

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACION

MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA QUIMICA



"POR MI PATRIA Y POR MI BIEN"

TESIS

EFEECTO DE PARTÍCULAS DE SARGAZO SOBRE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS Y MECÁNICAS DEL COMPUESTO SBS/HIPS

Que para obtener el Título de
Maestra en Ciencias en Ingeniería Química

Presenta
Ing. Esther Abigail Contreras Martínez
No. Control. G15071680
CVU. 1239375

Asesor
Dra. Beatriz Adriana Salazar Cruz
CVU. 269015

Cd. Madero, Tamaulipas

Noviembre 2025



Instituto Tecnológico de Ciudad Madero
Subdirección Académica
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Ciudad Madero, Tamaulipas, **18/Septiembre/2025**

Oficio No. U1.179/2025

ASUNTO: Autorización de Impresión

C. ESTHER ABIGAIL CONTRERAS MARTÍNEZ
No. DE CONTROL G15071680
P R E S E N T E

Me es grato comunicarle que después de la revisión realizada por el Jurado designado para su Examen de Grado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Química, el cual está integrado por los siguientes catedráticos:

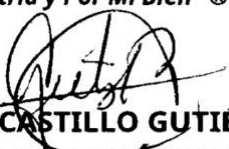
PRESIDENTE :	DRA. BEATRIZ ADRIANA SALAZAR CRUZ
SECRETARIO:	DR. JOSÉ LUIS RIVERA ARMENTA
VOCAL :	DRA. ANA BEATRIZ MORALES CEPEDA
SUPLENTE:	DRA. NANCY PATRICIA DÍAZ ZAVALA

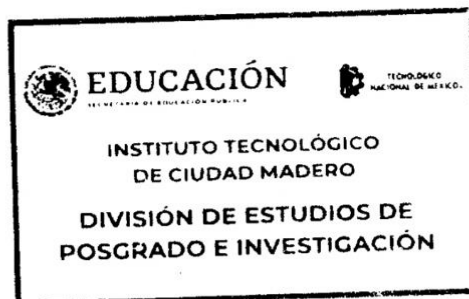
Se acordó autorizar la impresión de su tesis titulada:

**"EFECTO DE PARTÍCULAS DE SARGAZO SOBRE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS
Y MECÁNICAS DEL COMPUESTO SBS/HIPS "**

Es muy satisfactorio para esta División compartir con Usted el logro de esta meta. Espero que continúe con éxito su desarrollo profesional y dedique su experiencia e inteligencia en beneficio de México.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica.
"Por Mi Patria y Por Mi Bien" ®


RAFAEL CASTILLO GUTIÉRREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



ccp. Archivo

RCG/DW/aa



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. 1° de Mayo y Sor Juana I. de la Cruz S/N Col. Los Mangos
C.P. 89440 Cd. Madero, Tam. Tel. (833) 3574820 ext. 3110
e-mail: depi_cdmadero@tecnm.mx www.tecnm.mx
www.cdmadero.tecnm.mx



AGRADECIMIENTOS

En honor al Espíritu Santo, la persona que me escuchó habló, guió e intercedió por mí de cerca en cada paso de este nuevo escalón de mi vida.

Agradezco al Instituto Tecnológico de Ciudad Madero por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de avanzar en mi carrera profesional.

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a mi directora de tesis, la Dra. Betty Salazar. Su experiencia, guía constante y persistencia sobre mí contribuyeron a mi experiencia en el complejo camino de la investigación y me han forzado a alcanzar metas que nunca imaginé. A la División de Estudios de Posgrado e Investigación MCIQ del Centro de Investigación en petroquímica ITCM por su constante apoyo y disposición. Expreso mi agradecimiento a los profesores: Dr. Armenta, Dra. Ana, Dra. Nancy, a mi tutor Dr. Alamilla y a la M.C. Yolanda; que contribuyeron con el desarrollo de mi investigación, compartieron su conocimiento y dedicaron su tiempo a revisar mi trabajo.

A las instituciones que colaboraron para que este proyecto se hiciera realidad. Al CONAHCYT por el apoyo financiero (No. 1239375 CVU y No. 828464 beca) y al TecNM por el apoyo financiero con el proyecto numero 14349.22-P para la elaboración de mi investigación. Al CICATA, especialmente a la Dra. Ana Cecilia por su apoyo y colaboración oportuna entre nuestras instituciones. Y finalmente, a Dynasol Elastómeros por su confianza de colaboración al proveer los materiales para experimentación.

Gracias infinitas a mis padres. Su fe en mí, impulso y oraciones han sido el pilar de este logro. Un inmenso agradecimiento a Emi, el amor de mi vida quien fue mi motor durante cada día de estos años. Al Ing. Alejandro por ser también mi mejor amigo y acompañarme literalmente lado a lado en este gran paso. A mi Copita y Doña Gertrudis, por acompañarme incondicionalmente durante esas largas noches de desvelo. A Monny, Vivi, Betty y Timo mis amigos y compañeros que compartieron conmigo los momentos de estrés y alegría durante este largo y retador camino. Y a todos aquellos que encontré en el camino y me brindaron una mano amiga. A todos, comparto este gran logro con cada uno, gracias por ser parte de este viaj

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	II
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 – MARCO TEORICO.....	2
1.1 Antecedentes	3
1.2 Materiales compuestos	5
1.3 Elastómeros.....	6
1.3.1 Composición y propiedades de los elastómeros.....	7
1.3.2 Clasificación.....	9
1.4 Estireno Butadieno Estireno (SBS)	11
1.4.1 Estructura química y síntesis.....	11
1.4.2 Propiedades	14
1.5 Poliestireno de alto impacto (HIPS).....	14
1.5.1 Estructura química y síntesis.....	14
1.5.2 Propiedades	16
1.6 Refuerzos en materiales compuestos.....	18
1.6.1 Refuerzos discontinuos	18
1.6.2 Refuerzos continuos.....	19
1.7 Sargazo.....	21
CAPÍTULO 2 – DESARROLLO DE EXPERIMENTACION.....	25

2.1	Materiales.....	26
2.2	Metodología.....	27
2.2.1	Preparación de las partículas de sargazo (SgP).....	29
2.3	Técnicas de caracterización para los compuestos SBS/HIPS-SgP	33
2.3.1	Espectroscopía Infrarroja de Transformada de Fourier (FTIR)	33
2.3.2	Microscopia óptica	34
2.3.3	Pruebas Mecánicas	34
2.3.4	Análisis termogravimétrico	35
2.3.5	Análisis Dinámico Mecánico	36
2.3.6	Índice de Fluidéz	37
2.3.7	Dispersión de Luz Dinámica	38
CAPÍTULO 3 – DISCUSION DE RESULTADOS		39
3.1	Espectroscopia Infrarrojo con Transformada de Fourier	40
3.2	Microscopia Óptica	47
3.3	Pruebas Mecánicas	49
3.4	Análisis Termogravimétrico	53
3.5	Análisis Dinámico Mecánico.....	57
3.6	Prueba de Índice de Fluidéz.....	64
3.7	Dispersión de Luz Dinámica.....	67
CAPÍTULO 4 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		69
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		72
ANEXOS.....		79

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. Conformación de un compuesto polimérico	5
Figura 1.2 Moléculas de polímeros de caucho cuando son estiradas	7
Figura 1.3 Red principal de SBS tribloque	12
Figura 1.4 Polimerización de estireno	13
Figura 1.5 Copolímero SBS	13
Figura 1.6 Copolímero de injerto o ramificado	15
Figura 1.7 Dispersión de butadieno en poliestireno	16
Figura 1.8 Materiales compuestos discontinuos	19
Figura 1.9 Especies de sargazo pelágico	22
Figura 2.1 Esquema general de la experimentación	27
Figura 2.2 Preparación de sargazo	28
Figura 2.3 Preparación de las partículas de sargazo (SgP)	29
Figura 2.4 Proceso para obtener compuestos SBS/HIPS-SgP	32
Figura 2.5 Espectrofotómetro de infrarrojo con Transformada de Fourier Perkin Elmer, modelo Spetgra 100	33
Figura 2.6 Probetas suajadas con referencia a la norma ASTM D412-68	35
Figura 2.7 Probetas usadas en DMA	36
Figura 2.8 Plastómetro de extrusión	37

Figura 2.9 Instrumento DLS	38
Figura 3.1 Comparación de los espectros infrarrojo SBS, HIPS y SgP	40
Figura 3.2 Espectros FTIR de las referencias SBS/HIPS en P1 y P2 a 5 PHR y 15 PHR	44
Figura 3.3 FTIR de compuestos SBS/HIPS-SgP de bajo contenido de vinilos	45
Figura 3.4 FTIR de compuestos SBS/HIPS-SgP de alto contenido de vinilos	46
Figura 3.5 Diagrama esfuerzo vs deformación	50
Figura 3.6 Resultado de pruebas mecánicas sobre Modulo de Young	51
Figura 3.7 Curvas de masa TG vs. Temperatura	54
Figura 3.8 Curvas de masa TG vs. Temperatura	55
Figura 3.9 Curvas de derivada de masa DTG vs. Temperatura	56
Figura 3.10 Curvas de módulo de almacenamiento para los compuestos de bajo contenido de vinilos	58
Figura 3.11 Curvas de módulo de almacenamiento para los compuestos de alto contenido de vinilos	60
Figura 3.12 Curvas de $\tan \delta$ de los compuestos de HIPS/SBS de bajo contenido de vinilos reforzados con SgP	61
Figura 3.13 Curvas de $\tan \delta$ de los compuestos de HIPS/SBS de alto contenido de vinilos reforzados con SgP	63
Figura 3.14 Analisis de indice de fluidez	65
Figura 3.15 Analisis de indice de fluidez	66
Figura 3.16 Distribución del tamaño de SP por intensidad	67

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1 Beneficios de los materiales compuestos	6
Tabla 1.2 Propiedades típicas del caucho crudo, vulcanizado y reforzado	8
Tabla 1.3 Propiedades mecánicas del HIPS	17
Tabla 1.4 Conformación química del sargazo	23
Tabla 2.1 Características de las matrices SBS	26
Tabla 2.2 Propiedades del HIPS	26
Tabla 2.3 Matriz experimental de compuestos HIPS-SgP	29
Tabla 2.4. Matriz experimental de compuestos SBS/HIPS-SgP	30
Tabla 2.5 Condiciones de termocompresión	31
Tabla 3.1 Microscopia óptica de los compuestos SBS/HIPS-SgP a 5 PHR	48
Tabla 3.2 Microscopia óptica de los compuestos SBS/HIPS-SgP a 15 PHR	49
Tabla 3.3 Resultados de análisis ANOVA realizado en compuestos SBS/HIPS-SgP	53
Tabla 3.4 Resultados del índice de fluidez	64

RESUMEN

Este proyecto de investigación comprende el estudio del efecto de la adición de las SgP (partículas de sargazo, por sus siglas en inglés) en las propiedades mecánicas y reológicas para el compuesto SBS (Estireno-Butadieno-Estireno, por sus siglas en inglés) con diferente contenido de vinilos adicionado con HIPS (Poliestireno de alto impacto, por sus siglas en inglés). Siendo el sargazo, alga de gran interés al representar un inconveniente debido a las grandes cantidades que arriban a playas del Caribe Mexicano. Además, el sargazo es atractivo por el contenido en su composición elemental donde principalmente se encuentran componentes de azufre y polisacáridos, entre otros, que pueden mejorar la sinergia de la constitución intrínseca de los constituyentes del compuesto.

El sargazo es un alga que manifiesta su afluencia en la costa del sur de Tamaulipas en la playa Miramar de Ciudad Madero y otros lugares en periodos cíclicos, el cual, para poder utilizarlo en los compósitos, se sometió a un proceso de lavado, secado, molido y tamizado de la especie para la obtención de un tamaño de partícula específico.

Para el proceso de obtención de los compósitos se estableció primeramente la manipulación del HIPS con las SgP por método de extrusión; una vez obtenido, se adicionó al SBS en un plastógrafo con cámara de mezclado; posteriormente se desarrollaron evaluaciones sobre sus propiedades reológicas tales como elasticidad, viscosidad, viscoelasticidad; y propiedades mecánicas como esfuerzo a la tensión, módulo de Young, resistencia; siendo ambas propiedades importantes para mejorar el efecto de la sinergia de las partículas de sargazo con el compuesto

Se evaluó también el comportamiento sobre los resultados obtenidos del efecto de SgP en el compuesto mediante caracterizaciones en técnicas como Análisis Termogravimétrico (TGA), Espectroscopía Infrarroja de Transformada de Fourier (FTIR), Dispersión de Luz Dinámica (DLS) y pruebas ópticas, las cuales complementaron la investigación en la visualización de dispersión, tamaño y distribución de partículas, así como la determinación de la estabilidad térmica del material e identificación de moléculas representativas en los compuestos.

Asimismo, las propiedades reológicas se reflejarán mediante las técnicas de caracterización Índice de Fluididad (MFI) y Análisis Dinámico Mecánico (DMA), mientras que las propiedades mecánicas se aprecian en las pruebas tensiles.

En conclusión, se obtuvieron propiedades superiores a las originales, que potencializaron el comportamiento del material, como en el módulo de Young las formulaciones P1-F1-5 y P1-F3-15 mostraron una mejora del 50% con respecto a su referencia, lo que indica una mayor rigidez en estos compuestos; la resistencia mecánica mejoró en un 20% en P1 a 5 PHR y un 30% en P2 a 15 PHR, mostrando que el contenido de vinilos influye en la resistencia estructural del compuesto; la transición vítrea (T_g) aumentó en 5% en las formulaciones con mayor contenido de vinilos lo que significa que pueden operar en un rango más amplio de temperatura antes de volverse gomosos; y la estabilidad térmica mejoró en 2%, lo que sugiere que la incorporación de SgP tuvo un leve impacto positivo en la descomposición térmica del material.

ABSTRACT

This research project includes the study of the effect of the addition of SgP (sargassum particles) on the mechanical and rheological properties for the SBS (Styrene-Butadiene-Styrene) compound with different vinyl content added with HIPS (High Impact Polystyrene). Sargassum is a seaweed of great interest as it represents an impediment due to the large quantities that arrive on beaches in the Mexican Caribbean. Furthermore, sargassum is attractive due to the content in its elemental composition where mainly sulfur and polysaccharides components are found, among others, which can improve the synergy of the intrinsic constitution of the constituents of the compound.

Sargassum is a seaweed that manifests its influx on the southern coast of Tamaulipas on Miramar beach in Ciudad Madero and other places in cyclical periods, which, in order to be used in composites, was subjected to a process of washing, drying, grinding and sieving of the species to obtain a specific particle size.

For the process of obtaining the compounds, the manipulation of HIPS with SgP was first developed by extrusion method; once obtained, it was added to the SBS in a plastograph with a mixing chamber; later, evaluations were developed on its rheological properties such as elasticity, viscosity, viscoelasticity; and mechanical properties such as tensile strength, Young's modulus, resistance; due to the importance of both properties.

The behavior of the results obtained from the effect of SgP on the compound was also evaluated through characterizations in techniques such as Thermogravimetric Analysis (TGA), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Dynamic Light Scattering (DLS) and optical tests, which complemented the research in the visualization of dispersion, size and distribution of particles, as well as the determination of the thermal stability of the material and identification of representative molecules in the compounds. Likewise, the rheological properties will be reflected by the Melt Flow Index (MFI) and Dynamic Mechanical Analysis (DMA) characterization techniques, while the mechanical properties will be appreciated in the tensile tests.

In conclusion, superior properties to the original ones were obtained, which enhanced the behavior of the material, such as in the Young's modulus, the formulations P1-F1-5 and P1-

F3-15 showed a 50% improvement with respect to their reference, indicating greater rigidity in these compounds; the mechanical strength improved by 20% in P1 at 5 PHR and 30% in P2 at 15 PHR, showing that the vinyl content influences the structural strength of the compound; the glass transition (T_g) increased by 5% in the formulations with higher vinyl content, which means that they can operate in a wider temperature range before becoming rubbery; and the thermal stability improved by 2%, suggesting that the incorporation of SgP had a slight positive impact on the thermal decomposition of the material.

INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación está basado en la evaluación de las propiedades mecánicas y reológicas del compuesto SBS/HIPS-SgP que comprende el conjunto de procedimientos de evaluación sobre estas propiedades para la mejora en la sinergia del efecto de adición de partículas de sargazo en el material compuesto.

El desarrollo de este trabajo de investigación tiene como principal motivación un aprovechamiento sustentable de la invasión masiva de sargazo en las costas y playas de México, así como también en otros países que presentan la misma problemática socioambiental; posteriormente realizar la evaluación del efecto potencial del uso del sargazo haciendo los procedimientos ya mencionados con anterioridad generando así un desarrollo en los procesos de tecnología e innovación científica de las distintas áreas de aprovechamiento de la modificación en elastómeros con fibras naturales debido a que proporcionan propiedades deseables y altos rendimientos a un costo alcanzable.

Las fibras naturales utilizadas como refuerzo pueden fortalecer los materiales compuestos basados en matrices poliméricas y transferir sus propiedades a la matriz. Algunas de estas propiedades son alta durabilidad, rigidez específica, peso ligero, bajo riesgo, son renovables y biodegradables, también son poco abrasivos y pueden reducir el desgaste de los equipos de procesamiento [1], entre otras cualidades, que junto con las propiedades de los termoplásticos seleccionados en este trabajo de investigación, entre las cuales destacan la poca deformación permanente, gran resistencia a la tracción, dureza, alta resistencia al impacto, fácil procesabilidad, buen comportamiento a bajas temperaturas y resistencia a la abrasión mejoran significativamente el rendimiento y eficiencia en sus aplicaciones intentando resolver la dificultad de una dispersión homogénea de las partículas en la matriz.

En este escrito podemos encontrar en el capítulo uno los aspectos teóricos en el marco del proyecto de investigación, así como, la recopilación de antecedentes y estudios previos; las actividades experimentales realizadas durante la investigación, el procedimiento y la metodología en el capítulo dos. De manera fundamental, en el capítulo tres se ubica la discusión de resultados. Y de manera concluyente en el capítulo final, se resaltan los hallazgos generales de la investigación y se establecen recomendaciones.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

Se dan a conocer investigaciones anteriores que fueron el punto de partida del desarrollo de esta investigación; como la adición de material a la matriz SBS y la respuesta de la fibra natural en algunas matrices poliméricas.

En 2006, Balaam-Cocom y colaboradores, emplearon fibras molidas y tamizadas en malla no. 30 (600 μm) y malla no. 100 (150 μm) de la hoja y el tronco de la piña. Obtuvieron una disminución de la resistencia a la tensión del material compuesto al incrementar el contenido de fibras en la matriz, siendo más notorio el incremento para fibras de malla 30 con una pérdida del 34% y 44%, con respecto a la resistencia de la matriz. Las mejores propiedades mecánicas se obtuvieron con las fibras de menor tamaño (malla 100), independientemente del tipo de fibra, lo cual se atribuye a una mejor dispersión de las fibras en la matriz. [2]

En 2009, Malkapuram y colaboradores, incorporaron técnicas de procesamiento como calandrado, producción de hilos; y métodos de modificación química como cambio de tensión superficial, impregnación de fibras, copolimerización de injerto de matriz; y modificación física como fundición, estiramiento, termotratamiento, fragmentación; para mejorar la adhesión fibra-matriz, lo que resultó en la mejora de las propiedades mecánicas de los compuestos. Las propiedades mecánicas de los composites fueron influenciadas principalmente por la adhesión entre la matriz y las fibras. La resistencia a la tracción de los compuestos de hilo de cáñamo/polipropileno (PP) llegó al 80% de las propiedades mecánicas de compuestos de fibra de vidrio/PP. [3]

En 2011 Benini, trató las fibras químicamente por mercerización y blanqueo con NaClO_2 , posteriormente fueron mezcladas con HIPS como matriz termoplástica a 10, 20 y 30% (p/p). Utilizó moldeo por inyección para caracterizar los composites mediante análisis térmicos, mecánicos, SEM y microscopia óptica. Se obtuvo un aumento en el módulo de Young del 93% con respecto al HIPS puro con el 30% p/p, un material con 30% menos polímero con propiedades térmicas y mecánicas viables para aplicaciones donde el costo es más importante que la ductilidad. [4]

En 2012, Fuqua y colaboradores, plantearon la comprensión del uso de fibras de base biológica como refuerzo de compuesto. Describen detalles sobre las variedades de fibras naturales y las propiedades resultantes de sus componentes y estructuras. Revisan los métodos utilizados para mejorar la interfaz de estas fibras con una variedad de matrices poliméricas. [5]

En 2016, Tasdemir y Miskioglu mezclaron HIPS y SBS con proporciones variables por técnica de extrusión, las muestras para pruebas se fabricaron mediante moldeo por inyección. Los compósitos fueron caracterizados en SEM, pruebas mecánicas, MFI, entre otras. Las mezclas con la adición de un contenido de bajo nivel de SBS mostraron una tasa de desgaste más baja, mientras que la mezcla con un contenido de alto nivel de SBS tuvo una tasa de desgaste más alta que el HIPS puro bajo deslizamiento en seco. Los resultados también mostraron que cuanto mayor sea el contenido de HIPS, mayor será la dureza de la mezcla y mayor será la resistencia contra la superficie de la muestra durante el deslizamiento. [6]

En 2022, Martínez y colaboradores, usaron fibras de coco tratadas químicamente para obtener materiales compuestos con SBS de estructura radial con el objetivo de obtener un material con mejor biodegradabilidad que la del material original. Los resultados mostraron que el material obtuvo una buena sinergia con las partículas tratadas químicamente notable en el compósito SBS/PC a 8 phr, se mejoró su módulo de almacenamiento y sus propiedades térmicas manteniendo la flexibilidad y elasticidad de un hule. [7]

En 2022, García Castañeda y colaboradores, estudiaron por primera vez el efecto de las propiedades mecánicas de compósitos con partículas de sargazo/SBS/aceite nafténico. La evaluación presentó un mejor comportamiento en propiedades mecánicas con menor proporción de sargazo y más limitado a altas proporciones de sargazo. Estudiaron tres proporciones de sargazo en la matriz polimérica 5, 10 y 15 phr, obteniendo como resultado el aumento en las propiedades mecánicas del SBS con la adición de PS en la resistencia a la tracción y el módulo de Young para el compósito con 10 phr, que presentó un aumento del 32.17% y 21.98%, con respecto a la matriz de referencia. [8]

1.2 Materiales compuestos

Un compuesto es una sustancia resultante del acoplamiento de dos o más elementos, ya sea naturales o sintéticos, los cuales son mayormente resistentes en compuesto que por modo propio. Están ideados especialmente para aportar mayor firmeza, competencia o resistencia.

El compuesto químico es representado por una fórmula química que se obtienen mediante los símbolos de los elementos constituyentes. Los constituyentes químicos que forman los compuestos químicos no logran dividirse con algún procedimiento o método físico, únicamente con métodos químicos. [9]

Los materiales compuestos o compósitos se definen como una mezcla de dos o más materiales relativamente homogéneos que se unieron produciendo un material con propiedades superiores a las exhibidas por los materiales componentes individuales, muestra de ello se puede apreciar en la tabla 1.1. En general se obtienen artificialmente, existiendo fases diferentes, donde una actúa de matriz (continua) y otra de refuerzo (dispersa); tal como se puede apreciar en la figura 1.1. Este resultado sinérgico, obviamente, es la energía propulsora para el crecimiento de compuestos. [10]

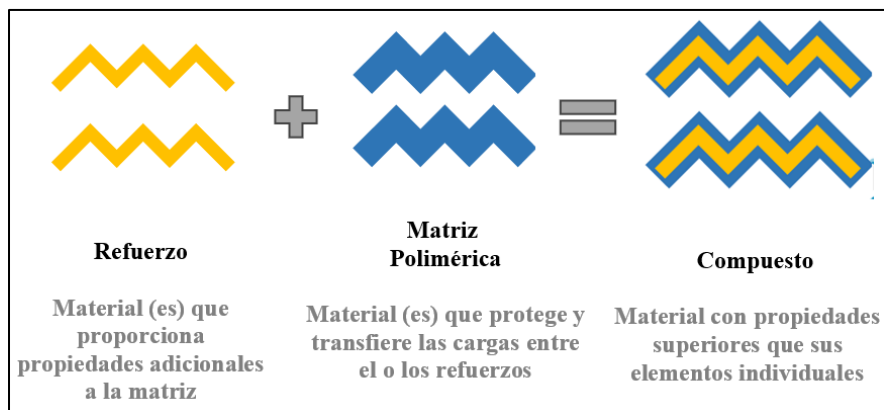


Figura 1.1 Conformación de un compuesto polimérico

Los refuerzos son materiales que al incorporarlos a los polímeros los modifican con características especiales para alcanzar una mejoría en sus propiedades particulares. Estos refuerzos varían según la demanda del producto final, entre los cuales pueden ser rellenos, colorantes, estabilizadores, agentes antiestáticos, plastificantes, agentes de acoplamiento, retardantes de flama, lubricantes, reforzantes, entre otros. [11]

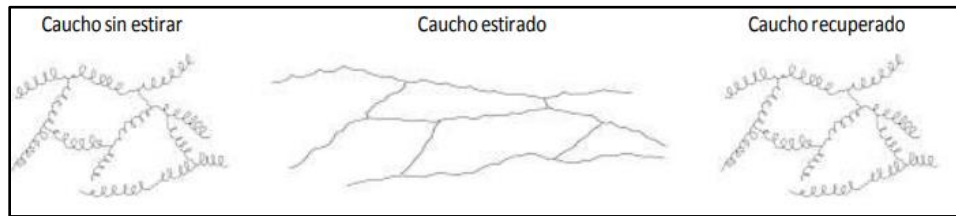
Tabla 1.1 Algunos beneficios de los materiales compuestos [12]

Propiedades	Beneficios
Fuerza/por libra	Los materiales compuestos logran ser más fuertes incluso que otros materiales tales como el acero.
Liviandad	El material compuesto reforzado proporciona una excelente coherencia resistencia-peso. La fabricación de piezas livianas es importante para industrias como el transporte, la infraestructura y la aeroespacial. La construcción liviana reduce los costos de transporte.
Renuencia a la corrosión	Los productos compuestos ofrecen resistencia a largo plazo a ambientes químicos y de temperatura agresivos. Suele ser ideal para exteriores, manipulación de productos químicos y algunos entornos hostiles. Tampoco se oxidan ni se carcomen.
Maleabilidad al diseñar	Una de las mayores ventajas e los materiales compuestos es que son más fáciles de moldear en formas complejas que la mayoría de los otros materiales. Los contornos se pueden crear sin el uso de instrumentos de presión alta en el transcurso de la fabricación.
Duración	Las estructuras de materiales compuestos son de vida rentable muy larga. En combinación con las condiciones de mantenimiento bajo, los compuestos se están convirtiendo en el material alternativo para una amplia gama de aplicaciones.

1.3 Elastómeros

Elastómero simplemente significa "caucho". Los polímeros elastoméricos incluyen poliisopreno o caucho polibutadieno, poliisobutileno y poliuretanos. La figura 1.2 muestra la singularidad de los elastómeros que logran estirarse abundantes veces su misma distancia y posteriormente volver a su configuración inicial sin ninguna deformación fija o inalterable.

La partícula de los polímeros que compone cierta proporción de hule (cualquiera que este sea), no mantiene ninguna organización, se envuelven y se revuelven entre sí, formando una gran maraña. Al extender el hule, las moléculas son obligadas a ordenarse en el sentido en el que se produce el alargamiento. Enseguida que lo hacen, se tornan más organizadas, apareciendo las cadenas hasta el punto de cristalizar.



Figura

1.2 Moléculas de polímeros de caucho cuando son estiradas. [16]

En el momento que ya no se aplica más presión, la materia ya no se estira, las partículas regresan velozmente a su situación entrelazado y en desorden, volviendo a su forma original. Los elastómeros tienen discreta reticulación y deformación, habiendo fuerzas intermoleculares existentes en extremo frágiles, un resultado menor de módulo de Young y una temperatura de transición vítrea menor de la temperatura ambiente.

Se caracterizan porque son materiales viscoelásticos. Asimismo, contienen una tensión mayor de fallo/rendimiento. [16]

Los elastómeros, asimismo que las fibras, son tomados por separado de otros materiales poliméricos debido a sus características especiales. A discrepancia de las fibras, los elastómeros generalmente no se pueden usar como plásticos. Los elastómeros tienen que ser disformes al ser alargados y permanecer por arriba de su temperatura de transición vítrea a fin de ser elásticos, a la vez que los plásticos tienen que ser cristalinos o por abajo de su temperatura de transición vítrea para mantener la estabilidad dimensional. [15]

1.3.1 Composición y propiedades de los elastómeros

El término composición describe la selección de aditivos y su incorporación a un polímero para dar una mezcla homogénea lista para las etapas de procesamiento subsiguientes. Excepto por las diferencias en la naturaleza de los ingredientes de composición, especialmente los requeridos para el refuerzo y que se describen bajo estos títulos, la composición de los cauchos es semejante a la de la mayoría de los plásticos.

Los cauchos sintéticos fabricados por polimerización en emulsión, como el caucho natural y el SBR, se encuentran originalmente en estado de látex. El proceso común de preparación de compuestos consiste en coagular y secar el látex, luego masticar y mezclar el caucho con un molinillo u otro dispositivo. [15]

Ciertos elementos añadidos al hule conforman puentes que conectan todas las cadenas del polímero caucho. Esto se llama entrecruzamiento. Como se muestra en la Tabla 1.2, el refuerzo convierte un elastómero de una masa termoplástica débil sin propiedades mecánicas funcionales o poco funcionales en un caucho resistente, flexible y tenaz.

Tabla 1.2 Propiedades típicas del caucho crudo, vulcanizado y reforzado. [15]

Propiedad	Rapidez de retracción	Caucho vulcanizado*	Caucho reforzado
Resistencia a la tracción, psi	300	3000	4500
Alargamiento a la rotura, %	1200	800	600
Módulo, psi †	-----	400	2500
Deformación permanente	Grande		Pequeña
Rapidez retracción (chasquido)	Buena		Muy buena
Absorción de agua	Grande		Pequeña
Resistencia a los disolventes (hidrocarburos)	Soluble		Se hincha solamente

* Sin reforzar

† Tensión por tracción a 400% de alargamiento; una medida de rigidez

Inclusive el caucho vulcanizado no es satisfactorio en términos de resistencia a la tracción, rigidez, resistencia a la abrasión y resistencia al desgarró. Por fortuna, estas características se pueden mejorar agregando ciertos rellenos al caucho. Los rellenos de los cauchos pueden dividirse en dos clases: rellenos inertes, tales como la arcilla, el blanco de España y la baritina, que convierten la mezcla de caucho más sencilla de manipular pero que tienen poco efecto sobre sus propiedades físicas; y los rellenos reforzantes, que mejoran las propiedades no satisfactorias

del caucho mencionadas arriba. El negro de carbón es el relleno de refuerzo más destacado, para los cauchos naturales tanto como los sintéticos.

La vulcanización limita el movimiento de extenso alcance de las moléculas poliméricas, sin embargo, los refuerzos limitan este rango de movimiento local de la masa y mejoran la dureza. [15]

La conducta de tensión-deformación de la goma pura (es decir, no reforzada) de los diferentes compuestos elastómeros va a depender minuciosamente de la organización molecular, polaridad y cristalinidad de los polímeros.

El caucho de nitrilo y el SBR, los cuales son copolímeros con formas complicadas e irregulares, no cristalizan de ninguna manera, sino que el caucho natural y el caucho de butilo cristalizan cuando se estiran a temperatura ambiente. Los microcristales de estos elastómeros tienen una respuesta de rigidez semejante a la de los rellenos de refuerzo, y sus curvas de tensión-deformación se curvan significativamente hacia arriba a deformaciones altas. Debe hacerse notar la semejanza de estas curvas tensión-deformación con las predichas a partir de la teoría de la elasticidad de los cauchos.

El caucho puro sufre una medida grande de acondicionamientos mecánicos al exhibirse inicialmente a tensiones de tracción. Los atributos mecánicos de los polímeros elastómeros dependen de gran manera de la velocidad del ensayo. [15]

1.3.2 Clasificación

Los polímeros entrecruzados son moldeados y se les da la forma antes de entrecruzarlos. Una vez que se ha llevado a cabo la reticulación, generalmente a temperaturas altas, ya no se puede moldear el material. Puesto que por lo regular es el calor lo que provoca la reticulación de modo fijo, llamamos a esta clase de materiales termoestables o termofijos. Se nombran así por la discrepancia de los termoplásticos, que no son entrecruzados y pueden ser remoldados una vez ya fundidos.

Los polímeros elastómeros que son termoplásticos (TPE's, una forma de abreviar elastómeros termoplásticos por sus siglas en inglés "thermoplastic elastomers), igualmente llamados cauchos

termoplásticos, son un tipo de copolímeros o combinaciones físicas de polímeros (de forma general plásticos y cauchos) que producen materiales con propiedades termoplásticas y elastoméricas. Entre tanto que la mayor parte de los elastómeros son termofijos, pero los termoplásticos son bastante simples de usar en la elaboración, como el moldeo por inyección. Los polímeros elastómeros termoplásticos unen las ventajas clásicas del caucho y los materiales termoplásticos, como lo es el SBS, del cual se discute en el apartado siguiente. La primordial divergencia de entre los elastómeros entrelazados (termofijos) y los elastómeros termoplásticos es el grado de reticulación en su estructura. En realidad, la reticulación es un importante elemento estructural culminante que colabora a dotar al material de elevadas propiedades elásticas.

También surgen preocupaciones ambientales para los elastómeros termoplásticos, ya que los polímeros reticulados (termoestables) no se pueden reciclar fácilmente. La esencia detrás de los elastómeros termoplásticos es el concepto mencionado anteriormente de reticulación reversible.

Los componentes consiguen ser catalogados elastómeros termoplásticos al alcanzar las propiedades siguientes:

1. Aptitud de poder estirar bajo tensión moderada y regresar a su estado inicial cuando se elimina la tensión.
2. Poderse desarrollar a alta temperatura en el molde.
3. No hay fluencia o fluencia creep (comportamiento de plastodeformación, es decir, una permanente deformación) significativamente.

Los termoplásticos elastómeros son potencialmente reciclables, ya que se pueden moldear, extruir y reutilizar como los plásticos, pero muestran las propiedades elásticas clásicas del caucho que no se pueden reciclar por su naturaleza termoendurecible.

El TPE se puede colorear sencillamente con casi la totalidad de los pigmentos o colorantes. También, gasta poca energía y permite un control de calidad del producto más preciso y rentable.

Los TPE's son muy fáciles de transformar ya que entran en estado plástico en el transcurso del proceso a causa de la rotura o débil anclaje de los puntos de reticulación. Se puede producir en cualquier dureza desde "5 Shore A" incluso hasta "70 Shore D". Con la ayuda de modificaciones

brindan adhesión a la mayoría de todas las clases de termoplásticos industriales. La fluencia, la densidad, las propiedades ópticas, la resistencia a marcas y otras propiedades se pueden adecuar por medio de la gestación de algunos componentes usando variados rellenos y aditivos.

Los inconvenientes de los termoplásticos en comparación con los cauchos y termoestables tradicionales son los costos de materia prima un tanto elevados, la resistencia química y al calor deficiente, la estabilidad térmica deficiente y la elevada dureza a la compactación. Los polímeros reticulados no se derriten y generalmente no son reciclables. Además, la reticulación une las cadenas y evita que el material fluya, por ello que no se puede derretir. [16]

1.4 Estireno Butadieno Estireno (SBS)

A menudo abreviado como SBS, el estireno-butadieno-estireno, es un elastómero TPE artificial conseguido a través de la síntesis de una combinación de estireno con butadieno.

El SBS igualmente nombrado caucho duro, es utilizado para piezas donde la durabilidad es importante, a manera de tapas de zapatos y recubrimientos de llantas. Es un copolímero de bloque.

El termoplástico SBS logra separarse en dos clasificaciones. Una es la radial, que comúnmente se representa por una estructura de cuatro puntas (tetraramificada) y brinda eficacia en casi la totalidad de los procedimientos; y la otra es la lineal, que es más sencilla de manipular. Una y otra son estructuras de copolímeros de poliestireno (PS) y polibutadieno (PB) de un elevado peso molecular, mezcladas con distintas estructuras exactas para formar una esfera de PS sostenido por hebras de PB. [17]

1.4.1 Estructura química y síntesis

Recordando que el SBS es un copolímero de bloque. En la figura 1.3 se observa como su cadena fundamental consta de tres secciones. La primera es una cadena extensa de PS, la de la mitad es una cadena de PB y la sección final es también una cadena larga de PS.

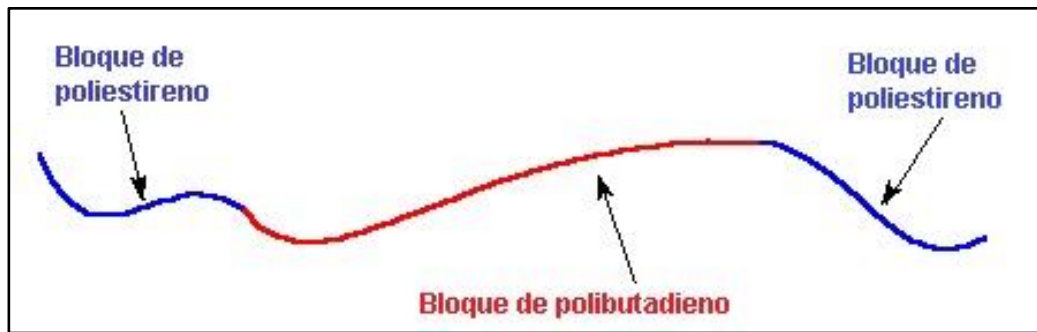


Figura 1.3 Red principal de SBS tribloque. [17]

La espuma de PS es un fuerte y sólido plástico que le da al SBS su perdurabilidad. El PB es un material gomoso y le da al SBS sus propiedades gomosas. De igual forma, las redes de PS tienen inclinaciones a agruparse en conjuntos grandes. Tan pronto como un grupo de estireno de una partícula de SBS se junta con uno de estos fragmentos y otra cadena de PS de la molécula idéntica de SBS se junta a otro fragmento, los diferentes fragmentos se combinan para formar una cadena de PB gomosa. Esto permite que el material conserve su forma después de ser estirado.

Este elastómero termoplástico es producto de una síntesis aniónica viviente. La polimerización viva ocurre sin reacciones de terminación. Incluso si el monómero se agota y se convierte en polímero en el reactor, la cadena de polímero sigue activa. A medida que se agrega más monómero al reactor, se agrega al polímero, haciéndose enorme.

A fin de lograr una cadena viva de PS se sintetiza la unidad monomérica estireno mostrado en la figura 1.4 con butil litio, un activador aniónico.

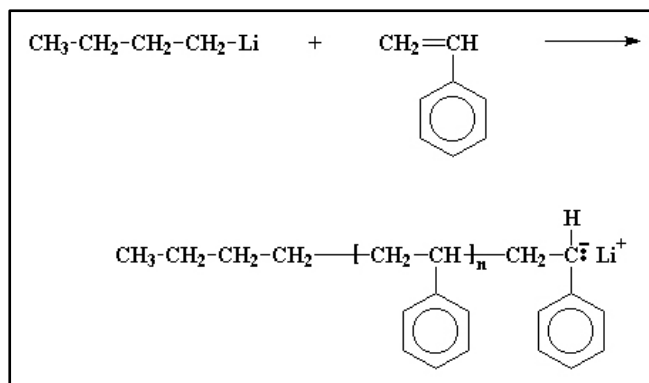


Figura 1.4 Polimerización de estireno con iniciador butil litio. [17]

El incorporar una segunda unidad del monómero (butadieno) servirá para que el butadieno se agregue al polímero. Se forma un copolímero de bloque vivo de estireno-butadieno. A continuación, se ocasiona una reacción con un compuesto que se llama diclorodimetilsilano. El polímero ya no está vivo, ya que las cadenas aniónicas vivas desplazan los átomos de cloro del silano, lo que finalmente convierte al polímero en un clorosilano. Como resultado, los homopolímeros de PS vivos reaccionan con los polímeros finalizados en clorosilano, de la misma manera que los copolímeros de estireno-butadieno reaccionan con el diclorodimetilsilano. Esto produce un copolímero tribloque. (Figura 1.5). [17]

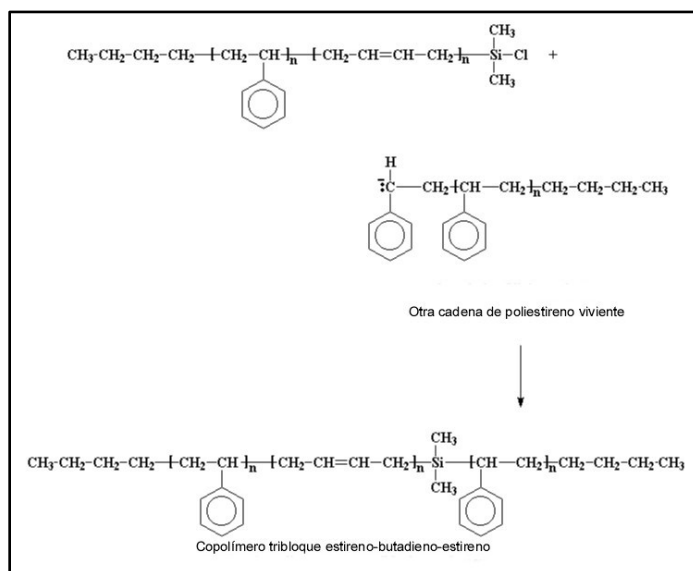


Figura 1.5 Estructura química del copolímero SBS. [17]

1.4.2 Propiedades

El SBS es parte de un tipo de elastómeros termoplásticos con las cualidades mecánicas del caucho y las aptitudes de fabricación de los termoplásticos a temperatura ambiente. En su generalidad los cauchos están reticulados, lo que los hace casi imposibles de procesar. El SBS y algunos varios elastómeros termoplásticos no están reticulados, son gomosos y se pueden procesar fácilmente en formas provechosas en su temperatura de fusión a 160-200°C (320-400°F).

El SBS tiene un sobresaliente coeficiente de fricción en la superficie, una permanente deformación baja, alta resistencia a la tracción, excelente rendimiento a menores temperatura, procesabilidad y características eléctricas afables. [17]

1.5 Poliestireno de alto impacto (HIPS)

1.5.1 Estructura química y síntesis

Es procesado por síntesis de radicales libres del estireno como monómero mediante la incorporación a la mezcla del caucho de PB al mezclado. El polibutadieno tiene dobles enlaces polimerizables en su estructura.

El PB se consigue por copolimerización con monómero de estireno. En la figura 1.6 se muestra el copolímero de injerto HIPS. Este polímero produce cadenas que emergen de él y son un tipo diferente de cadena que la cadena principal. En tales circunstancias, son las cadenas de PS las que producen las cadenas de PB que surgen de él.

Las cadenas elastoméricas colgantes de la cadena que es principal son muy benéficas para el PS. Los homopolímeros de PS y PB son inmiscibles entre ellos. Por lo tanto, las ramificaciones de PB tienden a dividirse en fases para modelar esferas pequeñas, como se muestra en la Figura 1.7 a continuación. Pero estas esferas de continuo están conectadas al estado de PS y así este es afectado.

Haciendo un fenómeno impuntual o retardado la inversión de fase, ocurriendo durante un período de conversión un tanto largo. Este espaciamento tiene un valor que está determinado por varios parámetros, primordialmente el contenido en porcentaje de caucho y el grado de injerto.

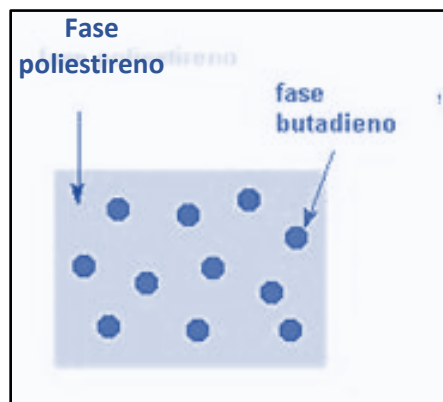


Figura 1.7 Dispersión de butadieno en poliestireno. [18]

En cualquier caso, se requiere cierta agitación en el reactor para que se produzca la inversión de fase. Si no se hace esto, el producto resultante parece una mezcla distorsionada de PS y PB, sin diferenciación evidente entre ambas fases. A lo largo de la inversión de fase, la viscosidad de la mezcla es significativamente mayor. [18]

1.5.2 Propiedades

- Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas indican las cualidades de un material que están relacionadas con su respuesta a las fuerzas o cargas aplicadas sobre él. En la tabla 1.3 se describen estas propiedades en el HIPS.

Tabla 1.3 Propiedades mecánicas del HIPS. [18]

Propiedad	PS alto impacto
Módulo elástico en tracción (GPa)	2.0 a 2.5
Alargamiento de rotura en tracción (%)	20 a 65
Carga de rotura en tracción (MPa)	20 a 35
Módulo de flexión (GPa)	1.6 a 2.9
Resistencia al impacto Charpy (kJ/m ²)	3 a 12
Dureza Shore D	60 a 75

- Propiedades térmicas

El compactado de PS (sin introducirse gas) tiene la conductibilidad térmica menor a la del total de los termoplásticos. La espuma rígida de PS XPS tiene una conductividad mucho menor, de menos del 0,03 W/K m, y se usa a menudo como material aislante.

En cambio, se ablanda entre 85 y 105 °C (la temperatura precisa dependerá del contenido de aceite mineral), lo que lo hace poco resistente a la temperatura.

- Propiedades ópticas

Entre tanto el PS de alto impacto tiene por completo opacidad mientras que PS cristalizado es translucido. Contiene un índice de refracción de alrededor de 1,57, semejante al policarbonato (PC) y al policloruro de vinilo (PVC).

Una mezcla de HIPS y PS cristal estará más transparente, sin embargo, cuanto más PS cristal contenga, mayor fragilidad tendrá. Es factible localizar una relación entre las dos propiedades para lograr un producto elaborado con resistencia y transparencia admisibles, por ejemplo, en los vasos desechables.

- Propiedades eléctricas

El PS tiene una conductividad eléctrica muy baja (normalmente 10^{-16} S m⁻¹), en otras palabras, es un aislante eléctrico. Debido a sus propiedades, se utiliza principalmente en sistemas de frecuencias altas. [18]

1.6 Refuerzos en materiales compuestos

Los refuerzos son materiales que mejoran las propiedades de los materiales compuestos. En los materiales compuestos existen formas en que los materiales de refuerzo pueden presentarse en su morfología o en la manera en que pueden ser procesados, con base a ello es posible utilizar dos clases de elementos de refuerzo: [19]

- a) Refuerzos intermitentes o discontinuos, que incluyen partículas, plaquetas o fibras cortas.
- b) Refuerzos prolongados o continuos, que comprenden fibras largas, tejidos o laminados.

1.6.1 Refuerzos discontinuos

Los materiales compuestos pueden incorporar distintos tipos de refuerzos discontinuos, los cuales se encuentran aclarados en la figura 1.8. Entre ellos se encuentran los refuerzos en forma de partículas, plaquetas (ambos con dimensiones similares en todas las direcciones) y fibras cortas o discontinuas (caracterizadas por tener una longitud superior a su sección transversal).

Generalmente, los compuestos con refuerzos discontinuos se emplean en aplicaciones donde no se requiere una alta exigencia estructural. A continuación, se describen las principales características de cada tipo:

- Partículas: El uso de partículas como refuerzo no suele generar un gran incremento en las propiedades del material. Sin embargo, presentan un comportamiento mecánico generalmente isótropo, además de ser los más económicos y fáciles de fabricar entre los materiales compuestos. Si las partículas son cerámicas, pueden mejorar la rigidez y la resistencia térmica de matrices metálicas; en cambio, las partículas dúctiles pueden incrementar la tenacidad de fractura en matrices frágiles.

- **Plaquetas:** Aunque el refuerzo con plaquetas tampoco produce una mejora significativa en las propiedades, estos materiales tienden a lograr una mayor compactación en comparación con aquellos reforzados con partículas. Al tratarse de refuerzos casi bidimensionales, proporcionan una resistencia prácticamente uniforme dentro de su plano.
- **Fibras cortas:** En este caso, la longitud de las fibras influye directamente en las propiedades del compuesto. Los materiales reforzados con fibras cortas son anisótropos, lo que significa que sus propiedades son superiores en la dirección alineada con las fibras.

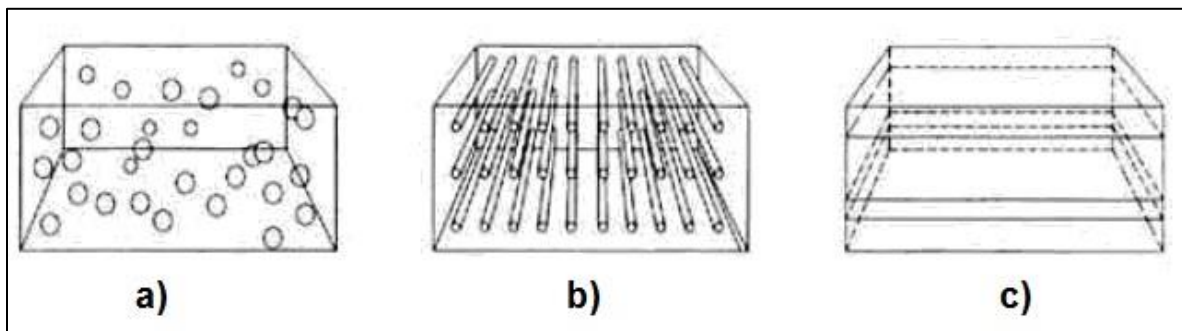


Figura 1.8 Materiales compuestos conforme el tipo de refuerzo discontinuo: a) Composito particulado; b) Composito fibroso; c) Composito laminado [20]

1.6.2 Refuerzos continuos

También existen diferentes tipos de refuerzos continuos que se emplean en materiales compuestos. Entre ellos se encuentran las fibras continuas o largas, que se caracterizan por tener una longitud mucho mayor que su sección transversal; los refuerzos laminados, compuestos por dos o más capas cuya longitud y anchura superan significativamente su espesor; y los refuerzos en forma de tejido, también conocidos como estructuras tipo “sándwich”, donde la matriz actúa como estructura base que se rellena con otro material.

Las propiedades más relevantes de cada tipo son:

- Fibras largas: son hilos cuya relación longitud/diámetro (L/D) supera el valor de 100, siendo “L” la longitud de la fibra y “D” el diámetro de su sección. En este tipo de refuerzo, extender aún más la longitud de la fibra no mejora las propiedades del material.
- Laminados: se componen de múltiples capas apiladas, con distintas orientaciones, que se repiten de forma finita. Cada una de estas capas puede estar hecha de fibra corta, fibra larga o tejido bidimensional.
- Tejidos: este tipo de refuerzo destaca por su gran rigidez y resistencia frente a la flexión, además de ofrecer muy buenas propiedades de aislamiento. [20]

Usualmente los refuerzos más utilizados son fibras y partículas. Las fibras son células filamentosas capaces de orientarse de forma alargada y delgada, que poseen propiedades altas de resistencia, extensibilidad, rigidez, elasticidad y tenacidad. A nivel macroscópico, se requiere que la fibra sea maleable y uniforme, relacionadas en longitud/diámetro igual o superior a 100. [21]

Los compuestos que son reforzados con partículas presentan ventajas en términos de economía, facilidad de producción, densidad a bajos niveles, propiedades mecánicas y por supuesto la biodegradabilidad; contribuyendo fundamentalmente a la mejora de la rigidez, asimismo logran incrementar la resistencia y la tenacidad del material. Este efecto es más pronunciado cuando el tamaño de las partículas es menor y su distribución es más homogénea. En esta investigación se trabajó con un refuerzo a modo de partículas por una mayor conveniencia en su procesamiento y tipo de refuerzo usado. [22]

Por encima de las características inherentes al refuerzo y a la matriz, las propiedades de los materiales compuestos están condicionadas por la naturaleza de la interfase, que es la región de contacto entre ambos componentes. En el caso de que dicha interfase presente debilidades, la transferencia de carga de la matriz hacia el refuerzo no se realizará de manera eficiente. Esto podría resultar en que la matriz asuma la carga, lo que conlleva un elevado riesgo de fallo, dado que su resistencia mecánica suele ser limitada. Alternativamente, se podrían generar vacíos entre la matriz y el refuerzo, lo que resultaría en la eventual fractura de la pieza compuesta. Conseguir una sujeción óptima entre el refuerzo y la matriz no es una labor sencilla, dado que,

habitualmente, estos materiales provienen de grupos distintos. La efectividad de la adhesión dependerá del enlace estrecho entre los átomos en las superficies de ambos componentes. En el caso de materiales de refuerzo en forma de partículas, la uniformidad de la dispersión también juega un papel fundamental. [22]

Comúnmente los refuerzos pueden ser organizados en dos clasificaciones: refuerzos de origen natural y refuerzos de origen artificial o sintético. La utilización de refuerzos de origen natural como refuerzos en compuestos poliméricos es altamente de beneficio en comparación con los materiales no reforzados con propiedades mecánicas, eléctricas, amortiguadoras, tribológicas, térmicas y morfológicas. Hay en existencia distintos tipos de refuerzos naturales a la disposición para usarse como refuerzo en el desarrollo de materiales compuestos poliméricos. Estos refuerzos a su vez pueden ser de origen vegetal, animal o mineral; como el sisal, algodón, cascara de coco, seda, crisotilo o como en este trabajo: el sargazo [1]

Los compuestos reforzados con fibras naturales se han vuelto atractivas para la comunidad científica ante todo porque se han vuelto una solución optativa para los recursos petrolíferos que cada vez están más agotados. Producir materiales de origen 100 % natural para reemplazar los productos a base de petróleo no es una respuesta económica. Una solución más realista es la combinación de petróleo y recursos naturales para germinar productos rentables con múltiples usos. El uso de materiales compuestos con refuerzos de origen natural está muy extendido en casi todos los sectores. [23]

1.7 Sargazo

Llamado científicamente, el Sargassum (Sargazo) es un género de macroalgas planctónicas del orden *Phaeophyceae* o *Sacrophyta* en el orden fucales (algas pardas). Las algas grandes de hasta varios metros son de color marrón o negro verdoso y se diferencian en nódulos, tallos y hojas. Algunas especies tienen vesículas llenas de gas para flotar y facilitar la fotosíntesis. La mayoría tienen una textura rígida y enredada y cuerpos resistentes pero flexibles que les ayudan a soportar fuertes corrientes marítimas. Masas densas de sargazo brindan un entorno favorable para un grupo único y especializado de vida marina, muchos de los cuales aún se desconocen.

El sargazo a menudo se conoce como la maleza del Golfo de México o, coloquialmente, la maleza engañosa; se encuentra comúnmente en los desechos costeros cerca de donde crece en el océano. Las especies de sargazo se encuentran en regiones tropicales de todo el mundo y son más prominentes en las áreas costeras donde se encuentra sargazo cerca de los arrecifes de coral. Las algas dependen de los corales y las rocas para crecer. En otros casos (como en el Mar de los Sargazos), enormes poblaciones de sargazo a la deriva. [24]

En general, el sargazo pertenece a un grupo de algas pardas (algas marrones) que viven en los océanos de todo el mundo. El subgrupo pelágico de *Sargassum*, un subgrupo de *Sargassum* oceánico que nada libremente, consta de dos especies, *Sargassum natans* y *Sargassum fluitans* (Fig. 1.9). Estas especies pertenecen al filo Phlophyta y suelen ser de color marrón amarillento claro, de 20-80 cm de diámetro, formadas por tallos ramificados, densos, muy frondosos, compuestos por numerosos nematocistos de menos de 1 cm de diámetro. Los nematocistos son pequeñas vesículas que actúan como ayudas a la flotabilidad porque están llenos de un gas que se cree que está compuesto de oxígeno y una pequeña cantidad de nitrógeno.

La reproducción en ambas especies de sargazo ocurre a través de la fragmentación de nutrientes, y debido a que los requisitos de nitrógeno y fósforo son mínimos, encuentran oportunidades de crecimiento en aguas marginalmente ricas, como las tierras fronterizas y las plumas de los ríos. Se ha observado experimentalmente que su crecimiento óptimo ocurre a una temperatura de 24-30°C y una salinidad de 36-42 ppt. En condiciones óptimas de luz, temperatura y salinidad, el sargazo puede duplicar su masa en hasta 10 días, especialmente cuando el sargazo es *S. fluitans*. [25]

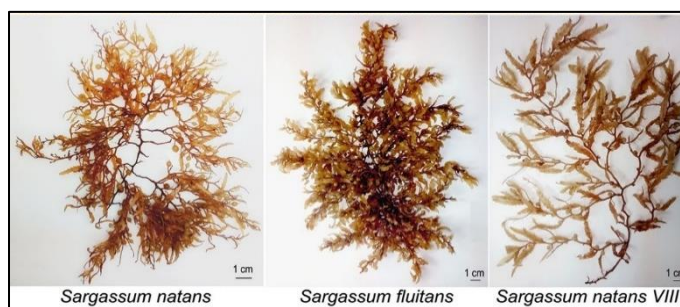


Figura 1.9 Especies de sargazo pelágico. [24]

Diversos estudios han confirmado que la biomasa del sargazo está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. La composición química más frecuentemente reportada para esta alga indica contenidos de celulosa en el rango de 38–50%, hemicelulosa entre 23–32% y lignina en proporciones que varían del 15 al 25%. Diferentes autores han llevado a cabo investigaciones orientadas a la caracterización de estos componentes, cuyos resultados comparativos se recogen en la Tabla 1.4. [26]

Tabla 1.4. Conformación química del sargazo [26]

Sargazo	Biomasa seca (% en masa)
Hemicelulosa	42.8
Celulosa	20.3
Ceniza	17.1
Proteína	9.6
Lignina	7.3
Extractos	1.9
Almidón	0.1
Total	99.1

El sargazo ha sido utilizado para múltiples estudios con la finalidad de su aprovechamiento en diversas aplicaciones, principalmente debido a su gran contenido de compuestos orgánicos y minerales. Algunas de las aplicaciones abarcan:

1. Producción de Biocombustibles. Se han llevado a cabo investigaciones sobre la transformación del sargazo en bioetanol, biogás y biodiésel.
2. Uso en Agricultura y Fertilizantes. Se ha empleado como compostaje debido a su elevado contenido de minerales beneficiosos para los suelos, actuando también como fertilizante y bioplaguicida.

3. **Materiales de Construcción.** Se ha investigado su aplicación en la fabricación de bloques de construcción y tabiques, en combinación con otros aglutinantes. Su contenido de fibras lo convierte en un material idóneo para la elaboración de paneles aislantes térmicos y acústicos. [56] Igualmente se ha estudiado el sargazo como un material de refuerzo en la modificación de asfaltos. [31]
4. **Alimentación y Farmacéutica.** Ciertas especies de sargazo pueden ser utilizadas en la producción de suplementos nutricionales y productos cosméticos, asimismo, es una tradición el consumo de algas en la alimentación de animales de granja. En el ámbito de la industria farmacéutica, se ha llevado a cabo un estudio sobre su contenido en fucoïdanos y alginatos, los cuales poseen propiedades antiinflamatorias, antioxidantes y antibacterianas. [57]
5. **Tratamiento de Aguas y Absorción de metales pesados.** Se ha empleado en procesos de biorremediación, dado que sus compuestos son capaces de absorber metales pesados como el plomo y el mercurio. Además, ha sido objeto de investigación para la purificación de aguas contaminadas.
6. **Productos de consumo.** Se han desarrollado productos tales como agendas, libretas, carpetas, cajas, calzado, entre otros. [56]

CAPÍTULO 2

DESARROLLO DE

EXPERIMENTACION

2.1 Materiales

Para la obtención de los compósitos se utilizaron dos copolímeros SBS de estructura lineal con diferencia en contenido de estructura vinílica, provistos por Dynasol Elastómeros. Etiquetados como P1 con un total de 11% de contenido de vinilos (bajo contenido de vinilos) y P2 con un contenido de 40% de vinilos (alto contenido de vinilos). En la Tabla 2.1 son especificadas las características de las matrices poliméricas.

Tabla 2.1 Características de las matrices SBS.

Características	SBS	
	Calprene 501 (P1)	Calprene 580X (P2)
Peso molecular (Da)	173418	177337
Estructura	Lineal	Lineal
Composición butadieno/estireno (%)	69/31	69/31
Contenido de vinilos (%)	12	40

Como refuerzo se empleó el HIPS con partículas de sargazo. El sargazo que se utilizó para esta investigación se recolectó en el periodo inicial del mes de abril del año 2023 en la playa Miramar de Ciudad Madero, Tamaulipas y mediante un procesamiento explicado en el apartado 2.2.1, fue llevado a partículas de tamaño aproximado entre 100 a 200 μm .

El Poliestireno de alto impacto 2210 fue provisto por Resirene con propiedades mencionadas en la tabla 2.2 y bajo características preaprobadas de alto flujo, alto impacto, alta productividad y fácil procesamiento.

Tabla 2.2 Propiedades del HIPS.

Propiedades	
Físicas	
Índice de Flujo (200 °C/5.0 Kg)	16 g/10 min
Mecánicas	
Elongación a la ruptura	35%
Impacto	
Impacto Izod ranurado (1/8in – 3.175 mm)	107 J/m

2.2 Metodología

La metodología que se usó en este proyecto se muestra en la figura 2.1 la cual abarca desde el tratamiento físico del sargazo hasta las caracterizaciones del compuesto final.

El sargazo previamente recolectado se sometió a varios lavados con agua potable utilizando una criba para eliminar la mayor cantidad de impurezas (arena, hilo, plástico, cabello, entre otras), posteriormente, se escurrió el sargazo al sol por aproximadamente 1 o 2 horas para eliminar el exceso de agua. Finalmente, las algas se introdujeron en una estufa a 60°C durante 12 horas hasta reducir la mayor cantidad de humedad posible. El proceso de preparación del alga se ilustra en la figura 2.2

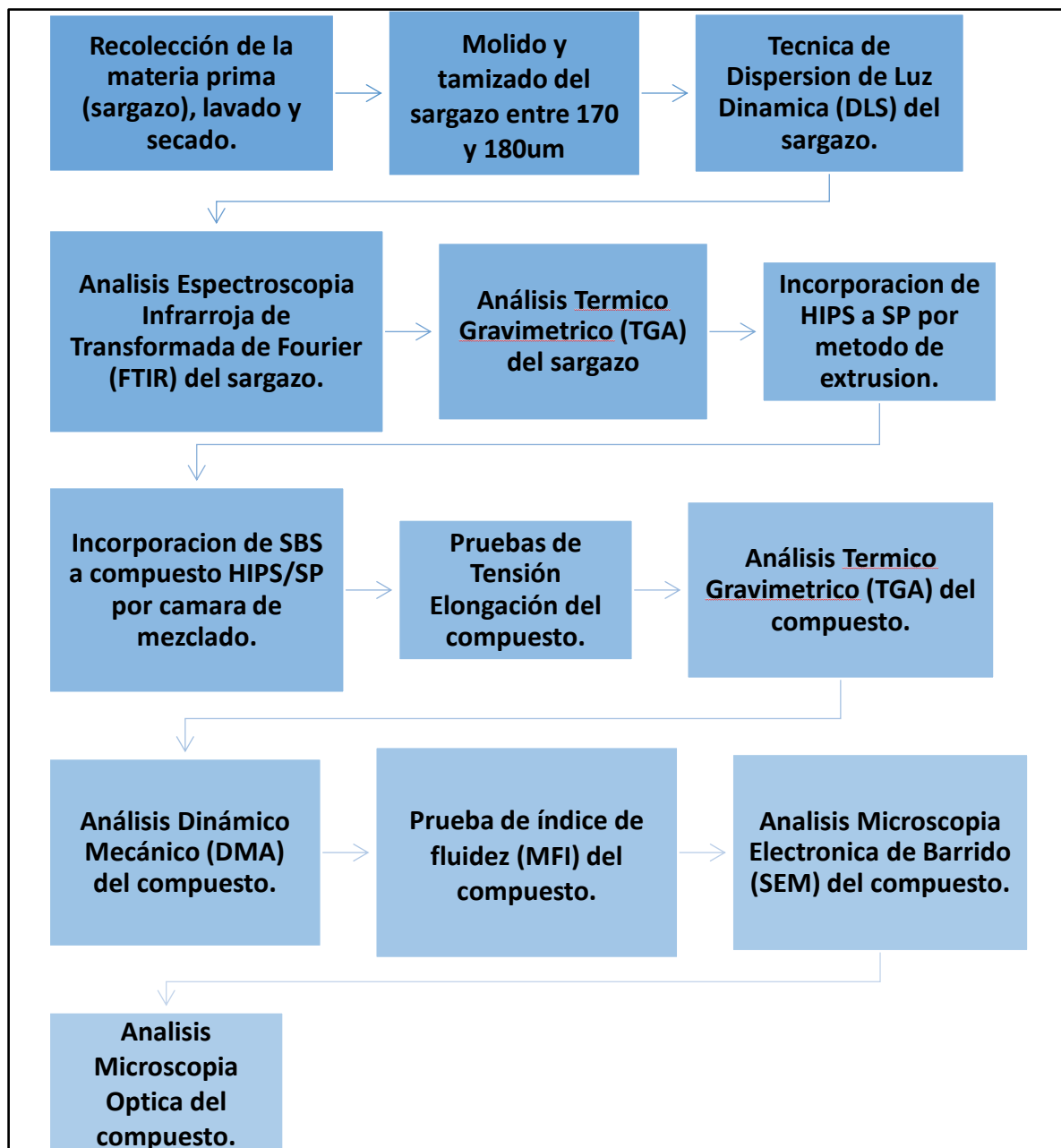


Figura 2.1 Esquema general de la experimentación



Figura 2.2 Preparación de sargazo

2.2.1 Preparación de las partículas de sargazo (SgP)

Para el proceso de preparación de las SgP, las algas fueron molidas en un molino de paletas a 3600 rpm. durante 3 minutos para reducir el sargazo a partícula obteniendo una mejor dispersión en la matriz, seguidamente las SP son tamizadas por una malla no. 80 ASTM (177 μ m) reduciendo aún más el tamaño de partícula, como se ilustra en la figura 2.3. Para finalizar se analizaron las SgP en técnicas como TGA para determinar las condiciones óptimas de procesamiento al conocer el historial térmico del sargazo; en FTIR para evaluar y analizar su comportamiento al identificar grupos funcionales, composición y estructura química del sargazo; y DLS para estimar la dispersión de las SgP en la matriz midiendo el tamaño y distribución de tamaño de partícula. Considerando los parámetros de temperatura y masa en cada técnica respectivamente.



Figura 2.3 Preparación de las partículas de sargazo (SgP).

2.2.2 Preparación de compositos HIPS-SgP

Al encontrar las condiciones antes mencionadas, se procedió a incorporar el polímero HIPS con las SgP tomando las consideraciones adecuadas de laboratorio, así como del equipo.

Los compositos se prepararon utilizando la matriz experimental mostrada en la tabla 2.3 donde para el copolímero HIPS se adicionaron las SgP en cuatro distintas formulaciones. La concentración de los materiales está en PHR (partes por cien de caucho, por sus siglas en inglés, “parts per hundred rubber”), este término se usa para expresar la cantidad de un ingrediente en una mezcla de caucho en relación con 100 partes de elastómero, es una unidad estándar en la formulación de compuestos donde cada componente se mide en función de su peso relativo al polímero base.

Tabla 2.3 Matriz experimental de compuestos HIPS-SgP.

Materiales (phr)	Formulaciones			
	F0	F1	F2	F3
HIPS	100	100	100	100
SgP	0	5	10	15

Por ejemplo, el compuesto conformado por: 100 PHR de HIPS y 10 PHR de SgP. Significa que hay 10 partes de SgP por cada 100 partes de HIPS, y según la tabla 2.3 se le identifica como F2.

Estos compositos fueron procesados en un extrusor mono husillo marca Beutelspacher que incluye cuatro zonas de calentamiento, el perfil de temperatura fue de 238/240/230/200 °C en las respectivas zonas; con una velocidad de 30 rpm, condiciones encontradas experimentalmente en el desarrollo del proceso. Los compositos HIPS/SgP obtenidos en forma de hilos se llevaron a una peletizadora marca Beutelspacher para ser cortados facilitando la mezcla al incorporarlos al SBS.

2.2.3 Preparación del compuesto SBS/HIPS-SgP

Los compositos se prepararon como indica la matriz experimental presentada en la tabla 2.4. Estos compositos fueron identificados como P1 para el polímero SBS de bajo contenido de vinilos y P2 para el polímero SBS de alto contenido de vinilos; a los cuales se les adicionó cada una de las cuatro formulaciones F0, F1, F2 y F3 (tabla 2.3) de compuestos HIPS-SgP, en 5 y 15 PHR respectivamente.

Por ejemplo, al composito conformado por: 100 PHR de SBS con alto contenido de vinilos (P2) al que se le añaden 15 PHR de HIPS-SgP en una formulación de 10 PHR de SgP (F2, tabla 2.3), se le identifica como P2-F2-15phr.

Tabla 2.4. Matriz experimental de compuestos SBS/HIPS-SgP

	P1	P2	P1	P2
HIPS-SgP	100 PHR	100 PHR	100 PHR	100 PHR
F0→	5 PHR		15 PHR	
F1→	5 PHR		15 PHR	
F2→	5 PHR		15 PHR	
F3→	5 PHR		15 PHR	

Los compositos se procesaron en un plastógrafo con cámara de mezclado marca Brabender, modelo Intelli-torque conformada por tres secciones que son calefactadas eléctricamente de forma independiente. Un termopar situado en la sección central permite la determinación de la temperatura alcanzada por el material en el interior de la cámara tomando en cuenta las condiciones de temperatura a 150°C, velocidad a 60 rpm y 6 minutos de tiempo de mezclado, encontradas experimentalmente en el desarrollo del proceso.

El compuesto obtenido en forma de “mastique” se llevó a moldeo por termocompresión utilizando una prensa hidráulica marca Dake a condiciones de temperatura de 160°C, presión y tiempo de prensado descritas para el método en la tabla 2.5. El proceso para la obtención de los compositos SBS/HIPS-SgP se ilustra en la figura 2.4.

Tabla 2.5 Condiciones de termocompresión.

Moldeo	Presión (ton)	Tiempo (min)
Moldeo en películas	0	10
	5	3
	10	3
	15	3
Moldeo en probetas	0	7
	5	3
	10	3
	15	3

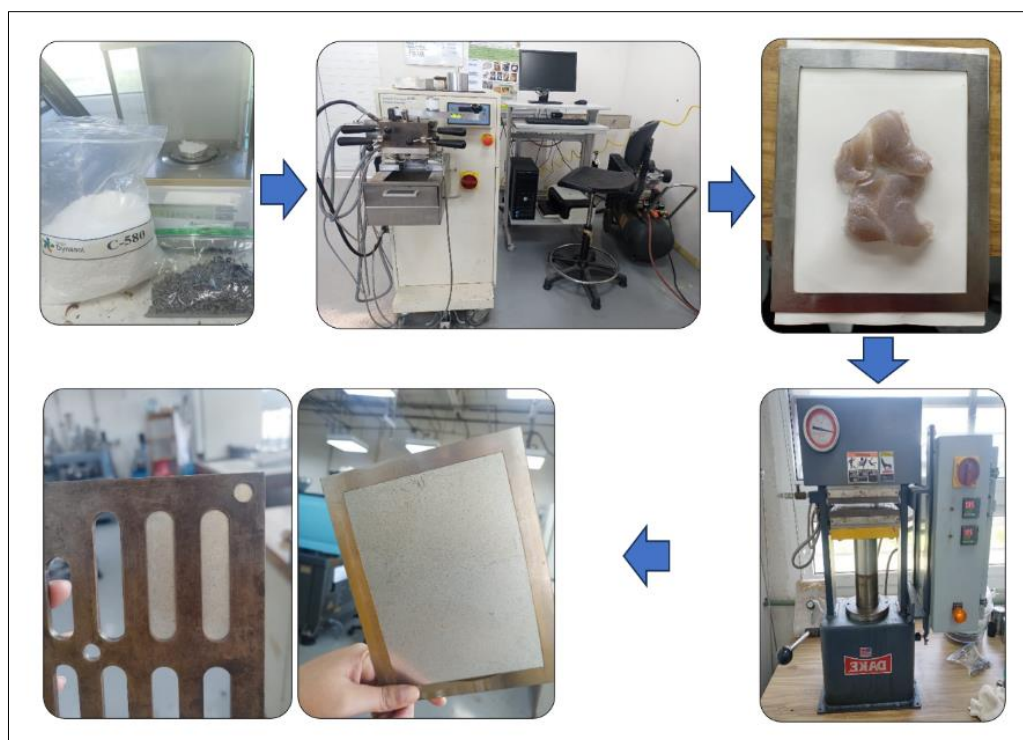


Figura 2.4 Proceso para obtener compuestos SBS/HIPS-SgP.

2.3 Técnicas de caracterización para los compuestos SBS/HIPS-SgP

2.3.1 Espectroscopía Infrarroja de Transformada de Fourier (FTIR)

La espectroscopia infrarroja es una de las herramientas más importantes para observar espectros vibracionales. Los grupos funcionales residentes en las SgP se pueden identificar en función de su espectro infrarrojo, así como su composición básica y estructura química.

El espectro muestra bandas típicas de grupos funcionales específicos, con posiciones e intensidades específicas dentro del espectro infrarrojo.

Por otro lado, la intensidad de las bandas espectrales en el compuesto SBS/HIPS-SgP será generalmente proporcional a la concentración de los grupos funcionales de cada componente individual. Esto hace posible realizar análisis en muestras que contienen múltiples componentes, estos análisis confirmaran la existencia de los enlaces químicos que interactúan entre estos componentes.



Figura 2.5 Espectrofotómetro de infrarrojo con Transformada de Fourier Perkin Elmer, modelo Spectra 100.

Esta técnica fue realizada en el Centro de Investigación en Petroquímica del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero con un Espectrofotómetro de infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR), Perkin Elmer, modelo Spectra 100. Evaluándose mediante FTIR el sargazo y los compuestos SBS/HIPS-SgP con accesorio ATR para sólidos (figura 2.5). Las muestras de

los compósitos se midieron en forma de película mientras el sargazo fue medido en 1 gr. de partículas con un tamaño aproximado de 206 μm .

Tanto el espectro del sargazo como el de los compuestos, se evaluaron en un rango de 4,000 cm^{-1} a 600 cm^{-1} , con una resolución de 4 cm^{-1} y 14 barridos de las muestras para aseverar la calidad de la imagen del espectro.

2.3.1 Microscopia óptica

La microscopía óptica o también llamada microscopia de luz, es una herramienta valiosa en la caracterización de polímeros, ya que permite examinar la morfología y la estructura de estos materiales de manera detallada y accesible desde la mayoría de los laboratorios.

Permitirá observar la morfología del nuevo material compuesto con SBS/HIPS-SgP, incluyendo la homogeneidad y cualquier irregularidad en la estructura. Esto es especialmente importante para polímeros compuestos o materiales mezclados.

Se utiliza también para medir y caracterizar el tamaño de partículas y fibras, lo que es esencial para evaluar la distribución de tamaños de partículas en este material compuesto. En resumen, la microscopía óptica desempeña un papel esencial al proporcionar información detallada sobre la estructura, morfología y propiedades del composito.

Esta microscopia se visualizó en el Centro de Investigación en Petroquímica del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero con un Microscopio electrónico portátil con 8 LED y ampliaciones de 225X y 1075X aproximadamente, bajo filtros reverso y escala de grises.

2.3.2 Pruebas Mecánicas

Las pruebas tensiles son un tipo de prueba mecánica utilizadas para evaluar la resistencia del composito SBS/HIPS-SgP a la tensión - elongación, es decir, la capacidad del material para resistir fuerzas que tienden a estirarlo o alargarlo.

Las pruebas tensiles proporcionan información valiosa sobre la resistencia y la ductilidad de un material. Los resultados de estas pruebas se utilizan en el diseño y la selección de materiales para una amplia variedad de aplicaciones.

Esta técnica se evaluó en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional Unidad Altamira con una maquina universal INSTRON modelo 3369 con celda de 100kN bajo condiciones de control. Las mediciones fueron realizadas por la metodología D412-68 ASTM donde las probetas planas con cabeza de tipo “hueso” presentaban las dimensiones de 140mm x 15mm x 2.6mm, ilustradas en la figura 2.6. La mordaza utilizada fue de tipo cruceta, las probetas se evaluaron a un promedio por resultado de prueba en cinco ejemplares de cada composito.



Figura 2.6 Probetas suajadas con referencia a la norma ASTM D412-68.

2.3.3 Análisis termogravimétrico

El análisis termogravimétrico (TGA) se utiliza para caracterizar las propiedades físicas y químicas de los materiales en función de la temperatura en una atmósfera controlada con precisión. Este método proporciona información valiosa realizándose en un rango de temperaturas utilizando un porta muestras de aluminio y una velocidad de calentamiento específica, teniendo en cuenta la velocidad de flujo en gramos de muestra bajo una atmósfera de nitrógeno.

Los dispositivos TGA son útiles para evaluar los cambios de masa asociados con los cambios de temperatura. De esta manera, se puede determinar la estabilidad e historial térmico asociados con el sargazo en particular; así como la descomposición térmica del composito. Esta técnica se realizó en el Centro de Investigación en Petroquímica del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero con un Analizador térmico gravimétrico (TGA), Perkin Elmer, Modelo Pyris 1TGA.

La medición se realizó en un alcance programado en un rango de temperatura de 30-550°C con una velocidad de calentamiento de 10°C/min utilizando porta muestras de platina, tomándose en cuenta una atmosfera inerte de nitrógeno con una velocidad de flujo de 100 ML/min.

2.3.4 Análisis Dinámico Mecánico

La técnica de caracterización DMA (por sus siglas en inglés, Dynamic Mechanical Analysis), definida en español como Análisis Dinámico Mecánico, es una técnica experimental utilizada para estudiar las propiedades mecánicas y comportamientos viscoelásticos de composites.

El DMA medirá la respuesta mecánica del composite SBS/HIPS-SgP a una variedad de fuerzas y deformaciones, y lo hace en función de la temperatura, el tiempo y la frecuencia. A través de esta técnica, es posible obtener información detallada sobre cómo este nuevo material responderá a diferentes tipos de tensiones y deformaciones, lo que es fundamental para comprender su comportamiento mecánico.

Este análisis fue realizado en el Centro de Investigación en Petroquímica del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero con un Analizador dinámico Mecánico marca TA Instruments, modelo Q800, usando una mordaza dual cantiléver con probetas de dimensiones 20x15x3 mm³ (figura 2.7) con una temperatura de -90 °C a 120 °C con una velocidad de calentamiento de 5 °C/min.



Figura 2.7 Probetas usadas en DMA

2.3.5 Índice de Fluidiez

El índice de fluidez o MFI (Melt Flow Index, por sus siglas en inglés) es una prueba reológica de la medida de fluidez de un polímero fundido, que determinó la capacidad de flujo del composito SBS/HIPS-SgP bajo condiciones de presión y temperatura controladas regidas por algunos estándares internacionales incluidos en el método D1238-13 ASTM.

Esta variable es inversamente proporcional a la viscosidad y al peso molecular (MW). La viscosidad y el peso molecular disminuyen a medida que aumenta el índice de fluidez del polímero. Se utiliza para determinar la capacidad de procesamiento de un polímero en máquinas de moldeo por extrusión.

Las pruebas de MFI se realizaron en el Centro de Investigación en Petroquímica del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero con un Medidor de índice de fluidez, marca Physical Test Solutions, Modelo XNR 400 C series incluido en la figura 2.8. Las condiciones de las pruebas de velocidad de flujo para los compósitos SBS/HIPS-SgP fueron a 190°C de temperatura, 5 kg de carga y una masa de la muestra de entre 4-8 gr por procedimiento A de la norma. Utilizando también como referencias la Tabla X4.1 y Tabla 2 de la norma D1238-13 ASTM, adjuntas en los anexos de esta investigación.

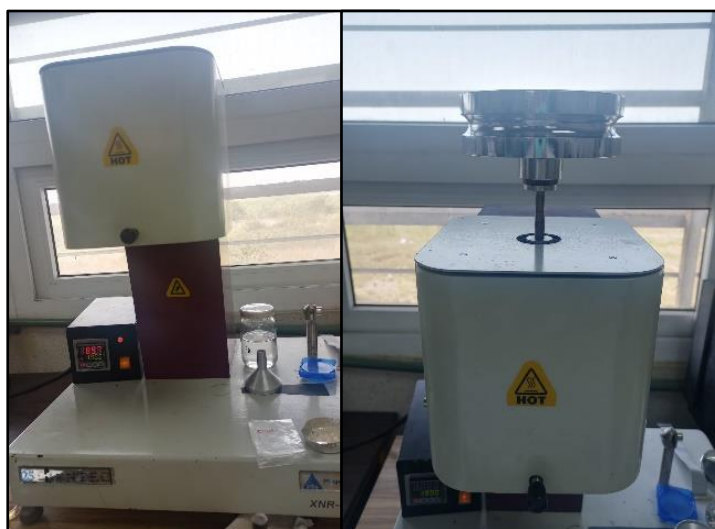


Figura 2.8 Plastómetro de extrusión.

2.3.6 Dispersión de Luz Dinámica

La dispersión de luz dinámica (DLD o DLS, por sus siglas en inglés de "Dynamic Light Scattering") es una técnica fisicoquímica utilizada en partículas muy pequeñas en suspensión o solución. Es empleada para determinar el tamaño y distribución de tamaños de las PS midiendo la dispersión de luz láser por las partículas, basándose en el principio de que las partículas en movimiento aleatorio causan fluctuaciones en la intensidad de la luz dispersada cuando se iluminan con un láser o una fuente de luz coherente. Esta técnica fue realizada en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada Altamira con un Analizador de tamaño de partícula, marca Anton Paar, Modelo Litesizer con celda de cuarzo observado en la figura 2.9.



Figura 2.9 Instrumento DLS

CAPÍTULO 3

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el capítulo actual se muestran y argumentan los resultados alcanzados mediante las diferentes caracterizaciones realizadas en el transcurso del presente estudio, los cuales se exponen de forma comparable a la informada en el capítulo pasado.

3.1 Espectroscopia Infrarrojo con Transformada de Fourier

Como se definió en el capítulo uno, el sargazo como alga marina contiene una gran fuente de recursos en materiales funcionales, incluyendo polisacáridos, minerales, proteínas, lípidos, fenoles y algunos otros grupos en su estructura.

Igualmente, dado el caso de los polímeros que incluyen butadieno, la estructura micrográfica de la sección de PB (esto es, la porción relativa de enlaces dobles 1,4-trans; 1,2 vinílicos y 1,4 cis) ejerce un papel crucial en la definición de sus características mecánicas y térmicas, además de su interacción con distintos elementos en la fabricación de materiales compuestos, como el PS de alto impacto y estireno-butadieno-estireno. [27]

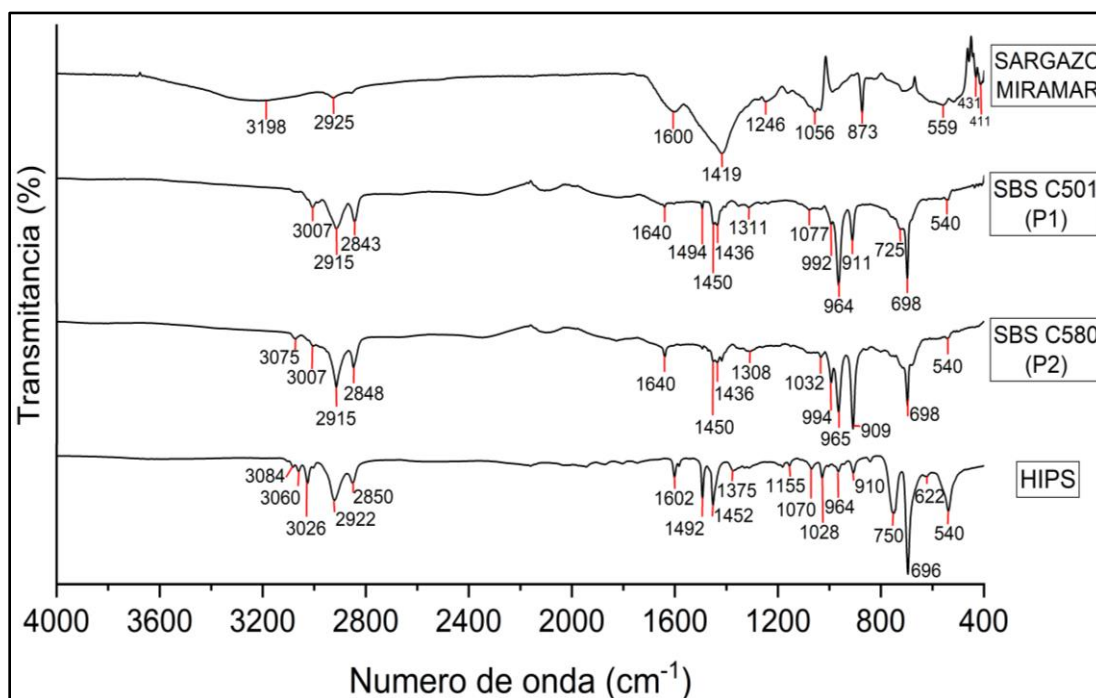


Figura 3.1 Comparación de los espectros infrarrojo SBS, HIPS y SP.

Se puede observar en la figura 3.1 un contraste de los espectros de cada uno de los materiales utilizados en este estudio basado en el uso de SP como refuerzo polimérico de la matriz experimental SBS/HIPS; con la finalidad de esclarecer las bandas características de cada material y poder visualizarlas más fácilmente en los espectros compuestos.

Respecto al espectro del sargazo mostrado en la figura 3.1, exhibe una banda ancha a 3198 cm^{-1} asociada a vibraciones de estiramiento de enlaces O-H en grupos hidroxilo presentes en polisacáridos y fenoles, junto con vibraciones de estiramientos N-H presentes en aminoácidos que forman proteínas.[28] Esto se puede relacionar con el alginato, puesto que es el más prolífico compuesto en el sargazo como alga parda por alrededor del 40% en peso.[29] La banda distintiva localizada a 2925 cm^{-1} se adjudica a vibraciones de estiramientos C-H alifáticos de grupos metilo ($-\text{CH}_3$) y metileno ($-\text{CH}_2$) en lípidos y polisacáridos; en conjunto con vibraciones de flexión y vibraciones de deformación cerca de 1419 cm^{-1} de cadenas alifáticas de estos mismos grupos, que forman la estructura básica de estos materiales lignocelulósicos. Así como también vibraciones de deformación O-H en grupos hidroxilo de fenoles y polisacáridos.[30] La banda alrededor de 1600 cm^{-1} es correspondiente principalmente a estiramientos con enlaces tipo carbonilo ($\text{C}=\text{O}$) del grupo carboxilato y deformaciones N-H, asociados a proteínas y grupos ésteres relacionados a la pectina presentes en el sargazo.[31][32][33][41]

A 1246 cm^{-1} se encuentra una banda de transmitancia característica por la existencia de grupos ésteres de sulfato ($\text{S}=\text{O}$) debido a la relación con compuestos sulfatados como polisacáridos del tipo fucoïdan.[31][33][34][35]

El sargazo de Miramar contiene bandas alrededor de 1056 y 873 cm^{-1} ubicadas en la región de la huella dactilar debido a la vibración de estiramiento $\text{S}=\text{O}$ de grupos sulfóxidos como los derivados del ácido sulfoxílico siendo el caso del dimetilsulfóxido. Así como también indica el contenido de algunos almidones y carbohidratos presentes en la muestra. [31, 32, 34, 36] La banda en 559 cm^{-1} es correspondiente a componentes bromados y yodados ($\text{C}-\text{X}$). [34] [37] [38] [39]

Finalmente se encuentran bandas entre 411 y 431 cm^{-1} atribuidas a vibraciones principalmente de azúcares. [33] [36] [40]

Tanto el HIPS como el SBS comparten bloques de polibutadieno (PB) y poliestireno (PS), por ello, sus respectivos IR en la figura 3.1 presentan semejantes características de los bloques de estireno como de los bloques de butadieno. Siendo así, sus diferencias están marcadas en que las bandas asociadas con el PB en HIPS pueden disminuir en intensidad y ser más dispersas a causa de la naturaleza de la fase dispersa, a cambio de los bloques detallados en SBS; la cifra perteneciente a las bandas de PB disminuye en

HIPS a comparación del SBS debido a que el PB en HIPS se encuentra en una cifra menor como fase dispersa en la matriz de PS en tanto que en el SBS, la existencia de los dobles enlaces ($C=C$) del butadieno se presentan con mayor definición a causa de su estructura en bloque; a su vez, ambos materiales muestran picos característicos del PS, pero en SBS, estos picos están mayormente superpuestos con las del PB conforme al carácter en bloque del copolímero. En resumen, los espectros IR del SBS presentan picos de mayor definición y particularidades del estireno como del butadieno conforme a su estructura en bloque, en tanto que, en el HIPS, los picos del PB pueden ser de menor intensidad y mayormente dispersas, con una preponderancia de las características del PS.

Aquí se detallan los picos característicos que se encuentran en los espectros de SBS tanto para P1 (bajo contenido de vinilos) como para P2 (alto contenido de vinilos), así como también para el HIPS:

En el espectro de SBS-P2 (de alto contenido de vinilos) se encuentra una banda de transmitancia en 3075 cm^{-1} , mientras que, en el HIPS se encuentran a 3026 , 3060 y 3084 cm^{-1} debido a vibraciones de estiramiento $C-H$ aromático indicando la presencia de anillos de benceno, así como vibraciones de estiramientos simétricos de las unidades vinílicas del PB. [7][42] Las bandas encontradas en $2843\text{-}3007\text{ cm}^{-1}$ están relacionadas con la presencia de vibraciones de estiramiento de los grupos metilo (CH_3) y metileno (CH_2) en el PB y grupos $C-H$ de anillos aromáticos de estireno. [7][32][42-44] La emisión de transmitancia en los números de onda a 1640 y 1602 cm^{-1} corresponden a la existencia de vibraciones de estiramiento $C=C$ aromático y vibraciones de estiramientos en grupos CH_2 y CH_3 [42][43] Las señales emitidas de $1350\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$ están asociadas a enlaces dobles $C=C$ en los enlaces aromáticos de los grupos estirenos, siendo el pico ubicado a 1450 cm^{-1} una fuerte evidencia en el reconocimiento de copolímeros, se puede atribuir a vibraciones de deformación de los grupos CH_2 en unidades de cis-PB y trans-

PB, este pico puede ser también asignado a los grupos vinílicos del PB en $\text{CH}_2=\text{CH}$. [7][32][42] Las torsiones de PS ó CH_2 en unidades de trans-PB o cis-PB se presentan en bandas a 1308 y 1311 cm^{-1} , mientras que, las vibraciones características de los bloques de PS de 1028-1181 cm^{-1} . [7] En los 994-992 cm^{-1} surgen vibraciones fuera del plano de los grupos $-\text{CH}=\text{}$ en las uniones vinílicas de PB. El pico característico a 995 cm^{-1} pertenece al enlace $\text{C}=\text{C}$ en butadieno. Y a 964 cm^{-1} predominan vibraciones de los grupos C-H cercanos al doble enlace relativo a la estructura 1,4-trans en PB. Las bandas de transmitancia correspondientes a los dobles enlaces 1,2-vinilo (1,2-butadiendo) de las unidades de butadieno aparecen en 909-911 cm^{-1} , evidencia distintiva en todos los copolímeros que contienen este segmento. [7][43] [45-48] En 725 cm^{-1} se encuentran señales que corresponden a vibraciones C-H en segmentos de PS y la señales en 750 cm^{-1} corresponden a vibraciones de flexión fuera de plano C-H indicando que solamente existe un sustituyente en el anillo de benceno, esta banda también es representativa de la estructura cis-1,4 del segmento del butadieno. [7] [42-44][46] La señal en 696-698 cm^{-1} corresponde al grupo fenilo del segmento de estireno y es característica singular de vibraciones de flexión fuera de plano de los enlaces carbono hidrogeno (C-H) del anillo aromático de benceno indicando la existencia de copolímeros de PS. El pico representativo a 622 cm^{-1} pertenece al estireno. [7][32][42][44][45][48][49] Finalmente una banda a 540 cm^{-1} generalmente se asocia con las vibraciones de deformación de anillos bencénicos, que son una característica del PS. Este pico específico puede estar relacionado con la deformación fuera del plano del anillo aromático del estireno, que es una unidad repetitiva en la estructura de SBS y HIPS. [50]

Las referencias comparativas de los compositos están constituidas por HIPS y SBS concentradas al 5 y 15 PHR de SBS con la formulación 0 PHR de HIPS (ir a tabla 2.2) para P1 (SBS de bajo contenido de vinilos) y P2 (SBS de alto contenido de vinilos).

El contenido de vinilos en cada SBS afecta de manera sustancial en la integración con las SgP en la matriz, por lo que, en la figura 3.2 se visualiza la variación de estas moléculas vinílicas en conjunto de la interacción con el HIPS, percibiendo así el efecto que estas tienen en la matriz. Se puede percibir cambios en la intensidad de las bandas conforme se relacionan con su concentración y a su vez con el contenido de vinilos presente, ejemplo de ello se muestra en los 910 cm^{-1} en donde la intensidad más alta se encuentra en las referencias con mayor contenido

de vinilos sin importar la concentración de esta. De manera similar, otro ejemplo del mismo caso se observa tanto en los 3000 cm^{-1} como en los 1470 cm^{-1} , donde se detecta un aumento en la intensidad asociado a un mayor contenido de vinilos, aunque ahora solo en la concentración más alta. En contraste, en las muestras con menor contenido de vinilos no se presentan diferencias relacionadas con la concentración de SgP, esto inferido por la influencia predominante en el contenido de vinilos, aunque no fue comprobado por el modo de absorbancia.

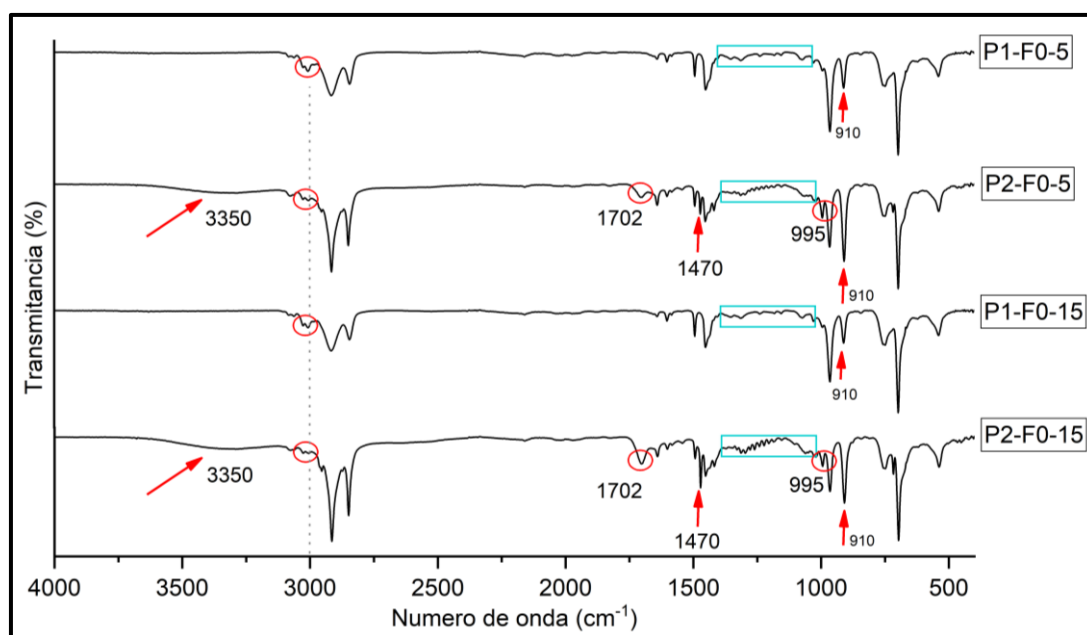


Figura 3.2 Espectros FTIR de las referencias SBS/HIPS en P1 y P2 a 5 PHR y 15 PHR.

Por otro lado, la aparición de nuevos picos a 995 cm^{-1} en los espectros con un alto contenido de vinilos son inferidos debido al aumento de los bloques de PB presentes en ambos polímeros del compuesto HIPS/SBS. En cambio, la aparición de nuevos picos a 1702 cm^{-1} es indicativo de grupos carbonilo ($\text{C}=\text{O}$) y puede deberse a la oxidación de las cadenas poliméricas atribuido al calentamiento durante su procesamiento (como extrusión y termoformado). En las referencias obtenidas con el polímero SBS de mayor cantidad de vinilos se denota una banda ancha alrededor de los 3300 cm^{-1} apuntando a grupos OH, asociando con la existencia de humedad en las muestras.

En la figura 3.3 se exhibe la información de mayor relevancia de la espectroscopia infrarroja efectuada a los compuestos SBS/HIPS-SgP con bajo contenido de vinilos.

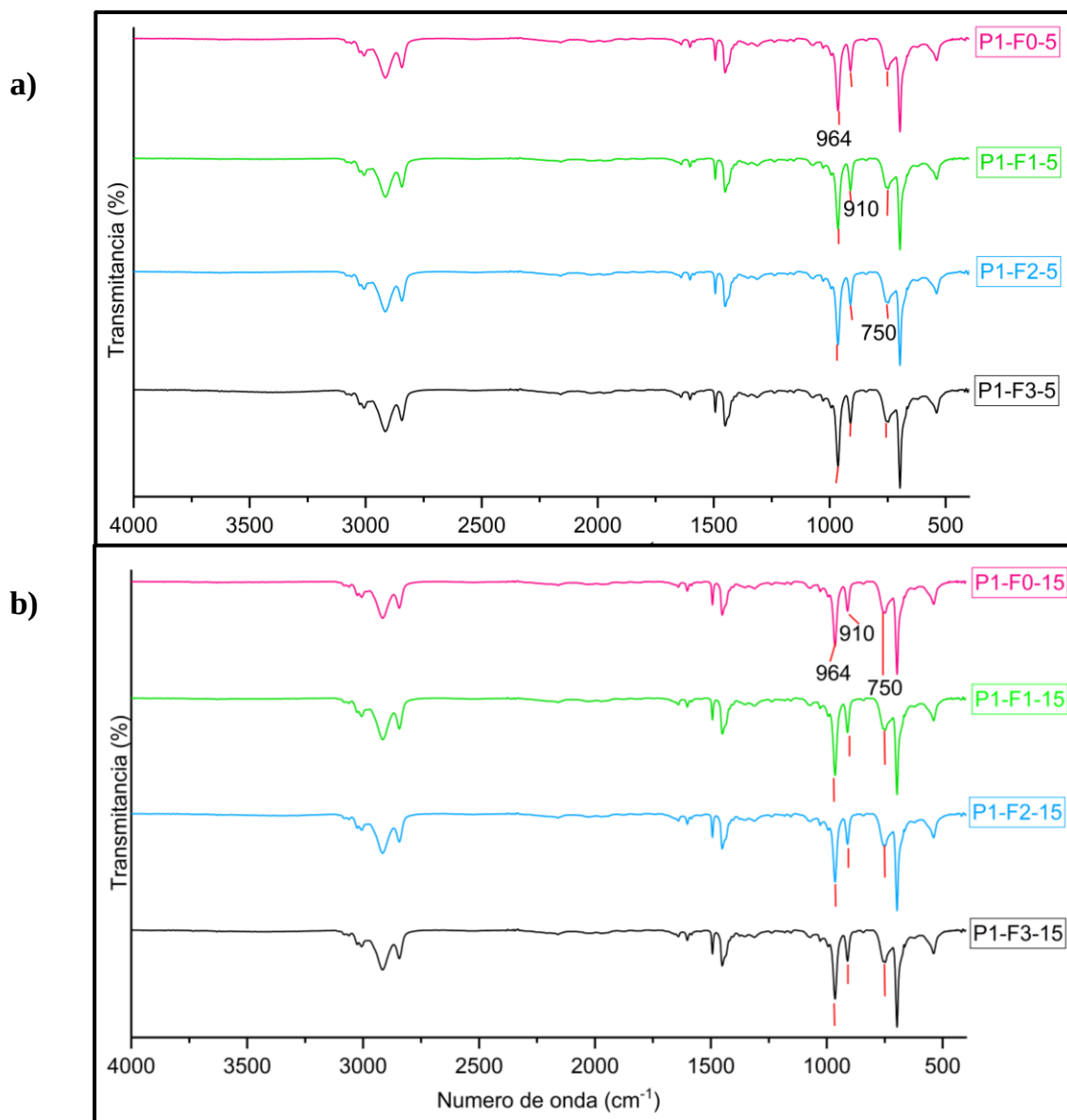


Figura 3.3 FTIR de compuestos SBS/HIPS-SgP de bajo contenido de vinilos de

a) 5 PHR y b) 15 PHR.

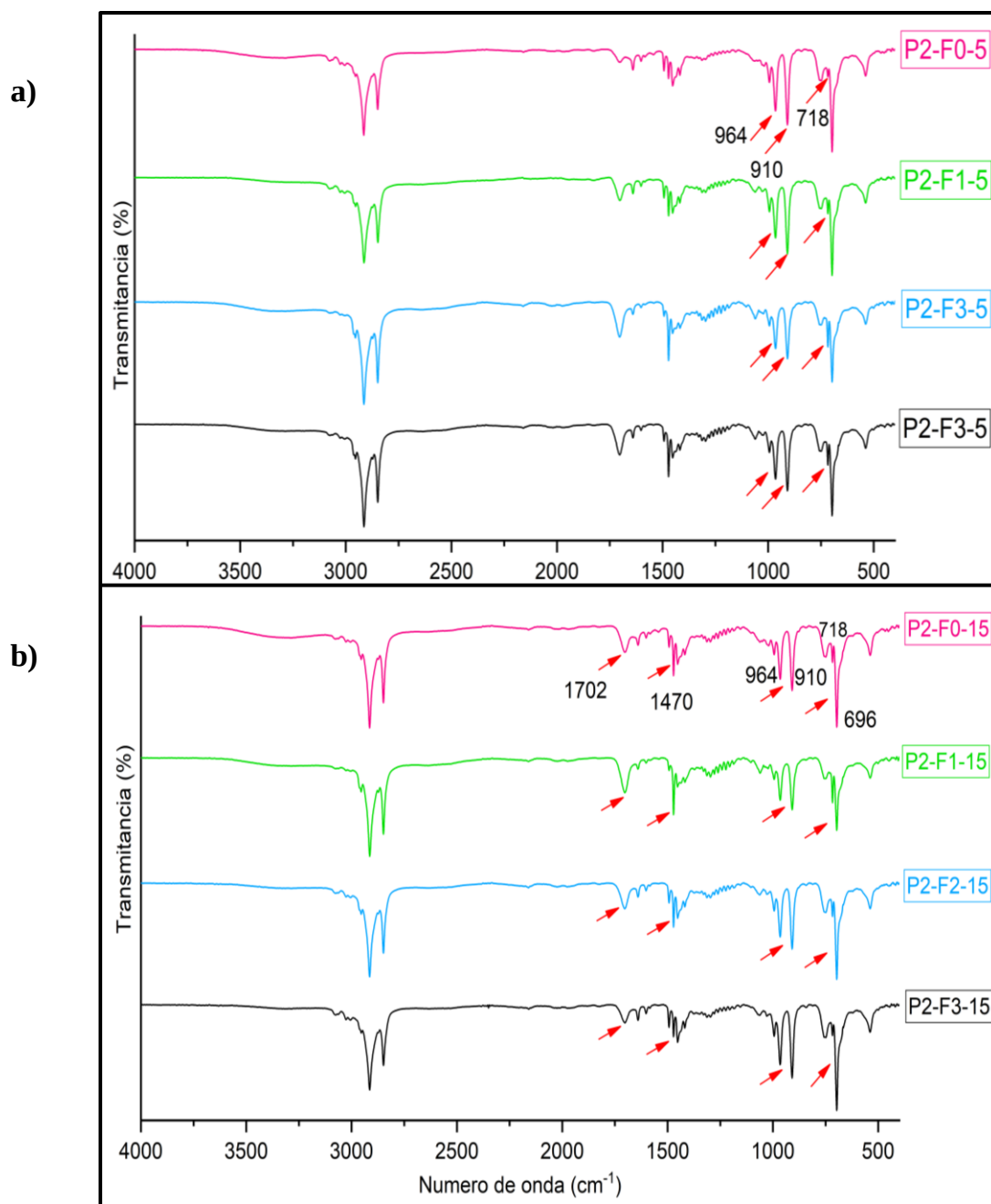


Figura 3.4 FTIR de compuestos SBS/HIPS-SgP de alto contenido de vinilos de
a) 5 PHR y b) 15 PHR.

En los compuestos con P1 no se encontró variación de picos significativos con la adición de sargazo ni se visualizan bandas que indiquen interacciones químicas en los compuestos. En gran contraste a los compuestos con P1, en la figura 3.4 se pueden visualizar los compuestos obtenidos con P2 y sus señales más significativas. Correspondiendo a los enlaces dobles referidos a los bloques de polibutadieno se marcan alrededor de los 964, 750 y 910 cm^{-1} como estiramientos del ($=\text{C-H}$) trans, ($=\text{C-H}$) cis y el grupo vinilo ($=\text{CH}_2$) respectivamente.

En los compuestos con alto contenido de vinilo las bandas observadas en 1702, 1470 y 696 cm^{-1} poseen un grácil cambio de intensidad, el cual se visualiza mayormente para los compuestos a 15 PHR, esto se atribuye a la interacción física de las partículas de sargazo con la matriz polimérica.

3.2 Microscopia Óptica

La dispersión de las SgP en la matriz HIPS/SBS fue favorecida con la disminución física de la partícula, provocando de esta manera un aumento en el área superficial de contacto y a su vez, minimizando el periodo de dispersión.

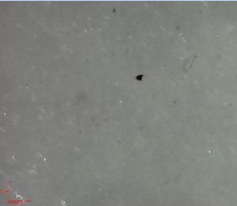
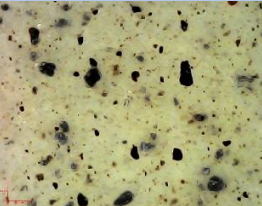
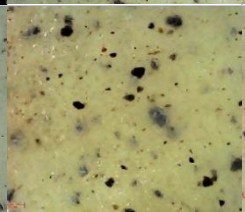
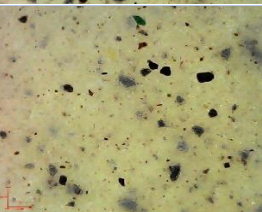
Al estudiar las tablas 3.1 y 3.2, se puede apreciar una comparación concisa que ilustra el progreso en el periodo de dispersión del SBS al momento de integrarse con el HIPS y al incorporarse también las SP. Del análisis microscópico se puede visualizar la dispersión que va presentando el aditivo en la matriz polimérica, donde la fase continua se representa por la matriz polimérica SBS/HIPS destacando en comparación a la fase dispersa o discontinua que se distingue visiblemente en lunares oscuros y corresponde a las SgP.

En la tabla 3.1 se reportan los compositos con sus distintas concentraciones de refuerzo incorporadas en 5 PHR a los SBS P1 y P2. De acuerdo con el aumento de la concentración de refuerzo, el porcentaje de dispersión aumenta también alcanzando una distribución más continua y homogénea, pero con morfologías y tamaños irregulares. Enfatizando que se puede alcanzar un entrelazamiento entre las SP y la matriz SBS/HIPS con la capacidad de reforzarla eficazmente, aún con dispersiones disformes en las concentraciones mínimas.

Asimismo, se percibe un comportamiento con mínima aglomeración de partículas a medida que aumenta la adición de SgP a la matriz. Lo cual se asocia con los resultados de las pruebas

mecánicas confirmando la razón por la cual la adhesión superficial en altas concentraciones de refuerzo es mayormente deficiente.

Tabla 3.1 Microscopia óptica de los compuestos SBS/HIPS-SgP a 5 PHR

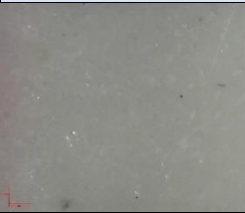
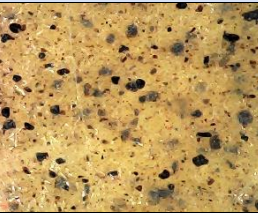
COMPUESTO	5 PHR			
	F0	F1	F2	F3
P1/HIPS-SgP				
P2/HIPS-SgP				

Por otra parte, los compositos incorporados en 15 PHR a los SBS P1 y P2 se encuentran presentados en la tabla 3.2. Al igual que en la tabla 3.2, de acuerdo con el aumento de la concentración de refuerzo, el porcentaje de dispersión aumenta también alcanzando una distribución más continua y homogénea, pero con morfologías y tamaños irregulares.

Sin embargo, en el caso del P2 el porcentaje de partículas dispersas en la matriz disminuye notablemente desde la formulación de aditivo HIPS-SgP concentrado a 5 PHR, aumentando mínimamente con respecto al P1.

Esto puede explicarse debido a que un mayor contenido de vinilos en el P2 puede incrementar la compatibilidad entre la matriz polimérica y las SgP facilitando una mayor integración de las partículas y encapsulándolas dentro de la fase dispersante, reduciendo su movilidad y, por ello, resultando en una disminución de la dispersión de SgP.

Tabla 3.2 Microscopia óptica de los compuestos SBS/HIPS-SgP a 15 PHR

COMPUESTO	15 PHR			
	F0	F1	F2	F3
P1/HIPS-SgP				
P2/HIPS-SgP				

3.3 Pruebas Mecánicas

Las propiedades mecánicas evaluadas y analizadas en este estudio fueron realizadas considerando factores relacionados con las posibles aplicaciones del material compuesto y las condiciones operativas a las que estará sometido. El ensayo de tracción evaluó la resistencia del composito SBS/HIPS-SgP a la tensión – elongación, midiendo la capacidad del material para resistir deformaciones, rupturas y cargas de 100kN sin fallar y volver a su forma original al estirarlo o alargarlo bajo la aplicación de la fuerza de la maquina universal utilizada.

En la figura 3.5 se muestran los diagramas de esfuerzo-deformación proporcionando una representación gráfica de cómo un material responde a la aplicación de una carga especifica. Este diagrama es fundamental, ya que revela varias propiedades mecánicas importantes del material, como su resistencia, ductilidad y rigidez. En el diagrama, el esfuerzo (σ) está representado por la fuerza aplicada por unidad de área y medido en unidades Newton (N) equivalentes a 1 kilogramo metro por segundo al cuadrado (kg.m/s^2). Y la deformación (ϵ) se representa por el cambio relativo en la longitud del material, la deformación es una cantidad adimensional, aunque a veces se expresa como porcentaje (%) como en este caso.

Como se observa en la figura 3.5 en el P1 a 15 PHR (b) y en el P2 a 5 PHR (c), tanto la región elástica como su punto de fluencia son superiores a la referencia conforme se va adicionando SgP, indicando una mayor rigidez y a su vez un módulo de Young más alto, el límite elástico es

mayor indicando una mayor resistencia a la deformación en los compuestos con menor proporción de SgP pero menor contenido de vinilos y en los compuestos con mayor proporción de SgP pero mayor contenido de vinilos, apuntando a la importante influencia de estas dos características en el compuesto que se van relacionando entre si continuamente.

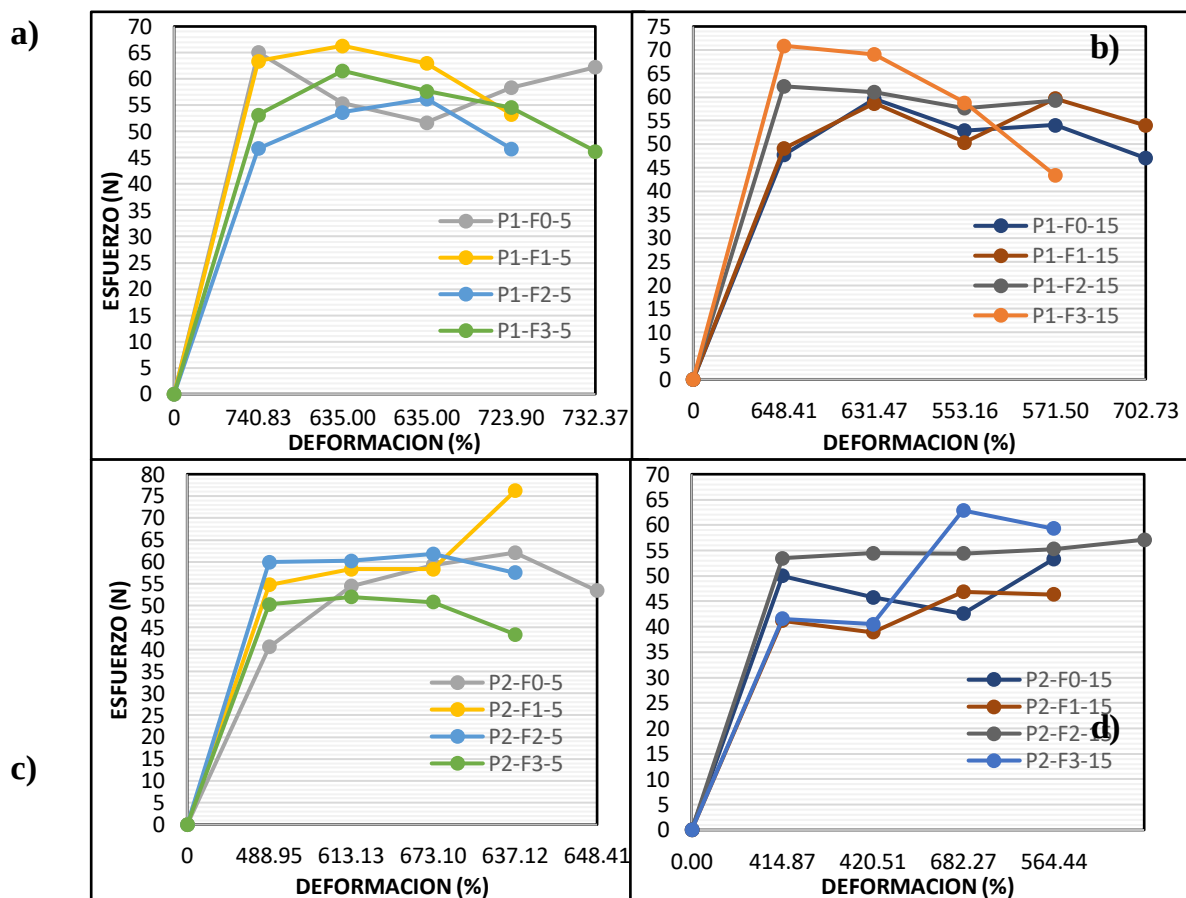


Figura 3.5 Diagrama esfuerzo vs deformación a) P1 (bajo contenido de vinilos) a 5 PHR, b) P1 (bajo contenido de vinilos) a 15 PHR, c) P2 (alto contenido de vinilos) a 5 PHR y d) P2 (alto contenido de vinilos) a 15 PHR.

Los compuestos con mayor esfuerzo de fluencia sobre su referencia fueron los del P1 a 5 PHR (a), lo que indica una mayor resistencia a la deformación permanente por parte de este compuesto atribuido a una mayor proporción de SgP, lo que puede resultar al visualizar la gran área bajo la curva, en un material tenaz, capaz de absorber considerable cantidad de energía antes de romperse. Finalmente, los compuestos con un punto más alto en el máximo esfuerzo, resistencia máxima o esfuerzo último; son P1 a 5 PHR (a) y P2 a 15 PHR (d) adjudicando un mayor soporte antes de su fractura y haciéndolo un material dúctil.

Por otra parte, la figura 3.5 ilustra los gráficos de resultados sobre el efecto de adición de SgP a la matriz para el módulo de Young.

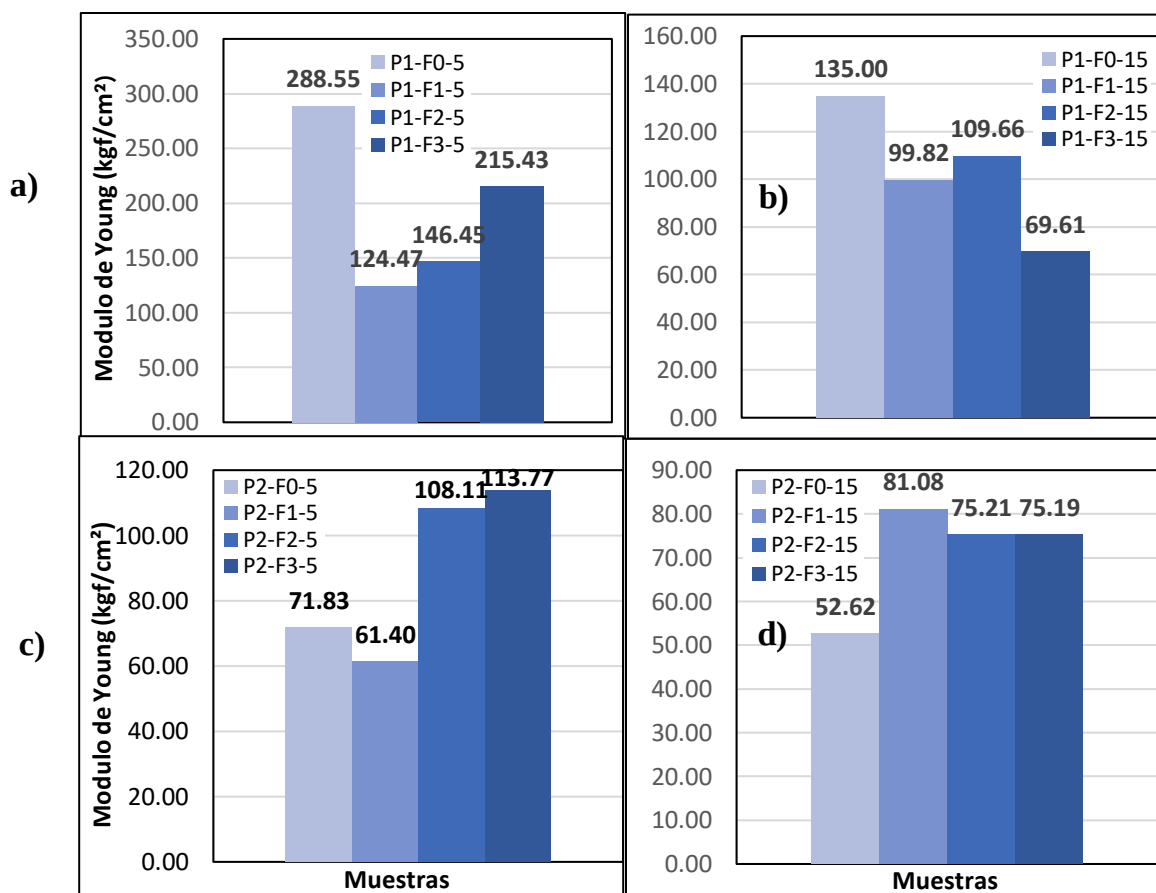


Figura 3.6 Resultado de pruebas mecánicas sobre Modulo de Young para a) P1 a 5 PHR, b) P1 a 15 PHR, c) P2 a 5 PHR y d) P2 a 15 PHR

Con respecto a P1 los valores del módulo de elasticidad disminuyeron con la adición del componente elastomérico. Las mezclas P1-F1-5 y P1-F3-15 fueron las que mostraron una mayor caída en el módulo de elasticidad, lo que indica una disminución en la rigidez.

Todos los compuestos con alto contenido de vinilos muestran un aumento en el módulo elástico con respecto a la referencia denotada como P1-F0-5 y P1-F0-15 lo que infiere un aumento en la rigidez del material. Sin embargo, se observa una disminución del módulo en la concentración de P2-F1-5. Este comportamiento puede atribuirse al aumento del contenido de SgP, que genera aglomeraciones, debilitando la adherencia interfacial con la matriz y, a su vez, provocando más puntos de falla. En general, se observa un mejor comportamiento mecánico en el polímero con

mayor contenido de vinilos probablemente debido a que muestran una variación en la resistencia máxima a la tracción mostrando una resistencia mecánica óptima conforme se añadieron las SgP y a su vez también fue mejorando el módulo elástico aumentando en los compuestos con respecto al material sin refuerzo a más del 50% del módulo de Young obteniendo propiedades mecánicas superiores.

En estadística, el análisis de la varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés: Analysis Of Variance) se refiere a un conjunto de modelos estadísticos y sus respectivos métodos, en los cuales la varianza se descompone en distintos componentes, atribuidos a varios factores (variables). Usamos el análisis de varianza para comprobar si existen diferencias estadísticamente significativas entre muestras cuando se tienen más de dos muestras o grupos de muestras en un mismo contexto experimental. [55]

El ANOVA se realizó sobre los datos obtenidos en la determinación del módulo de Young, con el objetivo de identificar la relación entre esta propiedad y la influencia de la variación en la concentración de SgP en los materiales, así como también la influencia del HIPS en la matriz polimérica. Para realizar el análisis de varianza se utilizó el software Excel, considerando tres factores y cinco niveles. Los resultados se presentan en la Tabla 3.3

La fuente de varianza se atribuye a los diferentes porcentajes de mezcla, mientras que las variaciones del error corresponden al error no explicado por estos porcentajes. El estadístico de prueba, F o número de Fisher se obtiene como el cociente entre los promedios de los cuadrados. Dado que este valor es mayor a 1, se puede inferir que los diferentes niveles del factor no tienen el mismo efecto en la variable de respuesta. Esto sugiere que la incorporación de HIPS al SBS como matriz polimérica junto con el porcentaje del contenido de vinilos en el SBS, influye directamente en el módulo de Young, afectando así las propiedades mecánicas del material. Cabe destacar que la mayor influencia está dada por el % en los vinilos del polímero SBS, posteriormente el polímero HIPS es el que tiene más influencia, siendo el contenido de SgP la variable de menor influencia en las propiedades mecánicas.

Tabla 3.3. Resultados de análisis ANOVA realizado en compuestos SBS/HIPS-SgP

Fuente de varianza	Suma de los cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	Estadístico de prueba F	Estadístico de tablas F	INFLUYE
% Vinilos en el SBS	89812.833	1	89812.833	32.400947	3.99092	SI
Contenido de HIPS	61050.698	1	61050.698	22.024697	3.99092	SI
Concentración de SgP	15500.84	3	5166.9471	1.8640319	2.74819	NO
SBS-HIPS	27454.421	1	27454.421	9.9044781	3.99092	SI
SBS-SgP	42647.358	3	14215.786	5.1284981	2.74819	SI
HIPS-SgP	21641.095	3	7213.6984	2.6024194	2.74819	NO
SBS/HIPS-SgP	13113.17	3	4371.0567	1.5769058	2.74819	NO
Error	177402.88	64	2771.92	---	---	---
Total	448623.29	79	---	---	---	---

3.4 Análisis Termogravimétrico

El TGA reportado en las fig. 3.7 y 3.8 muestra las curvas obtenidas de masa TG, en términos del porcentaje en peso de la muestra restante en función de la temperatura de los compuestos SBS/HIPS-SgP con sus respectivas referencias HIPS/SBS para un bajo y alto contenido de vinilos. [51]

Las curvas de Termogravimetría diferencial (DTG) se observan en la figura 3.9 con la finalidad de facilitar la identificación de las temperaturas donde inician o terminan procesos de variación de masa. En las curvas de pérdida de masa en el análisis TGA se muestra como cambia la masa de una muestra mientras se somete a un programa de calentamiento controlado permitiendo

identificar ganancias o pérdidas de masa respectivamente, así como, procesos de descomposición de los materiales. [52][53]

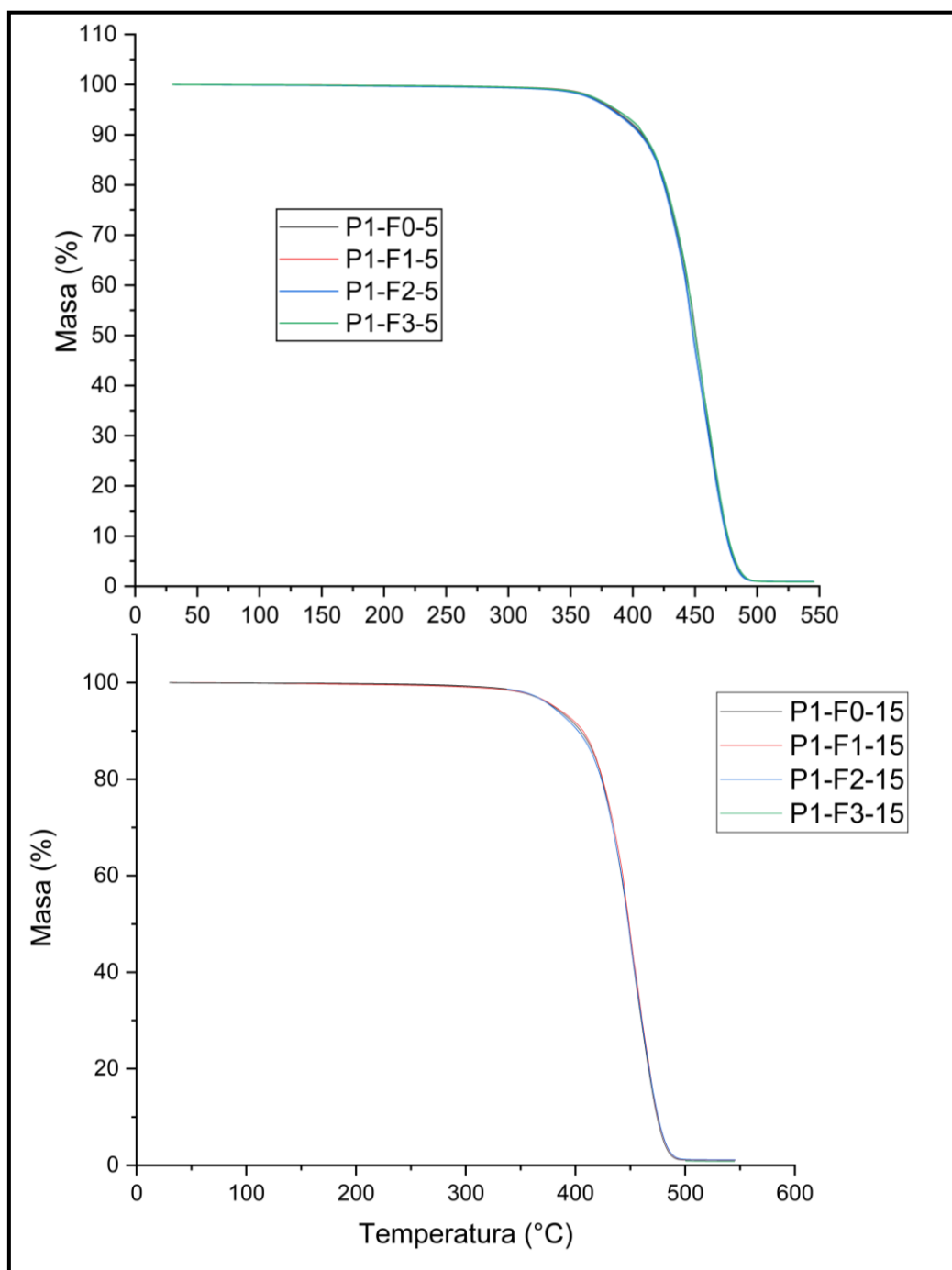


Figura 3.7 Curvas de masa TG vs. Temperatura, para los compuestos con bajo contenido de vinilos.

Para la evaluación en la pérdida de peso ilustrada en las figuras 3.7 y 3.8, se consideraron tres rangos aproximados de temperatura. Tomando en cuenta únicamente la pérdida de peso, los termogramas demuestran que, para el primer rango de temperatura (50-325°C), la pérdida de peso es similar para todas las muestras.

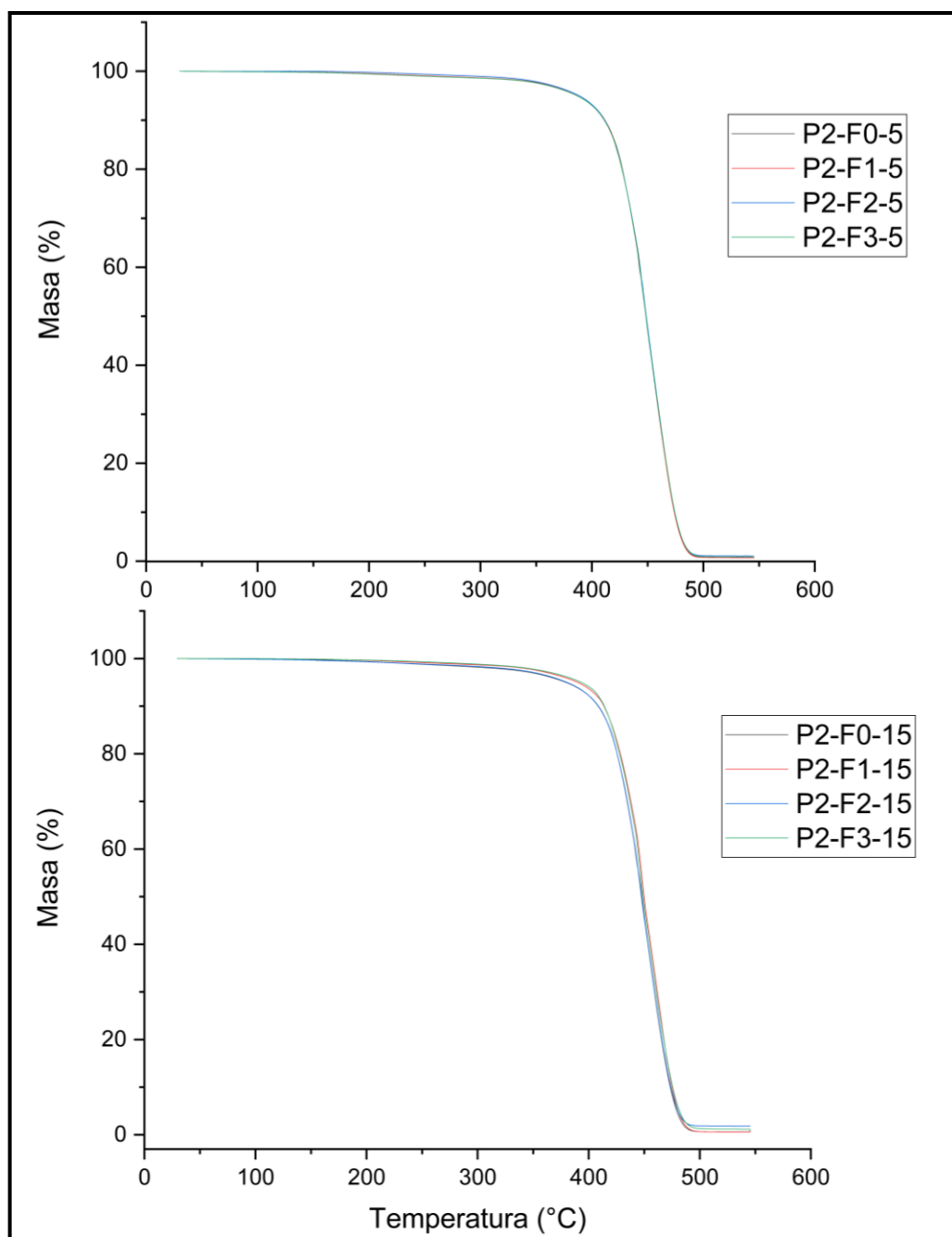


Figura 3.8 Curvas de masa TG vs. Temperatura, para los compuestos con alto contenido de vinilos.

En el segundo y tercer rango de temperatura (325-500°C y 500-550°C), todas las muestras presentan una pérdida de peso prácticamente uniforme. Al finalizar el análisis térmico, no se observa una diferencia aparente entre las muestras.

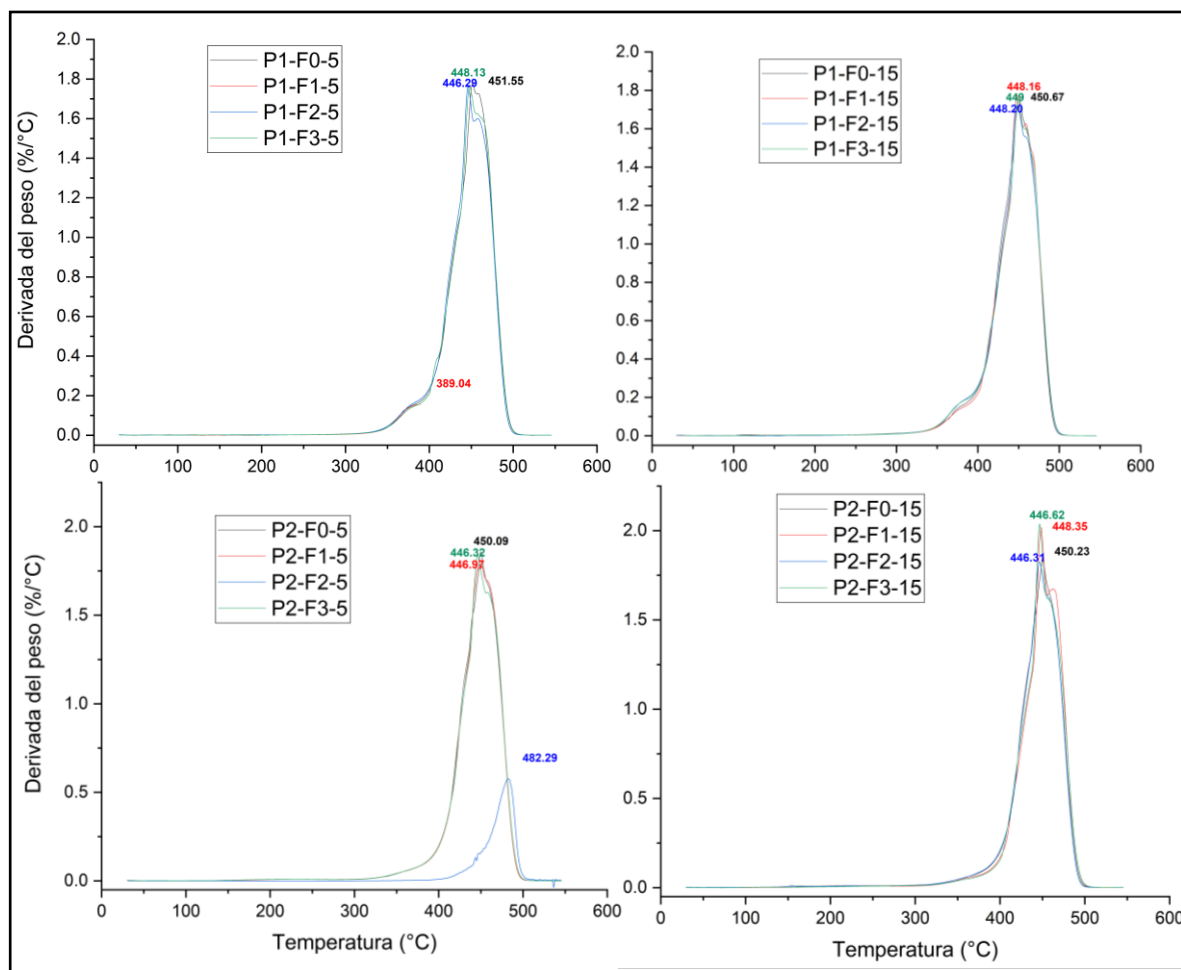


Figura 3.9 Curvas DTG vs. Temperatura, para los compuestos con bajo y alto contenido de vinilos.

No obstante, un análisis mayormente detallado de las curvas DTG revela ligeras, pero significativas diferencias entre las muestras en el segundo rango de temperatura (325-500°C), indicando en los experimentos realizados para ambos polímeros que las temperaturas de degradación y su estabilidad térmica son muy similares a 5 y 15 PHR, lo que sugiere que un mayor contenido de sargazo no cambia drásticamente la estabilidad térmica del material. A

mayor altura del pico, mayor es la velocidad de pérdida de peso en ese intervalo, como se observa en la figura 3.9 para las muestras P1-F0-5, P1-F1-15, P2-F0-5 y P2-F3-15.

En las DTG correspondientes al P2 - 5 PHR se observa una descomposición a una temperatura superior (482. 29 °C), lo que puede estar relacionado al contenido de SgP en el compuesto, indicando que a medida que aumenta la cantidad de partículas, la degradación se presenta de manera más homogénea. Esto sugiere una mejor interacción del sargazo como refuerzo dentro de la matriz. De igual manera, se observa tanto en P1-15 PHR como en P2-15 PHR una curva de degradación más uniforme, lo que sugiere mejor dispersión de las partículas por la homogeneidad térmica.

3.5 Análisis Dinámico Mecánico

El módulo de almacenamiento mide la rigidez elástica de un material, y su variación con la temperatura proporciona información relevante sobre las transiciones térmicas, como la transición vítrea (T_g). Las figuras 3.10 y 3.11 muestran el módulo de almacenamiento (E' , en MPa) en función de la temperatura (°C) para diferentes composiciones del material con P1 y P2 respectivamente; utilizando una escala logarítmica en el eje y, lo que ayuda a visualizar mejor las diferencias en el módulo de almacenamiento a lo largo de un amplio rango de temperaturas y rigidez.

En la figura 3.10 con el polímero SBS de bajo contenido de vinilos, se observa que en todas las formulaciones existe una disminución del módulo de almacenamiento a medida que la temperatura aumenta. Esto es típico de los materiales poliméricos, que tienden a volverse más flexibles y menos rígidos al incrementar la temperatura. Esta reducción puede deberse al incremento en la movilidad molecular del material. [54]

En el rango de aproximadamente -50°C a 25°C, se observa una caída significativa en el módulo de almacenamiento, indicando la región de transición vítrea (T_g) del bloque de butadieno de ambos polímeros. En esta región, el material cambia de un estado rígido (vítreo) a uno más flexible (gomoso). Las diferencias en la pendiente y la posición de esta caída entre las distintas curvas se deben a las variaciones en la formulación del material, como el contenido de SgP o la matriz polimérica HIPS/SBS utilizada.

A temperaturas más altas, pero aun moderadas (20-80°C) se puede presentar un aumento en amortiguamiento debido a la suavización adicional del bloque del PB.

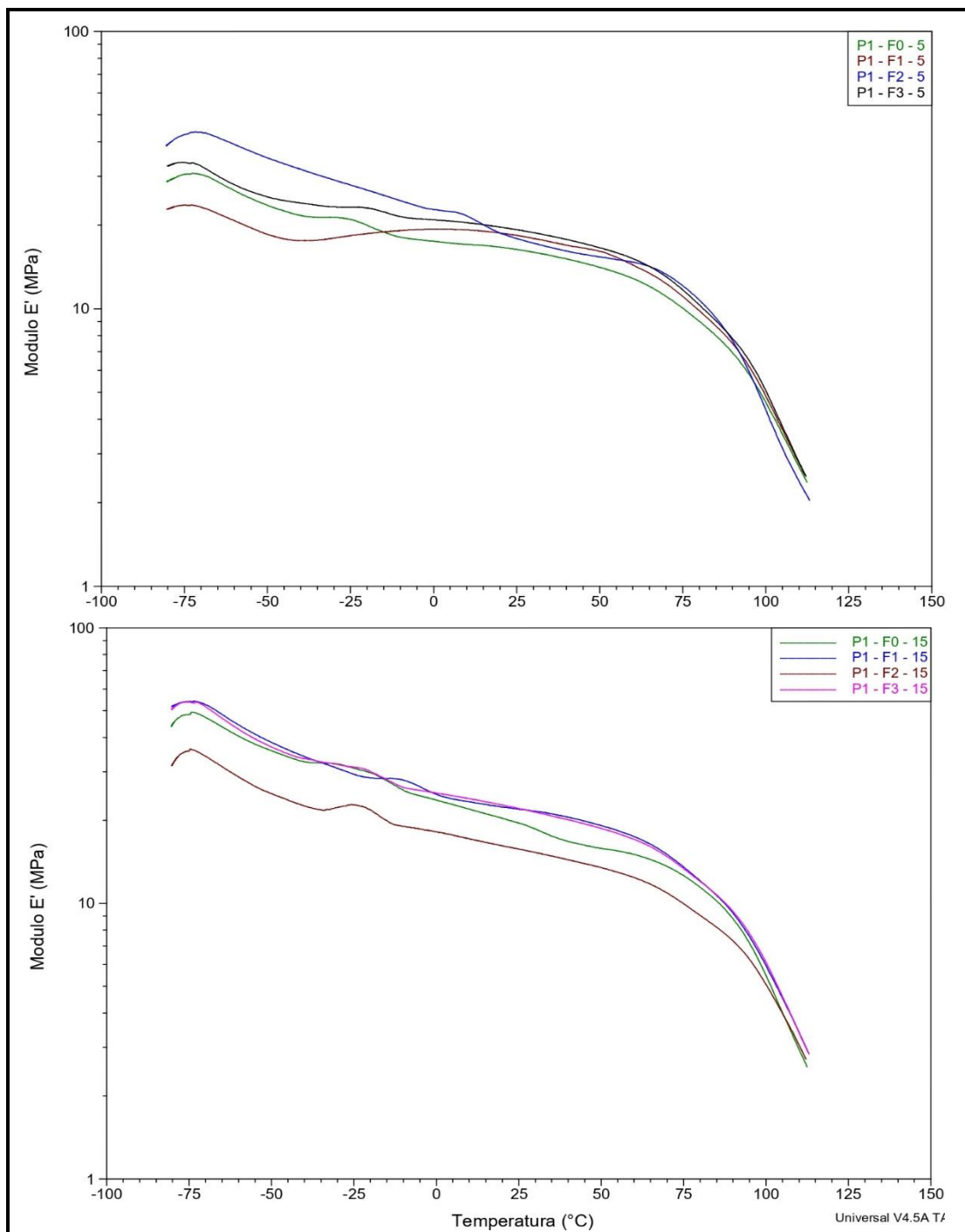


Figura 3.10 Curvas de módulo de almacenamiento para los compuestos de bajo contenido de vinilos.

Las curvas con un módulo de almacenamiento inicial más alto indican una mayor rigidez inicial, como es el caso de la F3-15, posiblemente debido a un mayor contenido de refuerzo o a una estructura más rígida del material. Las curvas en la región de bajas temperaturas parecen tener valores de módulo de almacenamiento ligeramente distintos entre ellas, lo que sugiere que la composición (probablemente el contenido de SgP) afecta la rigidez inicial del material. A medida que la temperatura se acerca a la región de transición vítrea, las diferencias entre las formulaciones pueden indicar variaciones en la resistencia del material a la pérdida de rigidez. Este gráfico sugiere que las variaciones en la formulación o en el contenido de SgP como refuerzo afectan la rigidez y el comportamiento térmico del material.

Por otro lado, en la figura 3.11 con el polímero SBS de alto contenido de vinilos, se observa que a temperaturas bajas (cerca de -100°C), los composites presentan altos valores de módulo de almacenamiento, lo que indica una rigidez considerable en esta región de bajas temperaturas. Las diferencias entre las curvas en esta región de alto E' sugieren que algunas composiciones tienen una rigidez inicial mayor que las otras, lo cual podría deberse a variaciones en el contenido de refuerzo o a las diferentes formulaciones.

Se observa una caída pronunciada en el módulo de almacenamiento a medida que la temperatura aumenta desde aproximadamente -75°C hasta 25°C , indicando la región de transición vítrea (T_g) del bloque butadieno. Las variaciones en la pendiente y el inicio de la caída entre las diferentes curvas sugieren que algunas formulaciones tienen una T_g ligeramente diferente, posiblemente debido a las fases de butadieno, estireno y a el alto contenido de vinilos junto con la cantidad o tipo de refuerzo añadido.

En la región de transición vítrea de la figura 3.11, el material pasa de un estado rígido a uno más flexible, perdiendo rigidez con el aumento de la temperatura. Después de la transición vítrea, las curvas tienden a estabilizarse, aunque con valores de módulo de almacenamiento mucho más bajos en comparación con la región inicial. Esto indica que el material se encuentra en un estado más gomoso, con una respuesta más elástica y menos rígida. La cercanía de las curvas en esta región sugiere que, aunque la composición afecta la rigidez a bajas temperaturas, el efecto es menor en la región de estado gomoso.

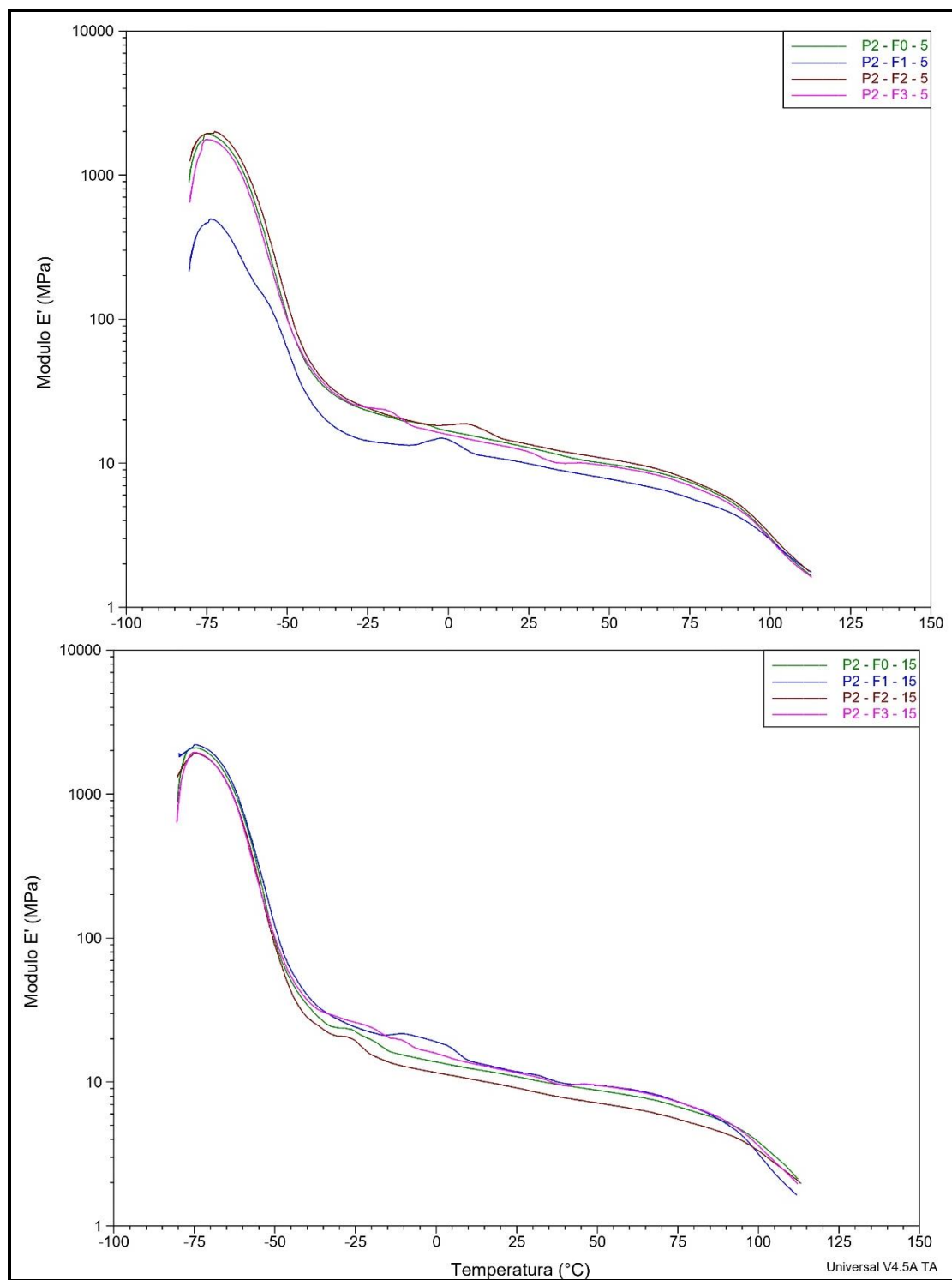


Figura 3.11 Curvas de módulo de almacenamiento para los compuestos de alto contenido de vinilos.

Esta figura (3.11) proporciona información valiosa sobre cómo varían las propiedades mecánicas de las distintas formulaciones o tratamientos al aumentar la temperatura. Los materiales con un mayor módulo de almacenamiento a bajas temperaturas son más rígidos, lo cual puede ser ventajoso para ciertas aplicaciones. La diferencia en el punto de inicio y la pendiente de la caída del módulo de almacenamiento en la región de transición vítrea puede ser crucial para seleccionar el material adecuado en función de la temperatura de operación.

El factor de pérdida $\tan \delta$ es una medida de la disipación de energía en el material y proporciona información sobre la transición vítrea (**Tg**) y la naturaleza viscoelástica del compuesto. La figura 3.12 muestra el comportamiento de la tangente δ en función de la temperatura para diversas formulaciones de un compuesto a base de polímero SBS con bajo contenido de vinilos, mezclado con HIPS y SgP como aditivo. Las curvas representan diferentes proporciones de aditivo en el compuesto, así como una variación en el contenido de SBS, con los sufijos 5 y 15 en la leyenda indicando las proporciones de SBS (5 PHR y 15 PHR, respectivamente).

Los picos en $\tan \delta$ para todas las formulaciones indican la temperatura de transición vítrea (Tg), donde el material cambia de un estado rígido (vítreo) a uno más elástico (gomoso). En general, los picos de las formulaciones con 5 PHR de SBS tienden a ser ligeramente más bajos en altura y ocurren a temperaturas más bajas que las formulaciones con 15 PHR de SBS. Esto sugiere que una mayor proporción de SBS (15PHR) aumenta la Tg del compuesto, haciéndolo más estable a temperaturas más altas. La altura del pico de $\tan \delta$ también indica el grado de amortiguamiento del material.

Las formulaciones con 15 PHR de SBS presentan un mayor amortiguamiento, lo que sugiere que disipan más energía en la región de Tg, probablemente debido a la mayor cantidad de fase gomosa proporcionada por el SBS.

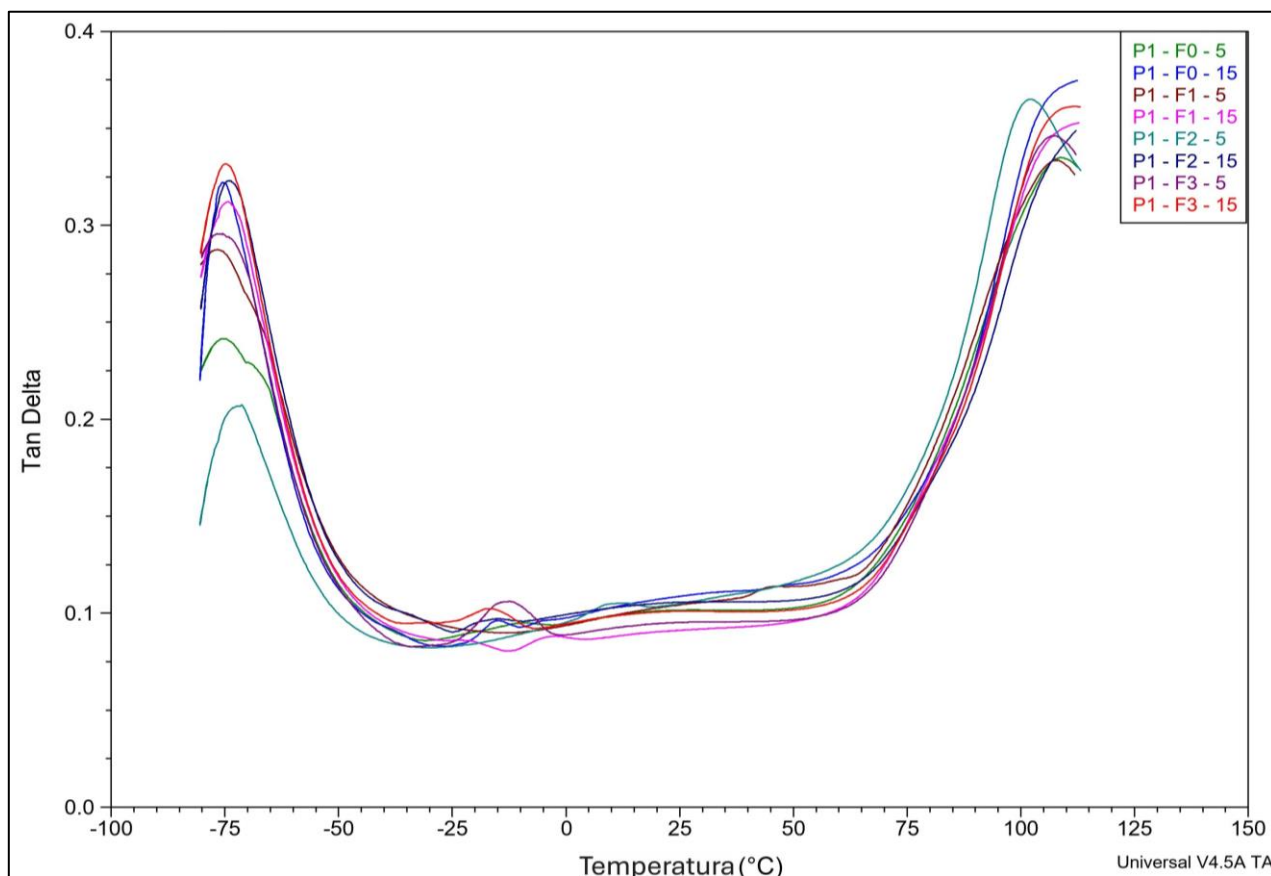


Figura 3.12 Curvas de $\tan \delta$ de los compuestos de HIPS/SBS de bajo contenido de vinilos reforzados con SgP.

En la región a bajas temperaturas (por debajo de -50°C), las formulaciones con 5 PHR de SBS muestran valores de $\tan \delta$ ligeramente más bajos, lo que indica una menor capacidad de disipación de energía y, por lo tanto, una mayor rigidez en esta región. Las formulaciones con 15 PHR de SBS presentan valores de $\tan \delta$ más elevados en esta región, lo cual indica que el compuesto es ligeramente más flexible y tiene mayor amortiguamiento debido a la mayor presencia de SBS, que actúa como fase elastomérica.

A temperaturas superiores a la T_g (aproximadamente por encima de 75°C), todas las formulaciones comienzan a aumentar en $\tan \delta$ debido a la mayor movilidad molecular del compuesto. Esto indica que el material se encuentra en una fase más gomosa.

La cercanía de las curvas en esta región indica que, a altas temperaturas, tanto las formulaciones con 5 PHR como con 15 PHR de SBS muestran comportamientos viscoelásticos similares, aunque las formulaciones con 15 PHR siguen siendo ligeramente más amortiguantes.

Finalmente, el diagrama 3.13 muestra el factor de pérdida ($\tan \delta$) en función de la temperatura para diferentes formulaciones de un compuesto que incluye SBS de alto contenido de vinilos, HIPS y aditivo de SgP, con las terminaciones 5 y 15 indicando proporciones de SBS en el compuesto.

Todas las curvas muestran un pico en $\tan \delta$ alrededor de -50°C , indicando la temperatura de transición vítrea (T_g) del material. La altura del pico de $\tan \delta$ es ligeramente mayor en las formulaciones con 15 PHR de SBS en comparación con las formulaciones con 5 PHR. Un pico de $\tan \delta$ más alto indica un mayor amortiguamiento, lo cual sugiere que las formulaciones con 15 PHR disipan más energía en la región de T_g , posiblemente por la mayor flexibilidad otorgada por el mayor contenido de SBS. La posición del pico es similar entre las formulaciones, lo que sugiere que la T_g no varía significativamente con el aumento del contenido de SBS de 5 a 15 PHR.

En la región de bajas temperaturas, antes de la transición vítrea, las formulaciones con 5 PHR de SBS muestran valores de $\tan \delta$ ligeramente menores, lo que indica menor amortiguamiento y una estructura más rígida en esta fase. Las formulaciones con 15 PHR tienen valores de $\tan \delta$ más altos en esta región, lo cual sugiere que estas muestras son más flexibles y disipan más energía incluso a temperaturas bajas. A temperaturas superiores a la T_g (cerca de $75-100^{\circ}\text{C}$), todas las formulaciones comienzan a aumentar de nuevo en $\tan \delta$, indicando un estado gomoso con mayor movilidad molecular.

Las curvas de las formulaciones con 5 y 15 PHR se acercan en esta región, mostrando comportamientos similares, aunque el incremento en $\tan \delta$ es ligeramente mayor en las formulaciones con 15 PHR, lo cual sugiere un mayor amortiguamiento en esta fase.

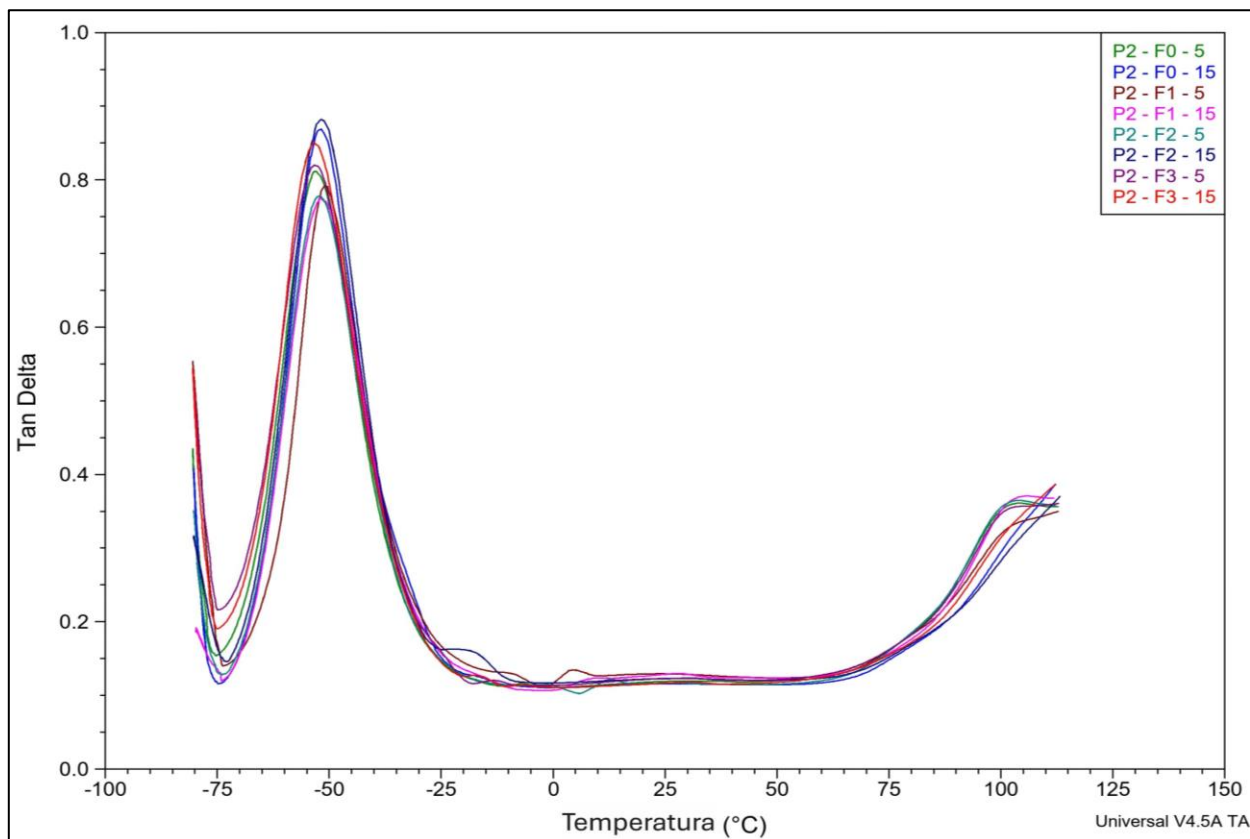


Figura 3.13 Curvas de $\tan \delta$ de los compuestos de HIPS/SBS de alto contenido de vinilos reforzados con SgP.

En resumen, para P2 las formulaciones con 15 PHR de SBS ofrecen mayor flexibilidad y amortiguamiento tanto en la región de transición vítrea como en la región de altas temperaturas, haciéndolas potencialmente más adecuadas para aplicaciones que requieren resistencia a la deformación y mayor disipación de energía. Mientras que, las formulaciones con 5 PHR de SBS son más rígidas y podrían ser preferibles en aplicaciones que demanden menor flexibilidad a bajas temperaturas.

3.6 Prueba de Índice de Fluidéz

Determinación de MFI por norma ASTM D1238-13 (Procedimiento A):

10 min = 600 seg

1 min = 60 seg

$$MFI = \frac{\text{Peso Final (gr)} * 10\text{min}}{\text{Tiempo (min)}}$$

$$MFI = \frac{\text{Peso Final (gr)} * 600\text{seg}}{\text{Tiempo (seg)}}$$

En la tabla 3.4 se encuentran enlistadas las mediciones obtenidas y los resultados encontrados de indice de fluidez para cada uno de los compositos SBS/HIPS-SgP y sus referencias HIPS/SBS. La nomenclatura de las muestras se menciona en el capitulo anterior.

Tabla 3.4 Resultados del indice de fluidez de compositos HIPS/SBS y SBS/HIPS-SgP medidos a 190°C y 5.0 Kg.

Muestra	Peso Inicial (gr)	Tiempo (min)	Peso Final (gr)	Indice de fluidez (gr/10min)
P1-F0-5phr	5.0511	3.04	0.1435	0.4720
P1-F1-5phr	4.9287	3.26	0.1606	0.4926
P1-F2-5phr	4.6867	3.09	0.1148	0.3715
P1-F3-5phr	5.7528	3.09	0.1369	0.4430
P1-F0-15phr	5.7115	3.04	0.2215	0.7286
P1-F1-15phr	5.0564	3.08	0.1823	0.5919
P1-F2-15phr	5.1274	3.06	0.1110	0.3627
P1-F3-15phr	5.6823	3.12	0.1400	0.4487

Para el polimero SBS-P2 (alto contenido medio de vinilos), no se considero en este ensayo puesto que no tuvo fluidez alguna. Por lo que se puede objetar que a pesar de sus ventajosos resultados en otras caracterizaciones, con las condiciones de SgP utilizadas en este proyecto no podria utilizarse favorablemente en otras aplicaciones para procesos de moldeo a modo de inyeccion o extrusion. Esto imputado al efecto de las SgP en las propiedades reologicas del P2 alterando la viscosidad del compuesto y a su vez influyendo en su capacidad de flujo y moldeo durante el procesamiento. [8][27]

En las siguientes figuras 3.14 y 3.15, a manera de resumen se aprecia las composiciones de los distintos compositos y su variacion en el MFI.

El contenido de SgP (particulas de sargazo) en los compositos P1 afecta de manera lineal el indice de fluidez, siendo el caso de los compuestos P1 a 5PHR observandose un aumento del 4% de su valor para el composito de F1 (5PHR) con respecto a su referencia y decreciendo para las siguientes concentraciones de SgP (Figura 3.14)

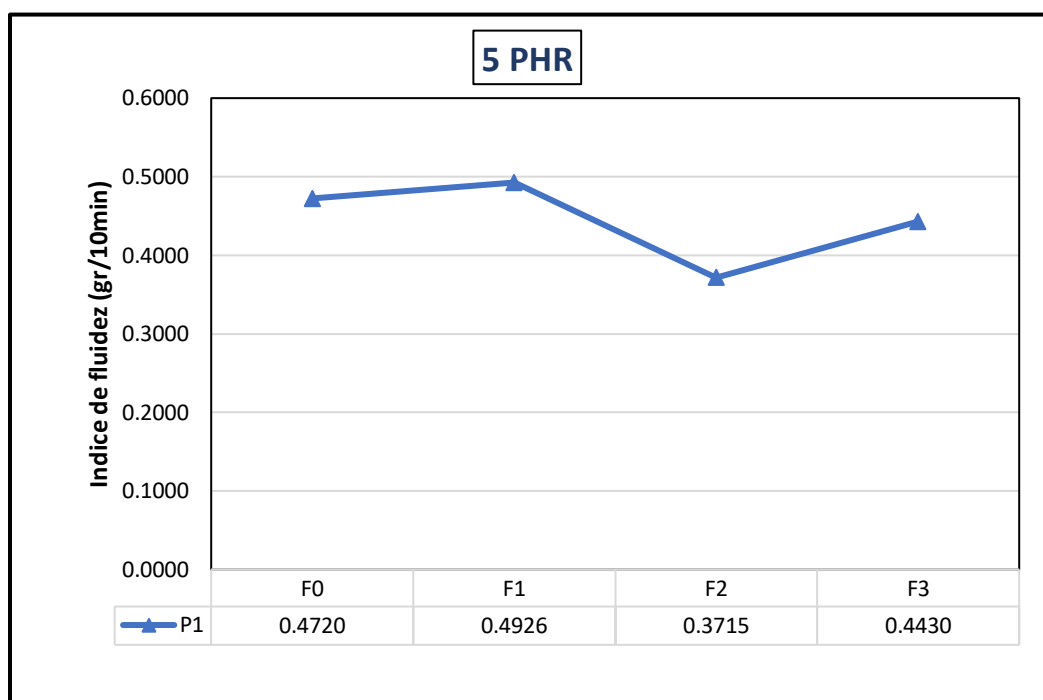


Figura 3.14 Analisis de indice de fluidez para compositos HIPS/SBS y SBS/HIPS-SgP con bajo contenido de vinilos, a 5PHR de concentracion de refuerzo.

Al examinar tambien los compuestos P1 a 15PHR correspondientes al polimero de bajo contenido de vinilos ilustrados en la figura 3.15, presentan una reduccion del MFI desde la F1 en comparacion al valor de referencia sin reforzar debido al aumento en las particulas de sargazo y a la nula interaccion de estas con el minimo contenido de vinilos.[28][29]

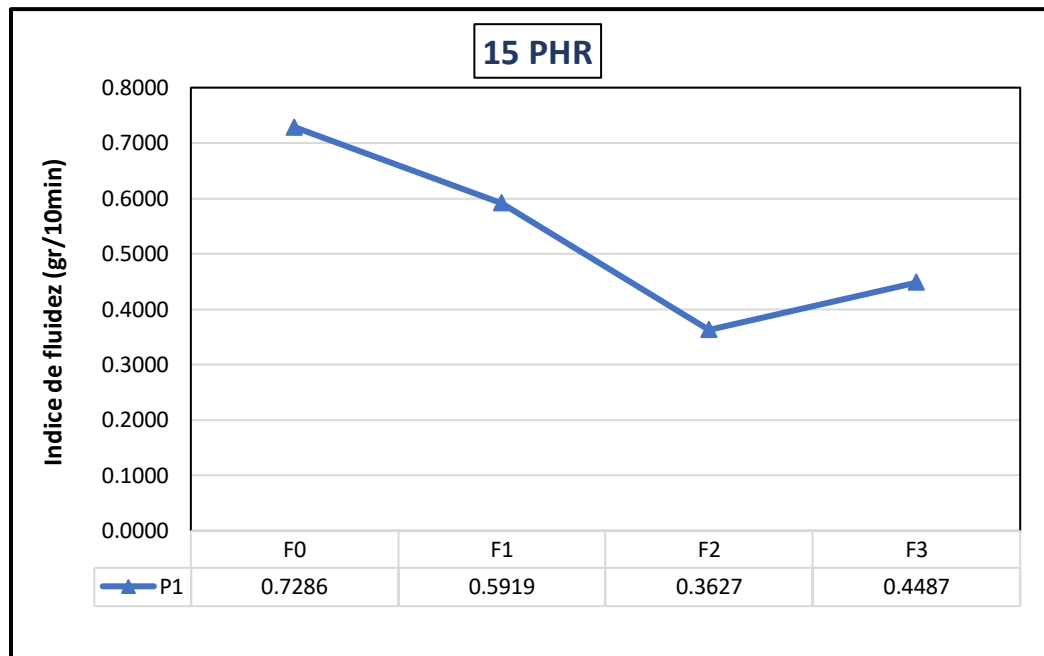


Figura 3.15 Analisis de indice de fluidez para compositos HIPS/SBS y SBS/HIPS-SgP con bajo contenido de vinilos, a 15PHR de concentracion de refuerzo.

3.7 Dispersión de Luz Dinámica

Los resultados de la caracterización de las partículas de sargazo (SgP) utilizadas para esta investigación, fueron analizados por dispersión dinámica de luz (DLS) mediante el software Kalliope, para determinar esencialmente el diámetro hidrodinámico (tamaño) y distribución de tamaños de las SgP suspendidas en glicerina.

Las determinaciones de tamaño promedio de las SgP se presentan en la figura 3.17 (bimodal pico 1, $51.75 \pm 5.16 \text{ nm}$; pico 2, $354.4 \pm 101.01 \text{ nm}$), con un diámetro hidrodinámico de 206 nm y un índice de polidispersidad (PDI) de 41.3% . Un PDI alto propone que la muestra de sargazo en suspensión tiene una alta variabilidad y considerable diversidad en el tamaño de las partículas presentes. El pico más alto en la figura 3.17 denota el tamaño de partícula preponderante en la muestra y una mayor cantidad de partículas en suspensión de ese tamaño específico o cercano a ese valor, apareciendo alrededor de los 50 a 60 nm . [30]

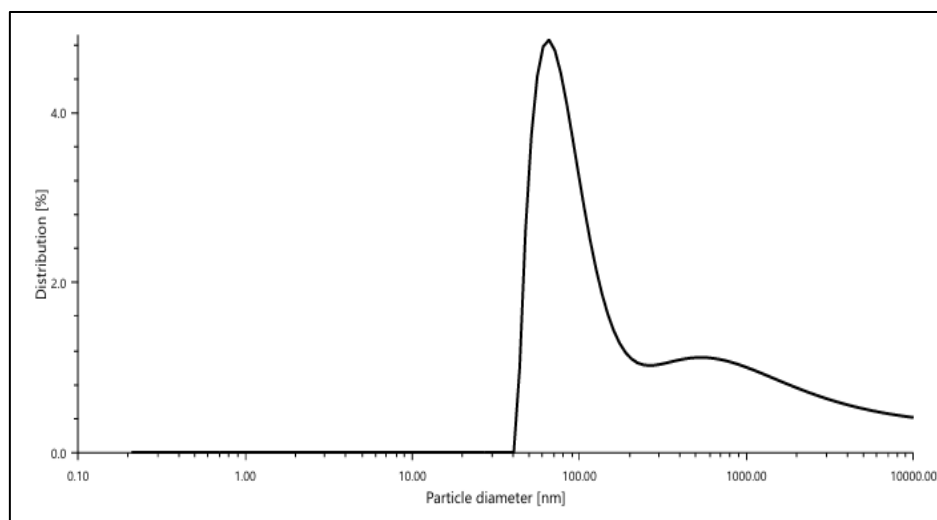


Figura 3.17 Distribución del tamaño de SP por intensidad.

La distribución señala que hay una diversidad de medidas de partículas existentes en la muestra, indicando que pese a que el pico principal está alrededor de 50 nm, también hay una disminución gradual sugiriendo la presencia de algunas partículas de mayor tamaño, como se puede observar por el segundo aumento en el diagrama, aunque este es menos pronunciado. De la misma manera, hay una ligera extensión hacia la izquierda, apuntando la presencia de partículas menores al tamaño promedio.

La forma de la curva de distribución no es proporcional, lo que insinúa que la muestra tiene una distribución polidispersa. Esto quiere decir que incluye partículas de distintas medidas en lugar de una sola medida uniforme, aunque la mayoría están alrededor del tamaño predominante; la presencia de varios picos o un alargamiento en la distribución indica la polidispersidad de las partículas. Esto es característico en muestras orgánicas y naturales, en las cuales el tamaño de las partículas no siempre es homogéneo. En relación con lo antes expuesto, el impacto del tamaño de partícula favorece un menor diámetro. [31]

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

Al analizar los resultados logrados en esta investigación, se pudo evaluar el efecto de las partículas de sargazo sobre las propiedades reológicas y mecánicas de la matriz polimérica SBS/HIPS.

Los análisis FTIR mostraron que los materiales compuestos presentan bandas características asociadas a las interacciones químicas entre las partículas de sargazo (SgP) y las matrices poliméricas. Se observó que las variaciones en la intensidad de las bandas en el rango de 910 cm^{-1} a 1702 cm^{-1} están relacionadas con el contenido de vinilos, lo que sugiere una interacción física significativa en las matrices con alto contenido de SBS.

La dispersión de las partículas de sargazo mejoró con la reducción del tamaño de las partículas, incrementando la homogeneidad y favoreciendo el entrelazamiento con la matriz SBS/HIPS. Sin embargo, concentraciones mayores de SgP mostraron una ligera aglomeración que podría comprometer la adhesión superficial y la distribución homogénea en la matriz.

Se destacó un aumento en la rigidez y resistencia a la deformación en compuestos con alto contenido de vinilos, particularmente en las formulaciones con 15 PHR. Los resultados del ensayo de tracción indicaron que la mayor tenacidad se obtuvo en las formulaciones P1 a 5 PHR, mientras que los compuestos P2 a 15 PHR presentaron una mayor ductilidad. El análisis ANOVA reveló que el contenido de vinilos en el SBS es el factor más influyente en el módulo de Young, seguido por la concentración de HIPS.

Los compuestos con alto contenido de vinilos presentaron una mayor estabilidad térmica, mientras que el incremento en la concentración de SgP produjo ligeras variaciones en la temperatura de descomposición, mejorando marginalmente la resistencia térmica.

Se identificaron transiciones vítreas (T_g) en los compuestos, con un aumento del módulo de almacenamiento en materiales con mayor contenido de vinilos. Las formulaciones con 15 PHR presentaron mejor amortiguamiento y flexibilidad en la región de T_g , siendo más adecuadas para aplicaciones donde se requiere una mayor capacidad de disipación de energía.

La distribución de tamaños de las SgP confirmó su naturaleza polidispersa, con tamaños predominantes alrededor de 50 nm y un segundo pico en 354 nm. Esta heterogeneidad podría influir en la uniformidad de las propiedades del compuesto.

Las partículas de sargazo impactaron negativamente en la fluidez de los compuestos, especialmente en aquellos con alto contenido de vinilos (P2), limitando su aplicación en procesos de moldeo por inyección o extrusión.

Finalmente, el estudio confirmó que el contenido de vinilos y la concentración de SgP juegan roles críticos en las propiedades mecánicas, térmicas y reológicas de los compuestos SBS/HIPS. Las formulaciones con 15 PHR y alto contenido de vinilos demostraron un balance óptimo entre rigidez, tenacidad y estabilidad térmica, posicionándolas como candidatas para aplicaciones exigentes en la industria automotriz, empaques, electrodomésticos, calzados técnicos o en construcción, por mencionar algunas.

No obstante, se recomienda para posteriores investigaciones orientadas al análisis de los comportamientos en las propiedades reológicas y mecánicas de una matriz polimérica modificada con refuerzo de fibras naturales, profundizar en la evaluación de estrategias para mejorar la interacción entre las SgP y la matriz, reduciendo aglomeraciones en concentraciones mayores de SgP y maximizando la fluidez para ampliar su aplicación en procesos de moldeo por inyección o extrusión, así como, para la confirmación de interacciones químicas entre las SgP y las matrices poliméricas.

También, analizar con detalle el tamaño y distribución específicas de la partícula sin aglomeraciones; hacer pruebas reduciendo la temperatura de procesamiento, trabajando en atmosfera inerte, añadiendo antioxidantes o reduciendo el tiempo de residencia en cada proceso para minimizar la oxidación de las cadenas poliméricas en los compuestos. Por último, secar las muestras en vacío o en horno a baja temperatura, antes de caracterizarlas para minimizar la existencia de humedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Anguiano, O. A. M., Galindo, A. S., Céspedes, R. I. N., Soriano-Corral, F., & Facio, A. C. (2022). *Polímeros reforzados con fibras naturales para su aplicación en la industria automotriz*. *Afinidad*, 79 (595), 237-247. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8685094>
- [2] Balam R. J. C., Duarte, S. A., & Canché, G. E. (2006). *Obtención y caracterización de materiales compuestos de fibras de la "piña" de henequén y polipropileno*. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 5(1), 39-44. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62009908>
- [3] Malkapuram, R., Kumar, V., & Negi, Y. S. (2008). *Recent Development in Natural Fiber Reinforced Polypropylene Composites*. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 28(10), 1169-1189. <https://doi.org/10.1177/0731684407087759>
- [4] Benini, K. C. C. C. (2011). *Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: HIPS / fibra de casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar*. (Tesis de maestría). Universidad Estadual Paulista (Unesp). Facultad de Ingeniería. Guaratinguetá. <https://bvs.fapesp.br/pt/dissertacoes-teses/85465/desenvolvimento-e-caracterizacao-de-compositos-polimericos-r>
- [5] Fuqua, M. A., Huo, S., & Ulven, C. A. (2012). *Natural Fiber Reinforced Composites*. *Polymer Reviews*, 52(3), 259-320. <https://doi.org/10.1080/15583724.2012.705409>
- [6] Tasdemir, M., & Miskioglu, I. (2016). *Friction and wear behaviors of HIPS/SBS polymer blends*. *International Journal of Materials, Mechanics And Manufacturing*, 4(2), 95-99. DOI: 10.7763/IJMMM.2016.V4.232
- [7] Martínez Reyes, E. (2022). *Efecto de la adición de partículas de coco modificadas químicamente sobre las propiedades termomecánicas en matriz polimérica con SBS*. (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico de Ciudad Madero. RI-TecNM.
- [8] García Castañeda, J. L. (2023). *Evaluación del comportamiento viscoelástico de compuestos reforzados con partículas de sargazo y SBS con diferente contenido de vinilos*. (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico de Ciudad Madero. RI-TecNM. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/7073>

- [9] Petrucci, R., Harwood, W., Herring, G. (2003). *Compuestos Químicos*. Química General. (pp. 65 - 69). Prentice Hall.
- [10] Akay, M. (2015). “*An introduction to polymer-matrix composites*”. (pp. 14). Schlumberger.
- [11] Ojeda, M. (2011). *Aditivos y rellenos para polímeros*. Tecnología de los Plásticos. <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/02/aditivos-y-rellenos-para-polimeros.html>
- [12] Ka Coverings. (2019). *¿Qué es un Composite?* | Revestimientos. <https://www.kacoverings.com/que-es-un-composite/>
- [13] Seymour, R. & Carraher, C. (1995). *Introducción a la ciencia de los polímeros*. Introducción a la Química de los polímeros. (pp. 1). Reverté.
- [14] López, C. F. (2005). “*Fundamentos de polímeros*” (pp. 1). Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Laboratorio de Organometálicos.
- [15] Billmeyer, F. (1995). *La ciencia de las macromoléculas*. Tecnología de los elastómeros, Tecnología de las fibras. Ciencia de los polímeros (pp. 3, 535-540, 515-532). Reverté
- [16] Varón, D. J., Bou, S. F., Gimeno, R. B., & Sanoguera, D. G. (2012). *Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos*. 3c Tecnología: glosas de innovación aplicadas a la pyme, 1(2), 2. <http://hdl.handle.net/10251/34263>
- [17] Mexpolimeros. (s. f.). *SBS copolímeros*. Polímeros termoplásticos, elastómeros y aditivos. <https://www.mexpolimeros.com/etp/sbs.html>
- [18] Ojeda, M. (2011). *Poliestireno*. Tecnología de los Plásticos. <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/poliestireno.html>
- [19] Seymour, R. B., & Carraher, C. E. (1995). *Introducción a la química de los polímeros*. Reverte.
- [20] Rodríguez, G. H. (s.f.). *Estudio de los Materiales Compuestos*. Ingemecánica. <https://ingemecanica.com/tutoriales/estudio-de-los-materiales-compuestos.html>

- [21] Lopez, C. F. (2005). Fundamentos de polímeros. Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química (EVEQ). DOI:10.13140/RG.2.1.2573.0000
- [22] Stupenengo F. (2011). *Materiales compuestos*. Materiales y materias primas. (pp. 7-16). Canal Encuentro. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. <https://www.inet.edu.ar/index.php/material-de-capacitacion/guias-didacticas/>
- [23] John, M. J., & Anandjiwala, R. D. (2008). Recent developments in chemical modification and characterization of natural fiber-reinforced composites. *Polymer Composites*, 29(2), 187-207. <https://doi.org/10.1002/pc.20461>
- [24] León D., Nuñez M. (2017). *Géneros de algas marinas tropicales de México: II Algas Pardas*. Universidad Autónoma de México. Pp 1 – 74
- [25] Uribe A., Guzmán A., Arreguin F., Cuevas E., *El sargazo en el Caribe mexicano, revisión de una historia impensable*. Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre. Instituto EPOMEX. Caps. 37 – 42
- [26] Sadhukhan, J., Gadkari, S., Martinez-Hernandez, E., Ng, K. S., Shemfe, M., Torres, E., & Lynch, J. (2019). *Novel macroalgae (seaweed) biorefinery systems for integrated chemical, protein, salt, nutrient and mineral extractions and environmental protection by green synthesis and life cycle sustainability assessments*. *Green Chemistry*, 21(10), 2635-2655. <https://doi.org/10.1039/c9gc00607a>
- [27] Barrios, V. A. E., Méndez, J. R. R., Aguilar, N. V. P., Espinosa, G. A., & Rodríguez, J. L. D. (2012). *FTIR - An Essential Characterization Technique for Polymeric Materials*. *Infrared Spectroscopy - Materials Science, Engineering and Technology*. doi:10.5772/36044
- [28] Lopez-Velazquez, M. A., Santes, V., Balmaseda, J., & Torres-Garcia, E. (2013). *Pyrolysis of orange waste: A thermo-kinetic study*. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 99, 170–177. doi:10.1016/j.jaap.2012.09.016
- [29] Abdul Khalil, H. P. S., Tye, Y. Y., Saurabh, C. K., Leh, C. P., Lai, T. K., Chong, E. W. N., Syakir, M. I. (2017). *Biodegradable polymer films from seaweed polysaccharides: A review on cellulose as a reinforcement material*. *Express Polymer Letters*, 11(4), 244–265. doi:10.3144/expresspolymlett.2017

- [30] Libretexts. (2020). *Infrared Spectra of Some Common Functional Groups*. Chemistry LibreTexts. [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Map%3A_Organic_Chemistry_\(Wade\)_Complete_and_Semesters_I_and_II/Map%3A_Organic_Chemistry_\(Wade\)/11%3A_Infrared_Spectroscopy_and_Mass_Spectrometry/11.05%3A_Infrared_Spectra_of_Some_Common_Functional_Groups](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Map%3A_Organic_Chemistry_(Wade)_Complete_and_Semesters_I_and_II/Map%3A_Organic_Chemistry_(Wade)/11%3A_Infrared_Spectroscopy_and_Mass_Spectrometry/11.05%3A_Infrared_Spectra_of_Some_Common_Functional_Groups)
- [31] Escobar, M. F. J. (2021). *Evaluación del comportamiento fisicoquímico y reológico en asfaltos modificados con sargazo*. (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico de Ciudad Madero. RI-TecNM
- [32] Camacho, M. D. E. (2020). *Estudio de las Propiedades de Especies Invasoras Vegetales para su Aprovechamiento en el Desarrollo de Materiales Sustentables*. (Tesis de Maestría). Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. Repositorio IPICYT. <https://repositorio.ipicyt.edu.mx/handle/11627/5447>
- [33] Oliveira, R. C., Hammer, P., Guibal, E., Taulemesse, J.-M., & Garcia, O. (2014). *Characterization of metal–biomass interactions in the lanthanum(III) biosorption on Sargassum sp. using SEM/EDX, FTIR, and XPS: Preliminary studies*. Chemical Engineering Journal, 239, 381–391. doi: 10.1016/j.cej.2013.11.042
- [34] Kannan, S. (2014). *FT-IR and EDS Analysis of the Seaweeds Sargassum wightii (Brown Algae) and Gracilaria corticata (Red Algae)*. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 3, 341-351.
- [35] Silva, T. M. A., Alves, L. G., Queiroz, K. C. S. de, Santos, M. G. L., Marques, C. T., Chavante, S. F., Leite, E. L. (2005). *Partial characterization and anticoagulant activity of a heterofucan from the brown seaweed Padina gymnospora*. Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 38(4), 523–533. doi:10.1590/s0100-879x2005000400005
- [36] Socrates, G. (2004). *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies: Tables and Charts*. (3rd Edition). John Wiley & Sons.
- [37] Elyakov, G. B., et al. (1967). *Halogenated carbohydrates from marine algae*. Tetrahedron Letters, 8(13), 1193-1196.

- [38] Jickells, T., Boyd, S., & Knap, A. (1988). *Iodine cycling in the Sargasso Sea and the Bermuda inshore waters*. Marine Chemistry, 24(1), 61-82. [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(88\)90006-0](https://doi.org/10.1016/0304-4203(88)90006-0)
- [39] Manley, S. L., & Dastoor, M. N. (1987). *Bromophenols in marine algae and their contribution to the oceanic bromoform*. Journal of Chemical Ecology, 13(6), 1341-1352.
- [40] Escobar, B., & Alonso, I. (2022). *Aprovechamiento de desechos hospitalarios para generación de energía limpia: una alternativa para la gestión de residuos*. (Tesis de maestría). Centro de Investigación Científica de Yucatán. <https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1003/2714>
- [41] González, J. (2021). *Degradación pirolítica de sargazo: Un estudio termocinetico*. (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional. DSpace Tesis IPN. <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/29413/1/Jose%20Eduardo%20Gonzalez%20Atriste.pdf>
- [42] Fang, J., Xuan, Y., & Li, Q. (2010). *Preparation of polystyrene spheres in different particle sizes and assembly of the PS colloidal crystals*. Science China Technological Sciences, 53(11), 3088-3093. <https://doi.org/10.1007/s11431-010-4110-5>
- [43] Luna, C. B. B., Araújo, E. M., Siqueira, D. D., De Souza Morais, D. D., Filho, E. A. D. S., & Fook, M. V. L. (2019). *Incorporation of a recycled rubber compound from the shoe industry in polystyrene: Effect of SBS compatibilizer content*. Journal Of Elastomers & Plastics, 52(1), 3-28. <https://doi.org/10.1177/0095244318819213>
- [44] Kumar, K. S., & Baskar, K. (2015). *Development of Ecofriendly Concrete Incorporating Recycled High-Impact Polystyrene from Hazardous Electronic Waste*. Journal Of Hazardous Toxic And Radioactive Waste, 19(3). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)hz.2153-5515.0000265](https://doi.org/10.1061/(asce)hz.2153-5515.0000265)
- [45] Sun, R., Fang, J., Goodwin, A., Lawther, J., & Bolton, A. (1998). *Fractionation and characterization of polysaccharides from abaca fibre*. En Carbohydrate Polymers, 37 (4), 351-359. [https://doi.org/10.1016/s0144-8617\(98\)00046-0](https://doi.org/10.1016/s0144-8617(98)00046-0).

- [46] Liu, J., Min, X., Zhang, X., Zhu, X., Wang, Z., Wang, T., & Fan, X. (2019). *A novel synthetic strategy for styrene-butadiene-styrene tri-block copolymer with high cis -1,4 units via changing catalytic active centres*. Royal Society Open Science, 6(6), 190536. <https://doi.org/10.1098/rsos.190536>
- [47] Canto, L., Mantovani, G., Azevedo, E., Bonagamba, T., Hage, E., & Pessan, L. (2006). *Molecular Characterization of Styrene-Butadiene-Styrene Block Copolymers (SBS) by GPC, NMR, and FTIR*. Polymer Bulletin, 57(4), 513-524. <https://doi.org/10.1007/s00289-006-0577-4>
- [48] Barrios, V. A. E., Petit, A., Pla, F., & Nájera, R. H. (2003). *Selective hydrogenation of butadiene-styrene copolymers using a Ziegler-Natta type catalyst*. Thermal properties. European Polymer Journal, 39(6), 1151-1167. [https://doi.org/10.1016/s0014-3057\(02\)00380-4](https://doi.org/10.1016/s0014-3057(02)00380-4)
- [49] Zeng, Y., Liu, Q., Zeng, Q., He, Y., & Xu, Z. (2021). *Research on the Mechanism of Interaction between Styrene-Butadiene-Styrene (SBS) and Asphalt Based on Molecular Vibration Frequency*. Materials, 14(2), 358. <https://doi.org/10.3390/ma14020358>
- [50] Stuart, B. H. (2004). *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. En Analytical techniques in the sciences. <https://doi.org/10.1002/0470011149>
- [51] Manals, C. E., Penedo M. M., & Giralt O. G. (2011). *Análisis termogravimétrico y térmico diferencial de diferentes biomasas vegetales*. Redalyc.org. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543773005>
- [52] Kaufmann, E. N. (2012). *Characterization of Materials*. 3 Volume Set. Wiley.
- [53] Ng, H. M., Saidi, N. M., Omar, F. S., Ramesh, K., Ramesh, S., & Bashir, S. (2018). *Thermogravimetric analysis of polymers*. En Encyclopedia of Polymer Science and Technology (pp. 1–29). Wiley. <https://doi.org/10.1002/0471440264.pst667>
- [54]. Martínez A. L. G. (2006). *Técnicas de análisis dinámico mecánico* (Tesis de especialización de Química aplicada). CIQA. ciqa.repositorioinstitucional.mx
- [55] Martín G. P., & Pliego, F. J. M. (1987). *Curso básico de estadística económica*. ISBN: 84-7288-142-3

[56] Victoria, M. B. L., & Sofía, R. Z. (2020). *Evaluación del potencial del uso de las algas de arribazón conocidas como Sargazo (Sargassum spp.)*. <https://repository.uamerica.edu.co/items/788ecce3-1fbf-4c19-ae0f-67f5db15b93b>

[57] Pacheco, O. R., & Ramos, C. M. G. (2023). *El sargazo y su posible uso como alternativa a los antibióticos*. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD). <https://www.ciad.mx/el-sargazo-y-su-posible-uso-como-alternativa-a-los-antibioticos/>

.

ANEXOS

TABLE 2 Standard Test Conditions, Sample Mass,^A and Testing Time^B

Flow Range, g/10 min	Suggested Mass of Sample in Cylinder, g	Time Inter- val, min	Factor for Obtaining Flow Rate in g/10 min
0.15 to 1.0	2.5 to 3.0	6.00	1.67
>1.0 to 3.5	3.0 to 5.0	3.00	3.33
>3.5 to 10	4.0 to 8.0	1.00	10.00
>10 to 25	4.0 to 8.0	0.50	20.00
>25	4.0 to 8.0	0.25	40.00

^A This is a suggested mass for materials with melt densities of about 0.7 g/cm³. Correspondingly, greater quantities are suggested for materials of greater melt densities. Density of the molten resin (without filler) may be obtained using the procedure described by Terry, B. W., and Yang, K., "A New Method for Determining Melt Density as a Function of Pressure and Temperature," *SPE Journal*, SPEJA, Vol. 20, No. 6, June 1964, p. 540 or the procedure described by Zoller, Paul, "The Pressure-Volume-Temperature Properties of Polyolefins," *Journal of Applied Polymer Science*, Vol 23, 1979, p. 1051. It may also be obtained from the weight of an extruded known volume of resin at the desired temperature. For example, 25.4 mm (1 in.) of piston movement extrudes 1.804 cm³ of resin. An estimate of the density of the material can be calculated from the following equation:

$$\text{resin density at test temperature} = M/1.804$$

where:

M = mass of extruded resin.

^B See 9.13.

TABLE X4.1 Suggested Test Conditions for Select Materials

Material	Temperatures	Weights
Acetals (copolymer and homopolymer)	190	1.05
	190	2.16
Acrylics	230	1.2
	230	3.8
Acrylonitrile-butadienestyrene	200	5.0
	220	10
	230	3.8
Acrylonitrile/butadiene/styrene/polycarbonate blends	230	3.8
	250	1.2
	265	3.8
	265	5.0
Cellulose esters	190	0.325
	190	2.16
	190	21.6
	210	2.16
Ethylenechlorotrifluoroethylene copolymer	271.5	2.16
	271.5	5.0
Ethylene-tetrafluoroethylene copolymer	297	5.0
Polyamide	235	1.0
	235	2.16
	235	5.0
	275	0.325
	275	5.0
Perfluoro(ethylenepropylene) copolymer	372	2.16
Perfluoroalkoxyalkane	372	5.0
Polycaprolactone	80	2.16
	125	2.16
Polychlorotrifluoroethylene	265	12.5
Polyetheretherketone (PEEK)	400	2.16
Polyether sulfone (PESU)	360	10
	380	2.16
Polyethylene	125	0.325
	125	2.16
	190	0.325
	190	2.16
	190	5
	190	10
	190	21.6
	250	1.2
	310	12.5
Polycarbonate	300	1.2
Polymonochlorotrifluoroethylene	265	21.6
	265	31.6
Polypropylene	230	2.16
Polyphenyl sulfone (PPSU)	365	5.0
	380	2.16
Polystyrene	190	5.0
	200	5.0
	230	1.2
	230	3.8
	343	2.16
Polysulfone (PSU)	250	2.16
Polyethylene terephthalate (PET)	285	2.16
Poly(vinyl acetal)	150	21.6
Polyvinyl chloride (PVC), rigid compound ^A	190	21.6
Poly(vinylidene fluoride)	230	5.0
	230	21.6
Poly(phenylene sulfide)	315	5.0
Styrene acrylonitrile	220	10
	230	3.8
	230	10
Styrenic Thermoplastic Elastomer	190	2.16
	200	5.0
Thermoplastic Elastomer-Ether-Ester	190	2.16
	220	2.16
	230	2.16
	240	2.16
	250	2.16
Thermoplastic elastomers (TEO)	230	2.16
Vinylidene fluoride copolymers ^B	120	5.0
	120	21.6
	230	2.16
	230	5.0

^AData has shown that greater repeatability and reproducibility when testing PVC can be obtained using Test Method D3364.

^BT_m = 100°C