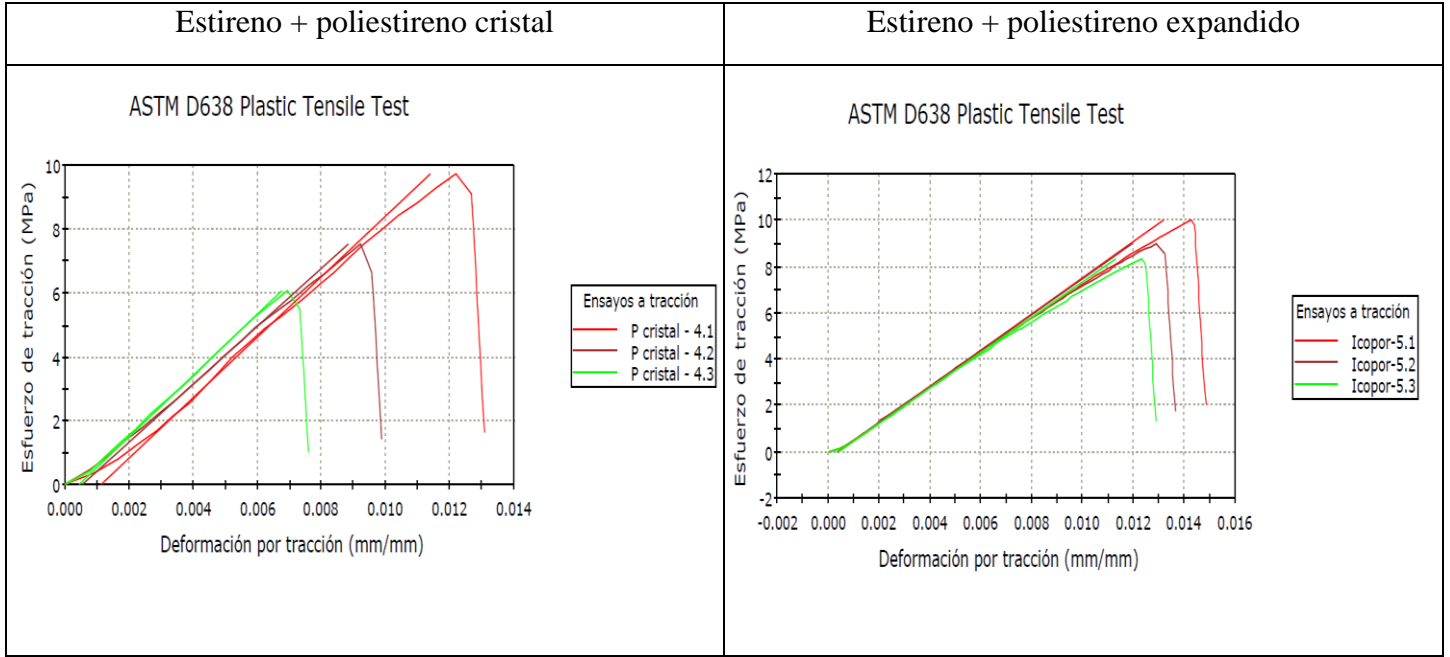
Finalmente en la tabla 12, al ver la tendencia casi lineal que toma el experimento del poliestireno expandido, se decide descartarlo y se procede a la adición de un 2% nanocarga de  $\text{TIO}_2$  al poliestireno cristal.

Los resultados arrojan una desmejora de las propiedades mecánicas. El módulo elástico pasa de 591.62 MPa a 849,39 MPa, lo que representa un 43%. Este tipo de comportamiento disperso y aleatorio se da porque entre más nanopartículas se tengan, es más complicada la dispersión de estas; aunque se presenta un aumento del módulo en comparación con el polímero sin nanoreforzar, se evidencia que existen mejores cambios con un porcentaje menor de nanocarga.

- Para las pruebas de tracción se manejó una velocidad de 50 mm/min. A continuación se presenta en la Figura 7. Los parámetros establecidos para la realización del experimento.

Ensayo de tracción	
Fecha de ensayo	21/06/2013
Temperatura	26,8
Humedad	46,2
Anchura	12,7 mm
Longitud final	57,15 mm
Anchura final	12,7 mm
Espesor	1,6256 mm

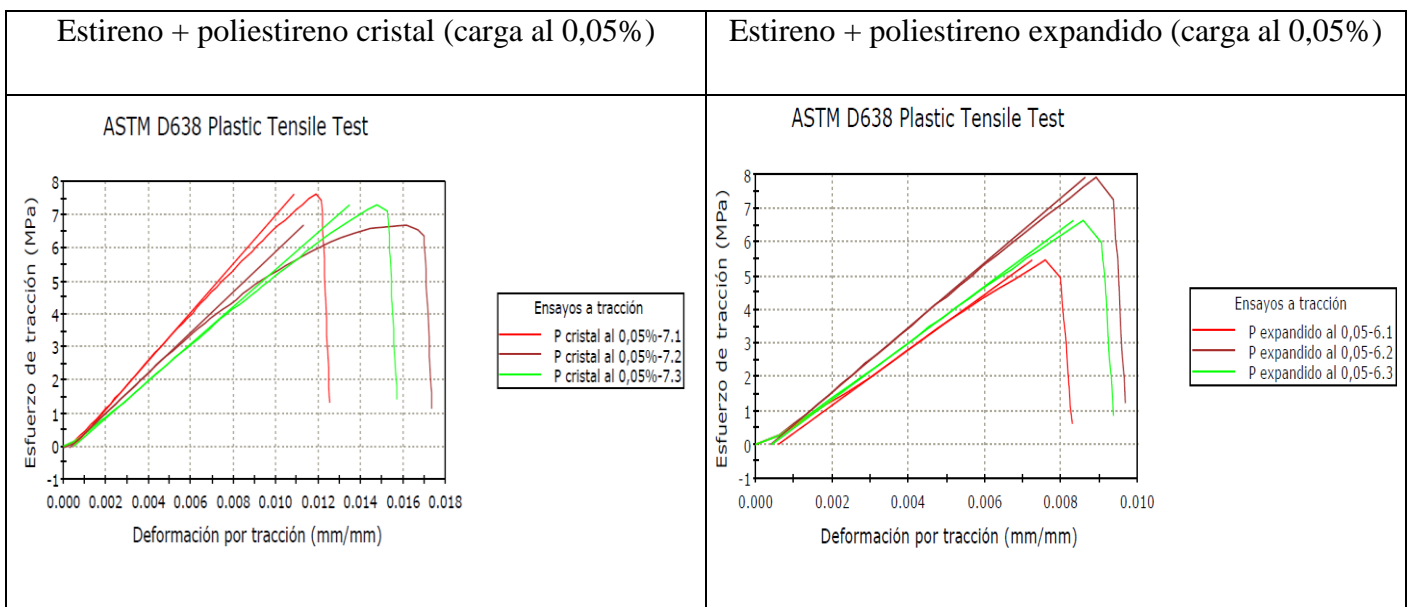
**Tabla 13. Especificaciones ensayo de tracción. Elaborado por el autor**



**Tabla 14. Tracción: Poliestireno cristal y poliestireno expandido sin nano-carga. Elaborado por el autor**

En la tabla 14, se aprecia en la gráfica del poliestireno cristal como este plástico presenta un esfuerzo máximo que oscila entre los 6 y 10 MPa, una deformación unitaria de aproximadamente 0,014 mm/mm. Por otro lado en la gráfica del poliestireno expandido presenta un esfuerzo máximo ligeramente superior al del cristal cuyos valores se encuentran ubicados entre 8 y 10 MPa

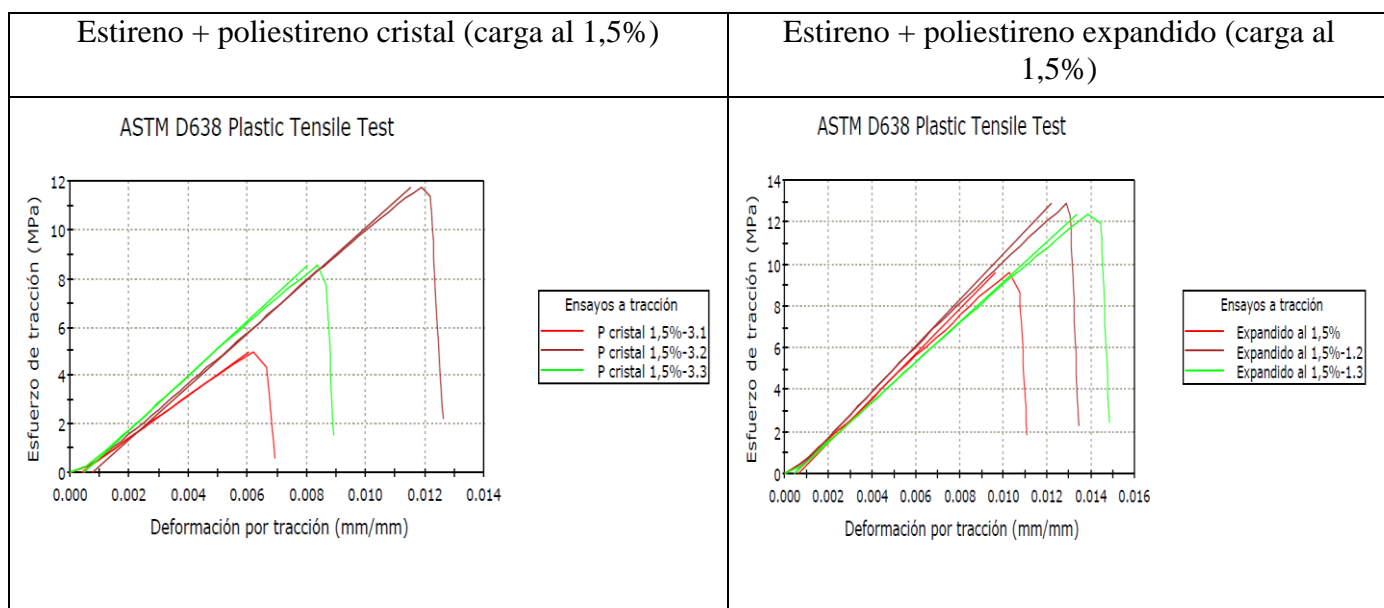
De igual manera debemos tener unos blancos comparativos que nos permiten evidenciar los cambios reflejados en los polímeros al ser nanoreforzados con  $\text{TIO}_2$



**Tabla 15. Tracción: Poliestireno cristal y poliestireno expandido (carga: 0,05%). Elaborado por el autor**

En la tabla 15. Los resultados de la gráfica para el poliestireno cristal presenta pocos cambios, ya que el esfuerzo máximo oscila entre los 7 y 8 MPa y tiene una deformación unitaria de aproximadamente 0,018 mm/mm.

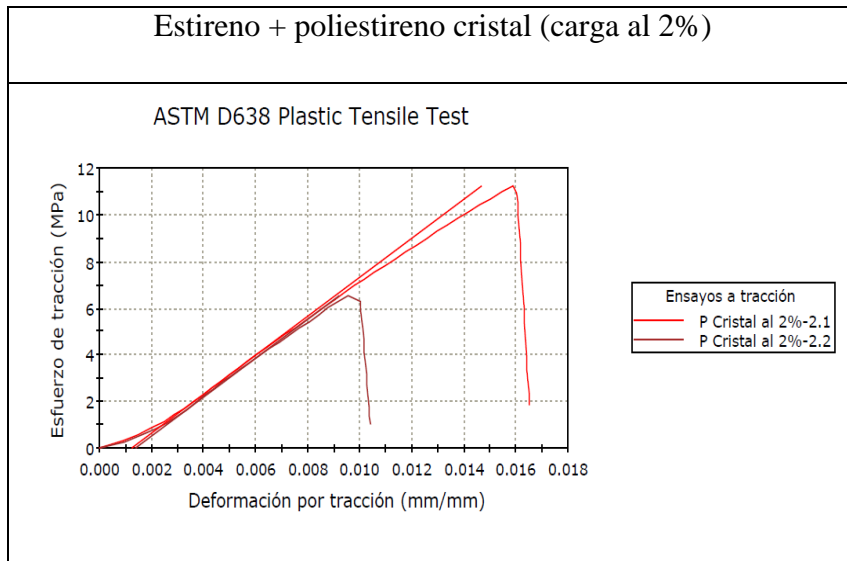
por el contrario para el poliestireno expandido las propiedades desmejoran en comparación con las gráficas sin nanocarga. Su esfuerzo máximo oscila entre 5 y 8 MPa en comparación con la gráfica sin nanocarga que permanecían entre 8 y 10 MPa; tiene una deformación unitaria de aproximadamente 0,010 mm/mm.



**Tabla 16. Tracción: Poliestireno cristal y poliestireno expandido (carga: 1,5%). Elaborado por el autor**

En la tabla 16; no se evidencian mayores cambios en las propiedades mecánicas para ambos casos. Las gráficas presentan un comportamiento aleatorio y disperso, por tal es difícil analizar cambios significativos.





**Tabla 17. Tracción: Poliestireno cristal (carga: 2%). Elaborado por el autor**

En la tabla 17. Con una nano-carga del 2% de  $\text{TIO}_2$  tampoco se evidencian cambios en comparación a las gráficas anteriores. De igual manera se presenta un comportamiento aleatorio y disperso.

#### **4. COMPROMISO ÉTICO:**

En el presente proyecto no se trabajaran con especies promisorias ni se hará uso de muestras biológicas. Sin embargo, los reactivos químicos serán usados de forma responsable de acuerdo con las especificaciones de manejo y serán neutralizados antes de exponerlos al ambiente.

#### **5. IMPACTO AMBIENTAL:**

Los polímeros utilizados en el presente trabajo pueden ser reciclados en su gran mayoría.

##### **5.1 Poliestireno expandido**

El poliestireno expandido es uno de los materiales menos amigables. Esto se debe a que la polimerización del estireno no es reversible.

Esto no quiere decir que el poliestireno expandido no pueda ser utilizado nuevamente, de hecho una de las posibilidades que existen es volver a utilizarlo en la producción de poliestireno expandido. Existen además otras posibilidades como por ejemplo en la construcción como componente del hormigón liviano, rellenos de terrenos, etc.

##### **5.2 Poliestireno**

El poliestireno es un plástico "termoplástico" así que su reciclaje se hace con rodillos a una temperatura específica que derriten (sin quemar) el plástico y lo compactan en determinadas formas sea la necesidad (bloques, láminas, cilindros extruidos o simplemente sale directo a una máquina de proceso cualquiera para crear un nuevo producto.

En la actualidad se están desarrollando nuevas técnicas de gran complejidad que permitirán el reciclado químico del poliestireno y de otros plásticos para la recuperación de sus componentes químicos naturales y así optimizar aún más los recursos naturales de los que disponemos.

## 6. CONCLUSIONES

- En el momento de la obtención de las nanopartículas vía sol-gel no fue necesario modificarlas ya que estas generaron inmersión dentro del polímero, solo con la agitación mecánica se distribuyeron de forma homogénea en la matriz.
- Morfológicamente se analizaron los polímeros obtenidos por medio de microscopía SEM y TEM, las rutas de síntesis por sol gel fue viable para sintetizar nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  de 100 nanómetros de diámetro, además se observa que el polímero generaba escamas de alrededor 10 micras.
- Los resultados obtenidos en la caracterización mecánica arrojan mejoras del poliestireno cristal duplicando la capacidad de carga; también se evidencian mejoras en las propiedades mecánicas aumentando el módulo elástico y mejorando la ductilidad del material. Estos resultados son ideales en el menor porcentaje de nanopartículas de  $\text{TiO}_2$ ; en nuestro caso el 0,05% es el ideal para obtener estas mejoras, ya que a menor nanocarga mejor será la dispersión de estas en el polímero, mientras que para el poliestireno expandido no se presentan mejoras, por el contrario se desmejoran sus propiedades, volviéndolo más rígido y menos homogéneo.
- Las posibles aplicaciones basados solo en los resultados del poliestireno cristal podría ser en envases y empaques plásticos, para fibras en la fabricación de prendas textiles y también pantallas contra impactos y paso regulado de la luz.

## 7. ANEXOS

### 7.1 Anexo 1. Ficha técnica poliestireno

---

#### Información Técnica

---

Marzo de 2001

---

BASF Chile S.A.

---

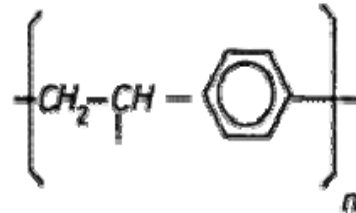
#### FICHA TÉCNICA POLÍMERO BASE

FT-2-0

#### POLIESTIRENO CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Formulación: Poliestireno PS

Clase: Termoplástico de adición



**Aspecto de la granza:** Filamentos, gránulos opacos, perlas transparentes, resina amorfa dura y transparente.

**Homopolímeros:** Poliestireno estándar. Poliestireno expandido

**Copolímeros y terpolímeros:** Estireno/butadieno (SB).  
Estireno/acrilonitrilo (SAN).  
Estireno/metacrilato metilo (SMM).  
Estireno/acrilonitrilo/butadieno (ABS).  
Estireno/butadieno/metacrilato de metilo (MBS).

---

## ADITIVOS

**Estabilizantes y antioxidantes:** No contiene (Sin embargo, con la degradación aumenta la fotosensibilidad).

**Plastificantes:** Bajo contenido en ftalato de butilo.

**Lubricantes:** Bajo contenido en estearato de zinc y magnesio.

**Cargas:** Caolín, negro de humo.

**Colorantes y pigmentos:** Óxidos de titanio, hierro, cromo y manganeso, sulfuro de cadmio, complejo nitrogenado de níquel, ftalocianinas.

**Aditivos antiestáticos:** Aminas, alcoholes, sales de amonio cuaternario.

**Agentes de expansión:** Iniciadores de desprendimiento de gases (pentadieno, hidrocarburos ligeros, nitrógeno) y vapor de agua.

## PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN Y SUS TEMPERATURAS

Proceso	Temperatura (°C)
Moldeo por inyección	250-300
Moldeo por compresión	180-200
Extrusión	170-190

## DATOS DE DEGRADACIÓN TÉRMICA

**Temperatura degradación:** 200 - 220°C (Funde antes de descomponerse).

**Características humos y vapores emitidos:** Humos y vapores incoloros. Nieblas ácidas.

**Productos degradación emitidos:**

**Principales:**

Dióxido de carbono  
Oligómeros (dímero, trímero, tetrámero)  
Estireno (monómero base)  
Etileno  
Acetileno

**Secundarios:**

Tolueno  
Etil benceno, Xilenos  
Benceno  
Hidrocarburos alifáticos ligeros  
Aldehídos (benzaldehído)  
Metanol  
Monóxido de carbono  
Amoníaco (aditivo)

**Características residuos degradación:** Porcentaje ponderal: 50

Aspecto y composición: Pasta  
resinosa  
viscosa y  
amarillenta.  
No contiene  
cenizas.

#### DATOS COMBUSTIÓN A CORTO TÉRMINO

**Parámetro LOI:** 16-18

**Temperatura ignición:** 290°C (aunque es producto fácilmente inflamable).

BASF Chile S.A.  
Departamento Palatal  
Carrascal 3851 - Santiago  
Fono: 56 2 6407411  
Fax: 56 2 6407415  
E-mail: palatal@basf-chile.cl

**BASF**

**Productos de combustión:** Dióxido de carbono, hidrocarburos alifáticos y aromáticos, monóxido de carbono, amoniaco (aditivo), óxidos de nitrógeno (aditivo)

#### TOXICIDAD PRODUCTOS EMITIDOS

Producto	Acción sobre el organismo
Dióxido de carbono y amoniaco	Asfixiantes
Hidrocarburos aromáticos (estireno, tolueno, etilbenceno, xilenos y benzaldehído)	Narcóticos Productos inestables de acción narcótica
Oligómeros	Narcóticos y anestésicos
Etileno, acetileno, metanol, hidrocarburos alifáticos ligeros	Muy tóxicos
Benceno y monóxido de carbono	

7.2 Anexo 2. Ficha técnica Poliestireno cristal

**POLIESTIRENO CRISTAL**  
Especificaciones Técnicas

IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO	
Nombre Comercial	<b>HH-103</b>
Nombre Químico	<b>Homopolímero de Estireno</b>
Peso Molecular	No Aplica
Familia Química	Estirénicos

COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES			
Componente (s)	% de Componentes	# CAS	Cancerígenos o Erato génicos
Homopolímero de Estireno	> 95 %	009003-55-8	No
Monómero de Estireno	< 0.15 %	100-42-5	No

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	
Temperatura de Fusión (°C)	220
Temperatura de Ebullición (°C)	No aplica
Presión Vapor (mmHg) a 20 °C	No aplica
Gravedad Especifica o Densidad	1.05
Densidad de Vapor (Aire = 1)	No aplica
Solubidad en Agua (g/ml)	Insoluble
Reactividad en Agua	No
Estado Físico	Sólido
Color	Transparente
Olor	Inoloro
Forma	Gránulos
Vel. De Evaporación (Butil Acetato =1)	No aplica
Punto de Inflamación (°C)	No aplica
Temperatura de Auto ignición (°C)	480
Votalidad (%)	No aplica
Limite de Inflamabilidad (%)	
inferior	1.1
superior	6.1

RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSIÓN					
Niebla de Agua	Espuma	Co2	Halon	Polvo Quimico Seco	Otra (Especificacion)
X				X	

DATOS DE REACTIVIDAD	
Estabilidad	
Estable	Inestable
X	

Condiciones a Evitar	Ninguna
Incompatibilidad	Ninguna
Descomposición de Componentes Peligrosos	Ninguna
Polimerización Peligrosa	
-Puede ocurrir	
-No puede ocurrir	X
Condiciones especiales de mantenimiento	Ninguna

RIESGOS PARA LA SALUD		
Vías de Entrada	Síntomas del Lesionado	Primeros Auxilios
Ingestión Accidental	No	
Contacto con los ojos	No	
Contacto con la piel	No	
Inhalación (humos del incendio)	Irritación de vías respiratorias mareos	Mover a un lugar ventilado

STPS INST. 1:			
Osha Yes	Not	Other Yes	Not Specify
	X		



#### INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAME

Los pellets derramados pueden provocar inseguridad en los pisos y generar resbalones o caídas, por lo que se recomienda que todo el material derramado se barra y levante. No entrar en contenedores a granel llenos de producto y evitar caminar encima del material ya que existe riesgo de resbalar y asfixiarse.

EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL	
Proteccion (Especificar)	Respirador purificador en caso de que el polimero produzca vapores o humos por calentamiento o que se produzca polvo de éste por molienda. En procesos de transformacion donde el polimero esta fundido el riesgo de quemaduras, requiere el uso de guantes y ropa protectora. En sistemas de transporte neumatico de los pellets, usar proteccion a ojos y/o cara (guantes, caretas, etc.)
Practicas de Higiene	Ninguna

#### INFORMACION SOBRE TRANSPORTACION

El polímero no es considerado material peligroso por lo cual es suficiente con la información del embarque y la sección de acciones en caso de derrame o fuego de esta hoja de seguridad (información derivada del u.s. departament of transportation / code of federal regulation, title 49).

#### INFORMACION ECOLOGICA

##### Movilidad / División

No se espera bioconcentración alguna debido a su alto peso molecular ( $M_w > 1000$ ). En el ambiente terrestre se espera que el material permanezca en la tierra. En el ambiente acuático el material se hundirá y permanecerá en el sedimento.

##### Degradación / Resistencia

Este polímero sólido insoluble en agua se espera quede inerte en el ambiente. Puede causarse algún tipo de degradación cuando se expone a la luz del sol. No se espera ninguna biodegradación importante.

#### Ecotoxicidad

No se espera que sea tóxico, pero los pellets pueden causar efectos mecánicos adversos si caen en el alcantarillado o son ingeridos por animales acuáticos.

#### PRECAUCIONES DE MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Siga las instrucciones de higiene industrial para manipular el material. No tragar el material. almacenar en lugares frescos, secos, ventilados diseñados para un manejo y almacenamiento adecuado. Almacenar lejos del calor chispas, llamas o cualquier fuente de ignición. Identifica claramente e iluminar la zona de almacenamiento, evitar obstrucciones.

Precauciones adicionales: No Aplica

---

#### CONSIDERACIONES PARA LA ELIMINACION

**Eliminación** No descargar en cualquier alcantarilla, sobre la tierra o cualquier curso de agua. Todos los métodos de deshecho deben hacerse conforme a las leyes y reglamentos federales, estatales y locales. Las regulaciones pueden variar en diferentes lugares. Las caracterizaciones de los desechos y el que cumplan con las leyes correspondientes son responsabilidad solamente del generador de desechos. Resirene SA de CV no tiene ningún control sobre el manejo o procesos de transformación de terceras personas que utilicen el material. La información aquí presentada corresponde solamente al producto embarcado en las condiciones indicadas en la sección 3 de este documento.

**MANEJO DE MATERIAL NO UTILIZADO / SIN CONTAMINAR** la mejor opción es enviarlo a un agente comercial de resinas, un reciclador de plásticos o incinerarlo observando las regulaciones correspondientes.

#### INFORMACION REGLAMENTARIA

**NOTA.** La información contenida en este documento se da de buena fe, en base a la información disponible y considerada fiable en el momento de elaboración del presente documento. Sin embargo no se ofrece ninguna garantía o seguridad sobre la información o productos aquí descritos. Los requisitos legales están sujetos a cambios y pueden diferir de un lugar a otro; es responsabilidad del comprador asegurarse que sus actividades cumplan con las leyes federales, estatales y locales.

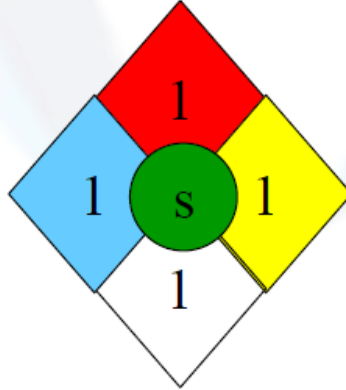
---

# POLIESTIRENO CRISTAL

Especificaciones Técnicas

## IDENTIFICACION

SALUD	1
FUEGO	1
REACTIVIDAD	1
EQ. PROTECCION PERSONAL	1



### 7.3 Anexo 3. Ficha técnica Poliestireno expandido

## FICHA TÉCNICA POLIESTIRENO EXPANDIDO **DENSIDAD 10 kg/m<sup>3</sup>**

El poliestireno expandido se define técnicamente como: "material plástico celular rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre-expandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presentan una estructura celular cerrada y rellena de aire".

Sus propiedades y características técnicas permiten que sea destinado a una gran cantidad de aplicaciones.

### Especificaciones

Dimensiones	Amplia gama en dimensiones, que puede ir en una sola pieza desde 0.0127X0.2X0.2 m hasta 0.63X1.23X6.00 m
Tolerancia	+/- 1mm
Densidad Nominal	10 Kg/m <sup>3</sup>
Densidad aparente	10.11 kg/m <sup>3</sup>
Conductividad Térmica	0.04287 W/mK
Resistencia Térmica	Para 0.024199 m = 0.5925 m <sup>2</sup> K/W
Permeabilidad al vapor	0.0027ng/Pa s m
Adsorción de humedad	0.0007 % volumen
Usos	Industria de la construcción, envases, embalaje, aislamiento térmico y acústico.
Características	Resistente, liviano, aislante térmico y acústico, de fácil manejo, retardante a la flama, estabilidad dimensional.
Cuidados	Almacenar bajo techo.

## 8. REFERENCIAS

- riie. (5 de 3 de 2012). Obtenido de [www.riie.com.mx/?a=48640](http://www.riie.com.mx/?a=48640)
- WIKIPEDIA. (2012). Recuperado el 20 de Febrero de 2012, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Ateroesclerosis>
- A, L., J, C., & C, C. (1999). "*Fisico Química Metalurgica*". guadalajara: Edicoes Engenharia.
- askeland. (1998). *ciencia e ingenieria de los materiales*. mexico: internacional thomson editores.
- Auad, M. L., Mosiewicki, M. A., Richardson, T., Aranguren, M. I., & Marcovich, N. E. (2009.). Tailored Shape Memory Polyurethane Reinforced with Microcrystalline Cellulose Nanofibers. *Accepted for publication in Journal of Applied Polymer Science*.
- C. J. Brinker, G. W. (1990). "*Sol-Gel Science*". boston, USA: Scherer Academic Press.
- cartuja, C. d. (25 de 11 de 2010). *ciccartuja*. Recuperado el 22 de Febrero de 2012, de [http://www.ciccartuja.es/fileadmin/CARTUJA/cicCartuja/Sala\\_de\\_Prensa/Entrevistas/Entrevista\\_OlallaSanchez.pdf](http://www.ciccartuja.es/fileadmin/CARTUJA/cicCartuja/Sala_de_Prensa/Entrevistas/Entrevista_OlallaSanchez.pdf)
- cruz, j. (2012). *seleccion de materiales*. medellin, Antioquia.
- el polvorin. (24 de 1 de 2011). Obtenido de C:\Users\Administrador\Desktop\tesis\El Dióxido de Titanio ataca nuestro ADN todos los días y nadie hace nada al respecto - El polvorín.mht
- etcgroup. (9 de 3 de 2012). Obtenido de [http://www.etcgroup.org/upload/publication/82/02/invasin\\_campo.pdf](http://www.etcgroup.org/upload/publication/82/02/invasin_campo.pdf)
- Hench, L., & West, J. (1990). "El proceso sol-gel". *Chemical Reviews* 90.
- hoyos, l. (2009). *EFFECTO DE LOS CATALIZADORES HIERRO, COBALTO, NIQUEL, MOLIBDENO Y MEZCLAS SOPORTADAS SOBRE SÍLICE SOL GEL, PARA LA SÍNTESIS DE NANOTUBOS DE CARBONO MEDIANTE DEPOSICION QUIMICA DE VAPOR*. medellin.
- Kittisak Koombua, R. P. (2007). A drug delivery system based on polymer nanotubes.
- Klein, L. (1994). Sol-Gel Óptica: Procesamiento y aplicaciones. *Springer Verlag*.
- Martelo, C., & Vink, D. (2008). "Redes sociotécnicas de co-gestion de conocimiento en nanotecnología en Colombia . 1-25.

- Ochoa, Y., Ortigón, Y., & Rodríguez Páez, J. E. (20 de 3 de 2010). Síntesis de TiO<sub>2</sub>, fase anatasa, por el método solgel. *ingenieria universidad de Antioquia*, 29-40.
- Promep. (2 de 3 de 2010). Recuperado el 2012, de promep: <http://promep.sep.gob.mx/archivospdf/proyectos/Proyecto146612.PDF>
- Rodriguez, W., Bejarano, h., & Villazon, H. (s.f.). *UMNG*. Obtenido de <http://www.umng.edu.co/www/resources/8n1art4.pdf>
- Serena, P. A., & Correa, A. (2009). "Nanotecnología: el motor de la proxima revolucion tecnologica". 11.
- UCLA. (5 de 3 de 2012). Obtenido de C:\Users\Administrador\Desktop\tesis\UCLA's Jonsson Comprehensive Cancer Center In the News Nanoparticles Found in Common Household Items Caused Genetic Damage in Mice.mht
- universidad distrital. (14 de 03 de 2012). Obtenido de [http://ingenieria1.udistrital.edu.co/moodle/file.php?file=%2F301%2FCohorte\\_13%2FNanotecnologia\\_en\\_Colombia\\_retos\\_y\\_oportunidades.pdf](http://ingenieria1.udistrital.edu.co/moodle/file.php?file=%2F301%2FCohorte_13%2FNanotecnologia_en_Colombia_retos_y_oportunidades.pdf)
- Zuluaga, D., Campos, S., Tovar, M., Rodriguez, R., Sánchez, J., Aguilera, A., . . . Medina, J. (2007). Informe de Vigilancia Tecnológica. *colciencias*, 194.