



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

BIOCOMPOSITOS

[MATERIALES DE RESIDUOS URBANOS APLICADOS A LA ARQUITECTURA]

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN ARQUITECTURA

PRESENTA

CHRISTIAN IVET CIGARROA ESPINOSA

TUTOR

MTRO. EN ARQ. JORGE RANGEL DÁVALOS
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA. UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

DR. ALEJANDRO SOLANO VEGA
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA. UNAM

M. EN ARQ. ERNESTO OCAMPO RUÍZ
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA. UNAM

M. EN ARQ. FRANCISCO REYNA GÓMEZ
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA. UNAM

DR. JUAN LÓPEZ MARTÍNEZ
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

CIUDAD DE MÉXICO, NOVIEMBRE 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA
MAESTRÍA EN ARQUITECTURA.
CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA.



BIOCOMPOSITOS

[MATERIALES DE RESIDUOS URBANOS APLICADOS A LA ARQUITECTURA]

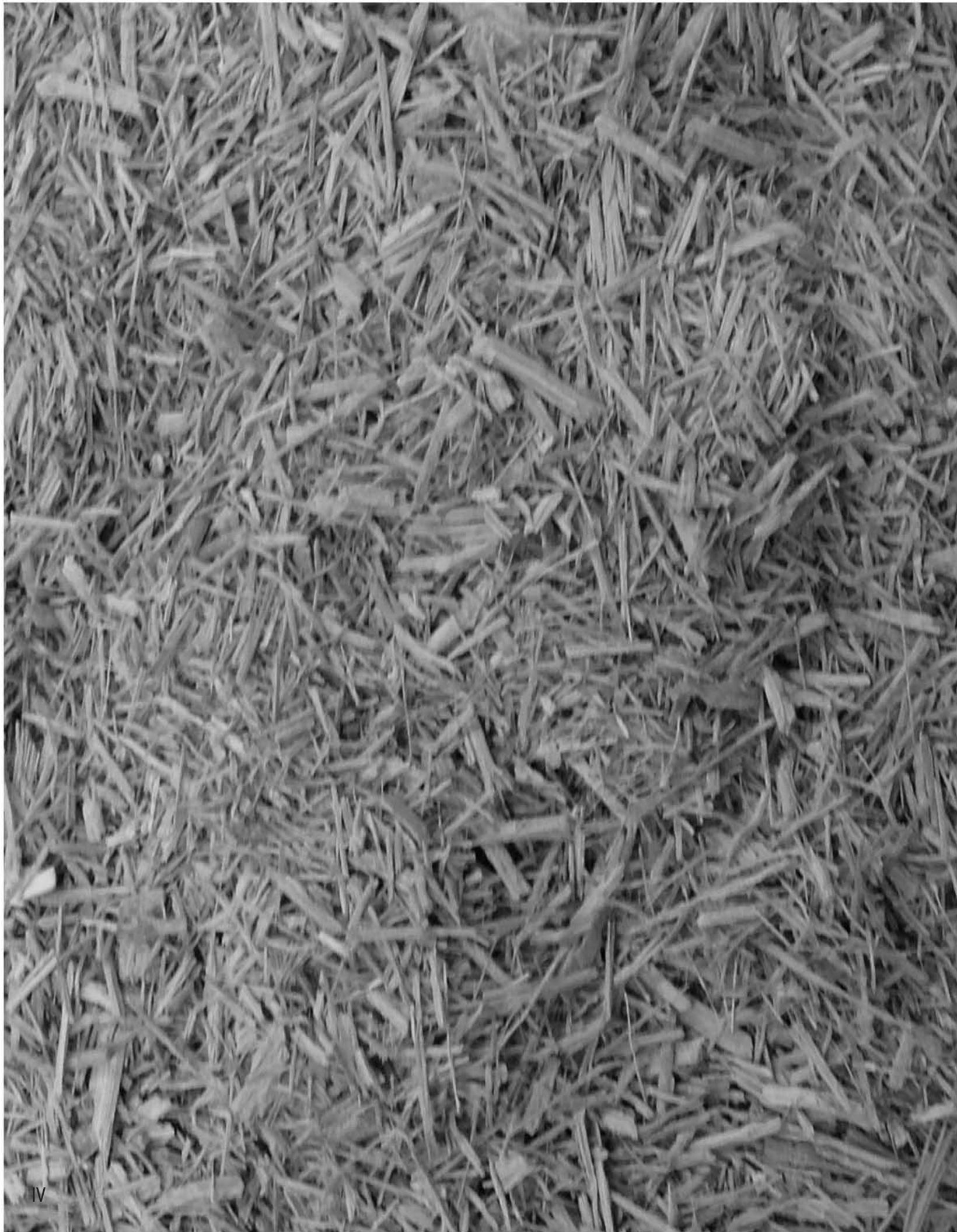
TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN ARQUITECTURA

PRESENTA:
ARQ. CHRISTIAN IVET CIGARROA ESPINOSA

DIRECTOR DE TESIS:
JORGE RANGEL DÁVALOS
MAESTRO EN ARQUITECTURA

SINODALES:
JUAN LÓPEZ MARTINEZ
DR. EN INGENIERÍA MECÁNICA Y MATERIALES
ALEJANDRO SOLANO VEGA
DR. EN INGENIERÍA
ERNESTO OCAMPO RUÍZ
MAESTRO EN ARQUITECTURA
FRANCISCO REYNA GÓMEZ
MAESTRO EN ARQUITECTURA

CDMX, MÉXICO 2017





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

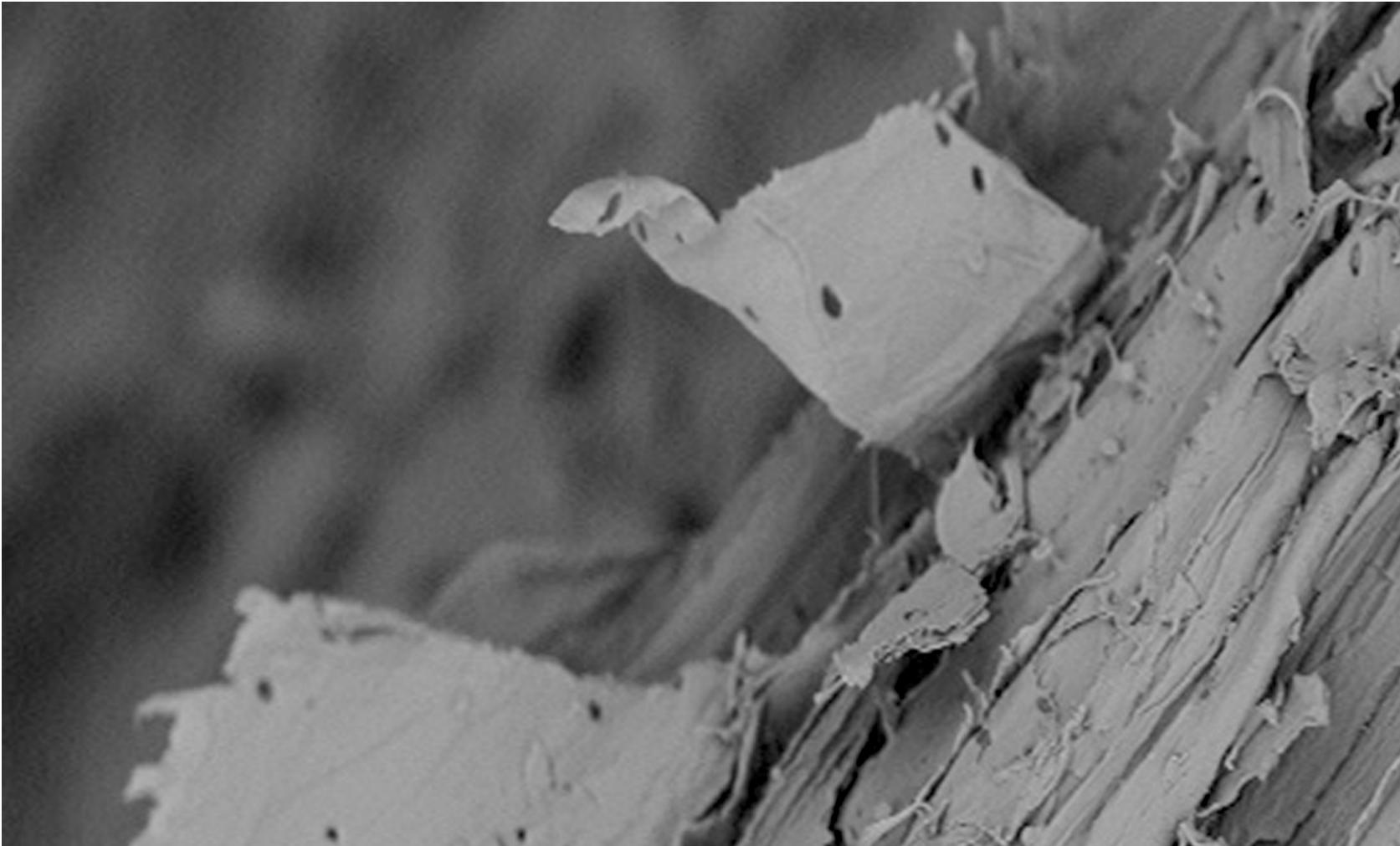
**PROGRAMA DE MAestrÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA
MAESTRÍA EN ARQUITECTURA, TECNOLOGÍA**

Tesis para optar por el grado de Maestra en Arquitectura, presenta:
Christian Ivet Cigarroa Espinosa

CDMX, MÉXICO, 2017



Imagen 02.Imagen de microscopia. Copyright ©



DIRECTOR DE TESIS:

JORGE RANGEL DÁVALOS
MTRO. EN ARQUITECTURA

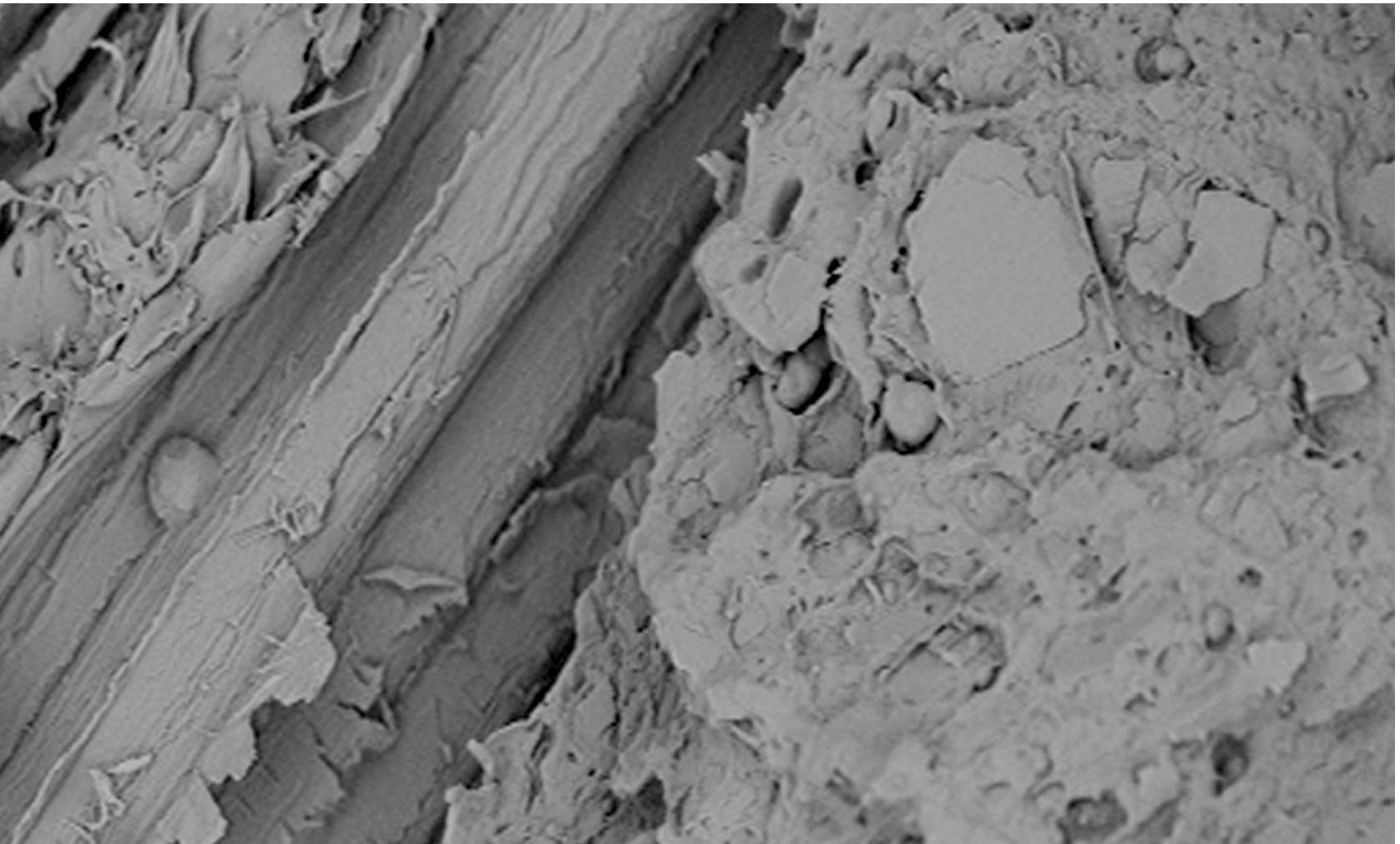
SINODALES:

ALEJANDRO SOLANO VEGA
DR. EN INGENIERÍA

ERNESTO OCAMPO RUÍZ
MTRO. EN ARQUITECTURA

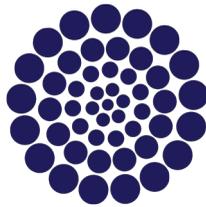
FRANCISCO REYNA GÓMEZ
MTRO. EN ARQUITECTURA

JUAN LÓPEZ MARTINEZ
DR. EN INGENIERÍA MECÁNICA Y MATERIALES





Al Instituto de materiales de la Universidad Politécnica de
Valencia Campus Alcoi por el apoyo otorgado.



CONACYT

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el
apoyo económico otorgado para la realización de
esta investigación

Al Maestro Jorge Rangel Dávalos, por apoyarme en todo momento durante esta maestría.

Al Maestro Rodrigo Rafael Pérez González, por su apoyo y guía desde el inicio hasta el final de esta investigación.

Al Doctor Zolothukin, por compartir su conocimiento conmigo.

Al Doctor Juan Lopez Martínez, por recibirme en la UPV sin dudar, y abrir las puertas de sus instalaciones.

A todo el equipo del Instituto de Materiales de la Universidad Politécnica de Valencia de Alcoy, Pelayo, Dani, Miguel, Alfredo, Nestor, Octavio, Rafa, indudablemente sin ustedes esta investigación no hubiera sido posible, gracias por compartir sus conocimientos y su valiosa amistad.

Agradecimientos

DIOS. ANSELMO. JUVENTINA.
JESÚS. MARHA. DIEGO.
JESÚS JR. MARIETT.
PORFIRIO. EVELIA. ERWIN.
SERGIO. LUIS EDUARDO.
GABY. LILIANA. EDGAR. ROX.
VIC. OSCAR PIÑA. RANGEL.
OCAMPO. SOLANO. REYNA.
JUAN LÓPEZ. ZOLOTHUKIN.
RODRIGO. PELAYO. DANI.
MIGUEL. NESTOR. OCTAVIO.
RAFA. RICARDO. ARA. CINTHIA.

A Dios, por darme la sabiduría y guía para concluir este trabajo llena de bendiciones.

A ti papá, Anselmo Cigarroa, por ser mi inspiración y ejemplo para querer cada día superarme, gracias por tu guía, tu amor, tu respaldo y apoyo en todas mis metas.

A ti mamá, Juventina Espinosa, por tu amor incondicional, tu apoyo, tu alegría y respaldo en cada nueva aventura.

A ti hermano, Jesus Cigarroa, por tus cuidados, tu apoyo y tu ejemplo.

A ti hermana, Marha Ramos, por tus ánimos en cada momento difícil y de celebración.

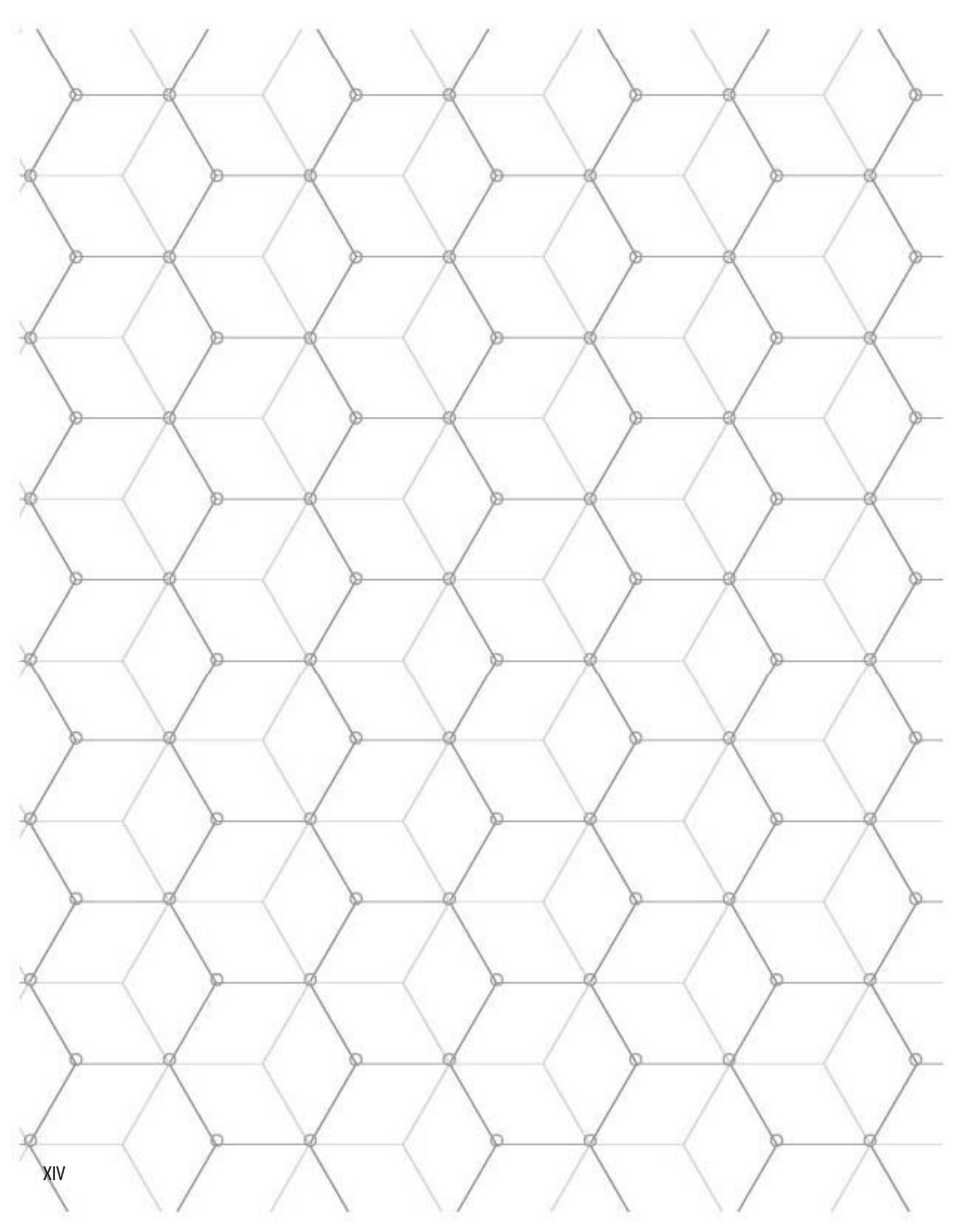
A ti hermano, Erwin Morales, por tu motivación y respaldo.

A todos mis amigos, por ser mi segunda familia, y tener su apoyo a lo largo de este proceso.

A tí Sergio, por estar ahí desde el principio, y tener tu apoyo incondicional en todo momento.

A ti Cole, que siempre aplaudías mis sueños y me alentabas a seguirlos, donde quiera que estes, a ti.

Agradecimientos



Indice

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

01 Consecuencias medioambientales del manejo de los materiales en la construcción.

Residuos Sólidos Urbanos como materiales aplicados a la arquitectura
Que son los RSU
Residuos Sólidos Urbanos
Métodos básicos para la disposición de Residuos Sólidos en las Ciudades
El reciclaje de Residuos Sólidos Urbanos
Materiales Alternativos como opción de calidad en la vivienda
Deforestación: causa de manejo inadecuado de los materiales
Madera en México
Deforestación en México, causas y consecuencias

01-09

02 Materiales Compuestos

Componentes de los materiales compuestos: definición
Concepto
Matriz
Refuerzo
Interfaz Matriz- Refuerzo
Propiedades generales de los materiales compuestos
Clasificación de los materiales compuestos
Biocompositos

11-23

03 Plásticos en la arquitectura

Los plásticos como materiales de construcción	
Definición	
Plásticos como basura	
Reciclaje de Plásticos	
Materiales Alternativos como opción de calidad en la vivienda	
Plásticos como matriz	
Plásticos Comodities	
Polipropileno	
Polipropileno como matriz en materiales compuestos	

25-31

04 Bambú en la arquitectura

Bambú como material de refuerzo	
Definición	
Descripción Morfológica	
Materiales compuestos reforzados con fibras de bambú	
bambú como Refuerzo	
Fibras de bambú	
Bambú Guadua Angustifolia	

33-37

05 Planificación y experimentación del proyecto

Planificación de la experimentación	
Definición del producto	
Obtención de la materia prima	
Generación del material compuesto	
Obtención de la mezcla	
Procesamiento de la mezcla	
Caracterización Mecánica y Morfológica del material compuesto	
Caracterización Mecánica	
Caracterización Morfológica	

40-95

06 Prototipo de Panel Divisorio

Definición del prototipo	
Definición	

98

Conclusiones

101-111

Conclusiones Generales

Conclusiones particulaes

Prospectiva

Indice de imagenes

Indice de Tablas

Anexos

introducción

Definición de la investigación

Uno de los problemas que actualmente vivimos como humanidad, es la contaminación al medio ambiente, que trae como consecuencia una falta de calidad de vida tanto del ser humano como de las diversas especies que habitamos la tierra. El resultado de esta contaminación se ve reflejado en la generación de los Residuos Sólidos Urbanos.

En el artículo 5° fracción XXXIII de la LGPGIR, 2015 se definen como RSU¹ a aquellos residuos generados en las casas habitación que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas de los productos que consumen y de sus envases, embalajes y empaques.

Como parte de estos residuos están los generados por la industria de la construcción, la cual genera día a día una sobre explotación de los recursos naturales, involucrando los diversos procesos empleados en la misma.

Existe una amplia gama de materiales tradicionales, pero pocas son las opciones de materiales nuevos que se ajusten a las demandas de un material tradicional de construcción que permita innovar en el diseño y además aporte soluciones para contrarrestar el deterioro ambiental y la generación de Residuos de la construcción y Demolición.

Según datos de la Cámara Mexicana de la industria de la construcción, se generan 6 millones de toneladas de RCD² lo que significa una generación diaria de 17,000 toneladas.

Las principales fuentes de generación de dichos materiales son los residuos provenientes de materiales de excavación con un 39% de concreto y prefabricados con un 25%, escombros con un 24%; de los cuales se estima que actualmente solo el 4% de los RCD que se generan son aprovechados, 3% en reciclaje y 1% en reúso. (CMIC, 2012)

Para dar respuesta a la problemática existente es importante prevenir la generación de estos residuos con sistemas que minimicen, reciclen y aprovechen los mismos.

El sector de la industria de la construcción tiene uno de los más altos consumos de materiales obtenidos de la litosfera. La edificación y la infraestructura consumen entre el 45% y el 60% de los materiales extraídos los cuales originan la mitad de emisiones de CO₂ vertidos en la atmósfera.

Por otra parte, el plástico es un material que siempre ha tenido presencia en la construcción, y que conforma el 11% de consumo en esta área según datos del IMPI³ y cada vez es mayor el número de propuestas de materiales plásticos aplicados en este sector.

La generación de Plásticos como RSU es cada vez mayor; los plásticos representan el 11% de los RSU en México según datos de la SEMARNAT⁴. Por tal motivo es vital la necesidad de aportar soluciones que apoyen la disminución o aprovechamiento de estos recursos.

Hoy hay un nicho de oportunidad en los materiales alternativos adaptables a la demanda de la industria de la construcción en cuanto a disponibilidad, calidad en la elaboración y producción eficiente.

En este sentido el bambú es un material utilizado en la construcción directamente como materia prima, potencialmente industrializable y explotable por sus diversas cualidades como fibra de refuerzo.

Es uno de los materiales con alto grado de producción, teniendo un periodo muy corto de desarrollo para su utilización.

Mientras un roble necesita 70 años para su disponibilidad dentro de la industria maderera, un bambú a los 6 años ya puede ser empleado; además de traer beneficios mediambientales como gramínea, pues absorbe un 30% más CO₂ que los árboles y es un agente de refuerzo en materiales compuestos que sustituye parcialmente las fibras sintéticas.

Como respuesta al aprovechamiento de los materiales de desecho como materiales aplicados a la arquitectura, surge la propuesta de generar un material que no solo ayude a la disminución de residuos sólidos en el país, si no también pueda innovar y producir un nuevo material compuesto aplicado a la arquitectura elaborado a base de plástico reciclado y fibras naturales.

1 RSU: Residuos Sólidos Urbanos

3 IMPI: Instituto Mexicano del plástico

4 SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales





Imagen 03. Imagen de microscopía. Copyright ©

Objetivos

Objetivo principal

Realizar un material de PPR y BGA para ser empleado como material de construcción como parte de un sistema constructivo

Objetivos particulares

Elaborar un material con plástico reciclado y fibras de bambú, que aprovechando las ventajas del mismo:
Proporcione acabados finales.

Logre tener propiedades acústicas y térmicas adecuadas para espacios interiores.

Se plantee el modelo formal adecuado para una aplicación modular que proporcione libertad de diseño en el espacio





Imagen 04. Fibra de bambú. Copyright ©

01

[Consecuencias medioambientales del manejo de los materiales en la construcción]



RSU

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS COMO MATERIALES APLICADOS A LA ARQUITECTURA

Qué son los RSU?

Los Residuos Sólidos Urbanos "Son aquellos Residuos generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes y empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por la ley como residuos de otra índole".(Artículo 5º, fracción XXX de la LGPGIR,2006).

Este concepto, que en términos generales coincide con el de basura doméstica y comercial usual, es uno de los fenómenos que más impacto tiene sobre el medio ambiente y sus recursos.

Al hacer la disposición final de los RSU, y debido tanto al gran volumen generado como al hecho de que en diversas ocasiones no se cumple con los estándares y normas al respecto, se hace una afectación al medio ambiente.

Esto puede implicar, entre otras situaciones, graves problemas en materia de salud pública, utilización de espacios y recursos, además de mayor contaminación ambiental, por mencionar algunas. (Mendoza Ramirez, Contreras Cristán, & Gutiérrez Peña, 2014)



Imagen 05. Basura en el mundo. Copyright ©

Residuos de Construcción y Demolición.

En el proceso de generación de RCD¹, los constructores son la parte más visible, aun que, sólo representan un eslabón de la cadena de valor de este sector productivo, dado que de manera natural es a quien se atribuye la mayor responsabilidad (CMIC, 2012).

Según datos publicados por la Cámara de la Industria de la Construcción, en su Plan de Manejo de Residuos de la Construcción y Demolición, existirá de 2014 a 2018 un crecimiento

de la industria de la construcción de 5.0% promedio anual; con una generación estimada de residuos de 9.9 millones de toneladas para el año 2018, siendo 27,000 ton/día aproximadamente.

La problemática de la generación de RCD se origina desde la concepción de los materiales de construcción, su periodo de vida útil y su capacidad de reutilizarse o reciclarse.

Una labor urgente hoy en día, es la creación de dichos materiales, tomando en cuenta, aparte de su eficiencia y utilidad en la construcción, es en la huella ecológica que originan.

¹ RCD. Residuos de la Construcción y Demolición, CMIC.



Problemas medioambientales generados por el manejo de los residuos de la construcción y demolición.

El manejo inadecuado, en la disposición final de los Residuos de Construcción y Demolición, ha contribuido a generar diversos problemas medioambientales, de imagen urbana y salud, presentados a continuación:

- Obstrucción de arroyos
- Afectación al drenaje natural
- Azolve de las partes bajas e inundaciones de zonas aledañas en temporadas de lluvias.
- Afectación al medio físico y medio biótico (flora y fauna).
- Focos de contaminación por mezcla de residuos, incluso peligrosos.
- Contaminación del suelo y subsuelo e incluso de acuíferos.
- Afectación de zonas de recarga de agua subterránea.
- Impacto visual del entorno.
- Proliferación de polvo.
- Proliferación de fauna nociva.

Según la CMIC, esta problemática puede permitir fomentar la prevención en la generación de los RCD, con la promoción e impulso de sistemas de minimización, En Latinoamérica no se recolecta la totalidad de los desechos sólidos generados y solo una parte de estos recibe una disposición final adecuada, lo que provoca una contaminación ambiental y con ello riesgos para la salud humana.



Imagen 06 Basura en el mundo. 2 Copyright ©

El reciclaje representa una opción más deseable que la disposición masiva de desechos en basureros o rellenos sanitarios. Sin embargo, pocos programas oficiales de reciclaje existen en la región (Medina,1999) ¹ Los desechos siempre han sido parte de la sociedad humana, como resultado de los procesos de producción y consumo, que en la actualidad se agudiza cada vez más. Al final, los recursos naturales obtenidos de la tierra, se convierte en basura, desperdicios o residuos. Conforme la población ha ido aumentando, y los asentamientos humanos se han vuelto permanentes, este problema se ha ido agudizando.

Métodos básicos para la disposición de Residuos Sólidos en las ciudades Antiguas.

Base histórica

En la antigüedad las ciudades llevaban a cabo tres métodos básicos para la disposición de residuos sólidos. El primer método era arrojar sus desechos en el suelo de las casas o de las calles; lo que posteriormente trajo consigo el aumento de nivel de las calles; como es el caso de Nueva York, que en la actualidad se encuentra cuatro metros más alto que en el siglo XVII (Ratje, 1990)² .

El segundo método fue en el que se recolectaron los desechos, y se transportaron fuera de la ciudad, los griegos crearon los primeros basureros “municipales” conocidos en el mundo occidental. Cerca del año 500 a.C. se promulgó en Atenas una ley que exigía llevar los residuos sólidos generados por sus habitantes a por los menos una milla fuera de las murallas de la ciudad (Medina, 1999).

¹ Medina, M. (1999). Reciclaje de desechos sólidos en América Latina. Tijuana: Colegio de la Frontera Norte
² W. Rathje, “The History of Garbage”, en Garbage Magazine, septiembre-octubre de 199.

El tercer método, es el que incluye la recuperación y el uso productivo de los desechos, reutilizándolos. El ejemplo más cercano lo tenemos en México prehispánico donde estaba prohibido tirar basura en las calles, y es contaba con personal encargado de barrer, y se penalizaba en caso de faltar a la regla. Los aztecas tenían un proceso de reciclaje continuo. (Vizcaino,1975) ¹

El Reciclaje de Residuos Sólidos Urbanos

Actualmente, el tratamiento de los residuos sólidos urbanos es un tema que nos compete a todos y que se ha convertido en un problema serio en las ciudades. En nuestro país, el tratamiento y los métodos para la disposición final de residuos², su transformación y aprovechamiento son insuficientes e ineficientes, lo que hace que las ciudades se saturan de los mismos y provoquen alta contaminación al medio ambiente.

El problema de los RSU en México es muy grande, como parte del Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (PNPGIR) 2009-2012 se reportó la generación de 94,800 toneladas anuales, cuya composición aproximada es 53% de residuos orgánicos y 47% de inorgánicos: de estos últimos, el 28% es potencialmente reciclable y el 19% corresponde a residuos no aprovechables. Se estima que para el 2015 se generaron 22% más RSU, sin considerar el aumento poblacional.

Los materiales que mayormente se reciclan en la actualidad son generalmente inorgánicos, como plástico, aluminio, fierro y vidrio. (Ramírez Castillo y Cuatutle, 2013). El PNPGR menciona que se recolecta el 87% de los residuos generados, de los cuales, el 64% se envía a rellenos sanitarios y el 21% a sitios controlados; el resto de los residuos se deposita en tiraderos a cielo abierto o en sitios sin ningún control.

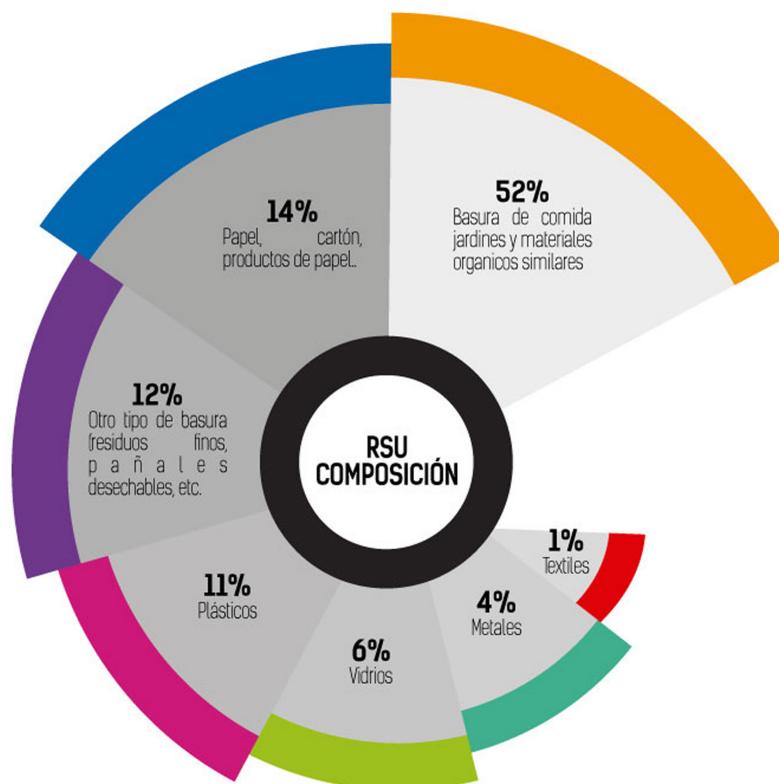


Tabla 1 Composición de los Residuos Sólidos Urbanos

¹ M. F. Vizcaino, La contaminación en México, México, Fondo de Cultura Económica, 1975

² Disposición final de residuos. Acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos. SEMARNAT, 2010

Materiales Alternativos como Opción de Calidad para la vivienda.

Uno de los principales problemas que enfrenta la vivienda en México es la calidad tanto en sus materiales, como en la elaboración y diseño de la misma, para lograr un espacio habitable.

La Secretaría Hipotecaria Federal (SHF) establece que la calidad de una vivienda se mide con base en tres criterios: Hacinamiento¹, servicios básicos² y materiales³, especificando que los materiales elaborados con materiales de desecho, lámina de cartón, carrizo, bambú, palma, entre otros, son considerados materiales inadecuados; en este caso no especifica ni se enfoca en establecer parámetros tales como aplicaciones del material en la vivienda, calidad de elaboración en la aplicación de los materiales, y confort térmico de los mismos, por lo que la descripción de calidad de vivienda conforme a estos tres criterios es insuficiente.

Por otro lado enfocándonos en el área de materiales aplicados a viviendas del ICAVI⁴ (Índice de calidad de la vivienda), no se menciona ni establece un parámetro de calificación para los materiales aplicados a la misma.

Uno de los mayores problemas a los que se enfrenta la industria de la construcción, es el uso indiscriminado de materiales que no son elegidos ni estudiados tomando en cuenta aspectos de responsabilidad ambiental, calidad, vida útil, explotación de materias primas, reciclaje, generación de residuos y producción local; empleando materiales, en muchas ocasiones con un alto grado de impacto medioambiental, con poco aporte de confort a la vivienda, y alta generación de residuos en su elaboración, aplicación y al final de su vida útil, siendo un potencial productor de RCD.

La construcción y el uso de edificios suponen el consumo de 50% de los recursos naturales, 40% de la energía y el 16% del agua, lo que representa un consumo energético responsable por la generación de más de 25% del total de los gases que promueven el calentamiento global, sobre todo dióxido de carbono. (Gauzin-Muller,2002)

La Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), presenta en una publicación informativa de la subsecretaría de prospectiva, planeación y evaluación, publicada en julio del 2011, una serie de características que califican si una vivienda es de calidad o no; y al igual que la SHF, descartan materiales tales como el bambú como materiales de calidad en una vivienda. Sin embargo, no ofrece una descripción justificada de los materiales descartados y se enfoca en describir como materiales de calidad aquellos que cuentan en su mayoría con un proceso industrial.

1 Cuando se tiene más de 2.5 personas por cuarto en la vivienda

2 Agua, drenaje, electricidad y combustible para cocinar.

3 Son considerados materiales inadecuados: material de desecho, lámina de cartón, carrizo, bambú, palma, barro o bajareque y pisos de tierra.

4 Es la medida que refleja las características de calidad de la vivienda; se obtiene del evalúo para otorgar el crédito Infonavit. Se ha diseñado, el sistema de evaluación, considerando un proceso de mejora en el que manera gradual se irán incorporando todos los aspectos relevantes en cuestión de sustentabilidad de las viviendas.



ROBLE: 70 AÑOS
CRECIMIENTO
BAMBÚ: 6 AÑOS



DEFORESTACIÓN: CAUSA DE MANEJO INADECUADO DE LOS MATERIALES

En nuestro país la importancia de los bosques como pulmones es notorio, por lo que el aumento de las tasas de deforestación en los mismos trae consecuencias de gran impacto que perjudican al cambio climático, la pérdida de la biodiversidad, la degradación de los suelos, mucho más grado de contaminación en nuestras ciudades, entre otros.

Según datos obtenidos en la CONAFOR¹ nuestro país pierde 155 mil hectáreas cada año, estimándose que de 2005 a 2010 se tuvo una pérdida de 775 mil hectáreas de bosques y selvas en todo el país, según datos de la evaluación de los Recursos Forestales Mundiales.

La pérdida de bosques según Contreras-Hermosilla se debe a la pérdida de bosques es un proceso complejo que no puede atribuirse a una simple relación causa-efecto ni tampoco puede asumirse que las relaciones causa - efecto permanecerán inalteradas a lo largo del tiempo. Dependiendo del contexto y de las circunstancias específicas, un mismo fenómeno puede tener efectos opuestos en los bosques. Sin embargo la relación que tienen las causas de la deforestación en muchas ocasiones se presentan fuera del sector forestal.

Existen factores externos que potencializan la deforestación, uno de ellos es el empleo de la madera como material de construcción, que trae consigo el crecimiento de las ciudades y la necesidad de requerir un territorio.

)

CAUSAS DE LA DEFORESTACIÓN

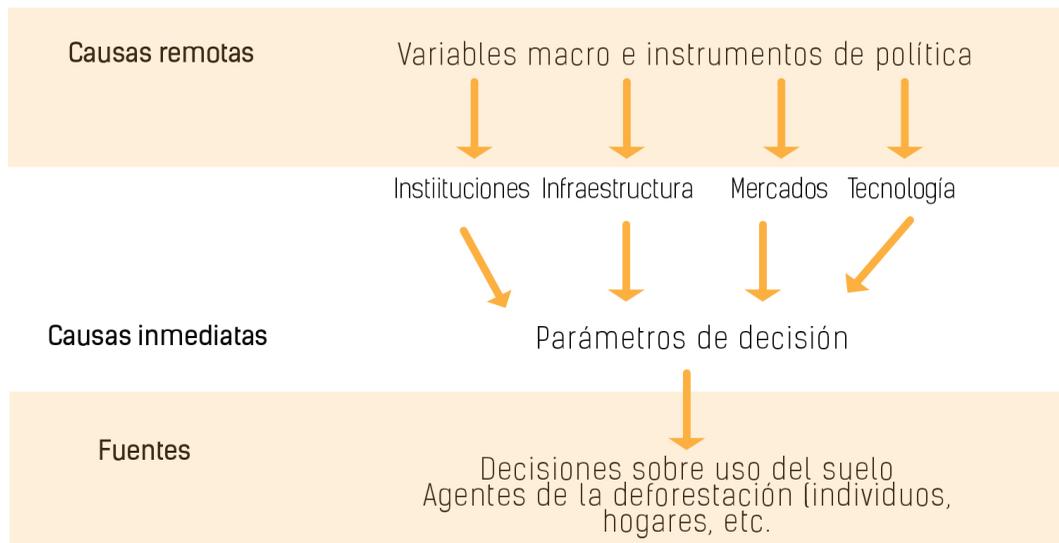
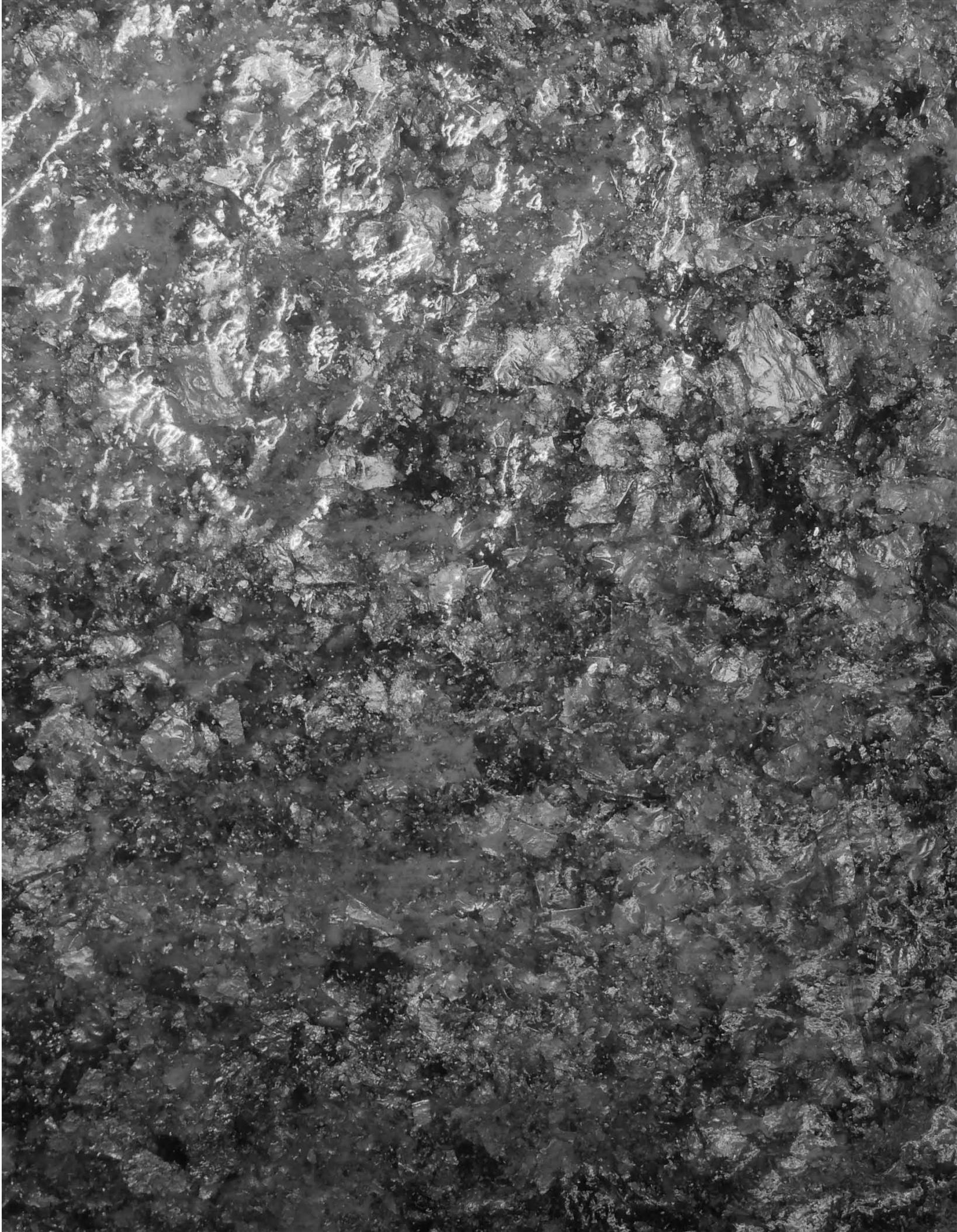


Tabla 2 Causas de la deforestación

¹ Comisión Nacional Forestal



02

[Materiales Compuestos]

The image shows a grayscale microscopic view of a composite material's internal structure, characterized by layered and fibrous textures. A central black rectangular box contains the text 'MC' in large orange letters, followed by the title 'COMPONENTES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS: DEFINICIÓN' in white capital letters.

MC

COMPONENTES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS: DEFINICIÓN

Los materiales compuestos han estado presentes en nuestra vida desde hace ya mucho tiempo, y han sido utilizados por el hombre en diversas aplicaciones. Los primeros materiales aplicados por el hombre son de origen natural. La madera, aunque existen diversos tipos de madera y en cada una cambian sus propiedades mecánicas, todas tienen en común la matriz de la que están compuestas, siendo esta una matriz celulósica reforzada con fibras de lignina que hacen que tengan un mejor desempeño elástico y de deformación.

El éxito de un material compuesto reside en la elección de un sistema de matriz adecuado y la asociación con el material de refuerzo, que en conjunto dan como resultado un material diferente con propiedades particulares que no son alcanzables por cada material de manera independiente.

Según menciona Besednjak, se define como material compuesto a todo sistema o combinación

de materiales constituidos a partir de una unión (no química, insoluble entre sí) de dos o más componentes, que da lugar a uno nuevo con propiedades características específicas, no siendo estas nuevas propiedades ninguna de las anteriores. (Besednjak, 2009)

Un material compuesto consta de dos fases, la Matriz, que es continua y rodea a la segunda fase denominada fase dispersa (refuerzo).

En esta investigación se definirá al material compuesto como todo sistema o combinación de materiales constituido a partir de una unión (no química, insolubles entre sí) de dos o más componentes diferentes, que da lugar a un nuevo material con propiedades características específicas superiores a la de los componentes que lo forman (propiedades mecánicas y físicas especiales) ya que combina las mejores propiedades de sus componentes y suprime sus defectos.

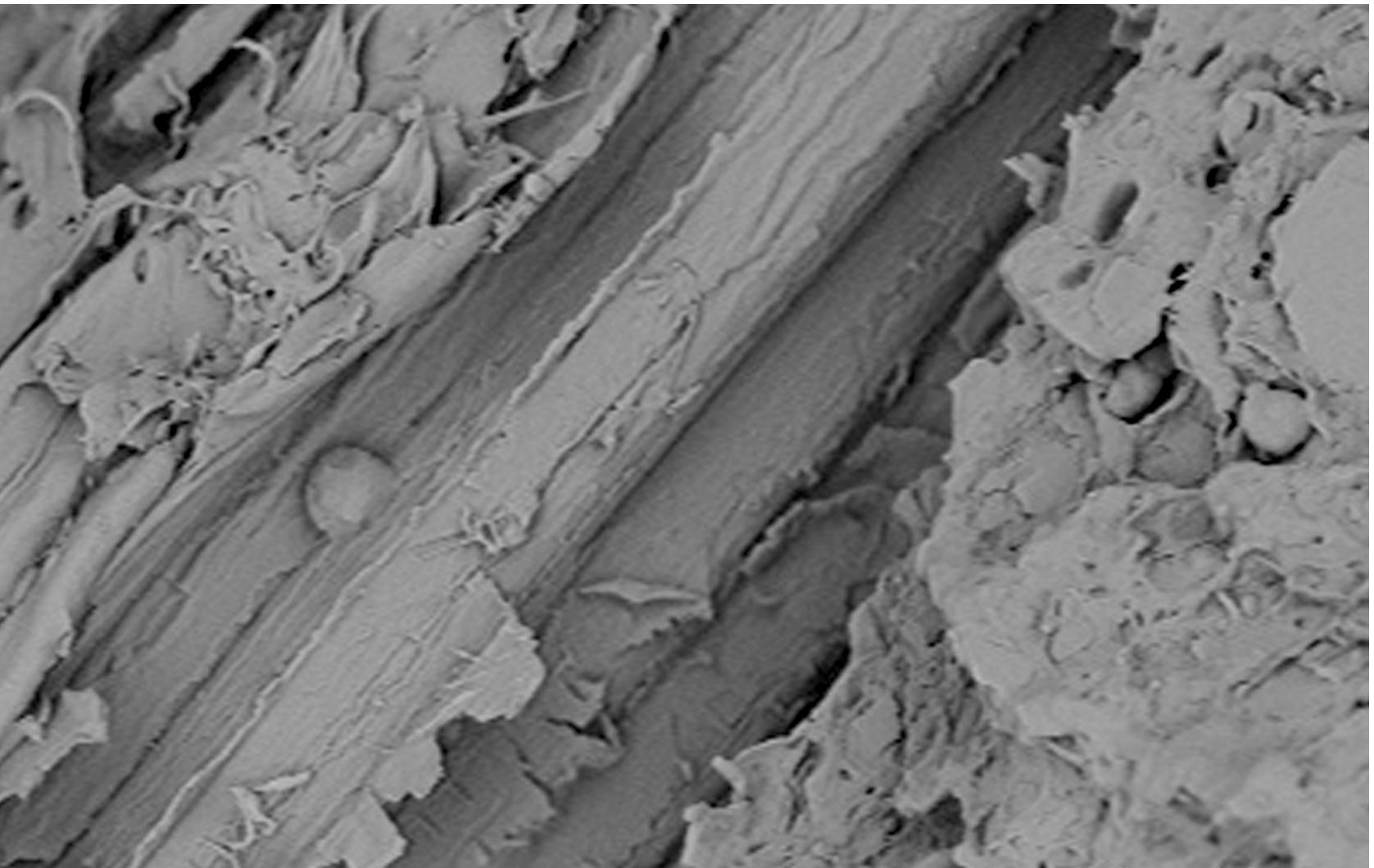


Imagen 09. Microscopía. Copyright ©

Estos compuestos pueden seleccionarse para lograr combinaciones poco usuales de rigidez, resistencia, peso, rendimiento a alta temperatura, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad.

Los materiales son compuestos cuando cumplen las siguientes características: Están formados de 2 o más componentes distinguibles físicamente y separables mecánicamente.

Presentan varias fases químicamente distintas, completamente insolubles entre sí y separadas por una interfase. Sus propiedades mecánicas son superiores a la simple suma de las propiedades de sus componentes.

Estos materiales también son conocidos como composites y están formados por una matriz (o base metálica, polimérica o cerámica) a la que se le añade otro material de refuerzo (en forma de fibras o partículas) con el propósito de mejorar ciertas propiedades de la matriz.

Los componentes de un material compuesto no deben disolverse ni fusionarse completamente unos con otros y la identificación de los materiales que lo forman y la de su interfase debe ser posible de distinguir por medios físicos. Dejando identificar dos fases: una continua, constituida por la matriz, y otra fase discontinua, denominada refuerzo.

COMPONENTES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS. DEFINICIONES.

Matriz.

Fase continua que define las propiedades físicas y químicas del material, así como la transmisión de cargas y protección al refuerzo. Define el acabado superficial del material.

La matriz es la responsable de las propiedades físicas y químicas. La matriz rodea, protege y soporta la fibra para:

Transferir tensiones entre las diferentes fibras.

Transmitir los esfuerzos a las fibras de refuerzo a través de la interfaz.

Proteger a las superficies de las fibras contra el desgaste.

Protegen a las fibras de los esfuerzos de compresión.

Unen las diferentes fibras de refuerzo por medio de fuerzas adhesivas.

Aseguran a las fibras de refuerzo con el orden preestablecido.

Proteger a las fibras de las condiciones medioambientales y resguardarlas de los ataques externos.

Matriz metálica (MMC): Los materiales compuestos de matriz metálica (MMC) poseen alta resistencia y muy bajo peso, como matrices metálicas pueden utilizarse la mayoría de los metales dúctiles como por ejemplo aluminio, titanio, magnesio o superaleaciones (níquel, acero inoxidable).

Matriz cerámica (CMC): Los materiales compuestos de matriz cerámica (CMC) poseen buena resistencia y tenacidad, como matrices cerámicas pueden utilizarse, alúmina, carburo de silicio o nitruro de silicio.

Matriz polimérica (PMC): Los materiales compuestos de matriz polimérica (PMC) están formados por polímeros. Los polímeros son materiales constituidos por grandes moléculas, las cuales se forman por la secuencia repetitiva de moléculas pequeñas o agrupaciones de átomos simples, enlazadas unas a otras por enlaces primarios.

Según el comportamiento térmico del polímero, es decir la termodependencia de sus propiedades (comportamiento y procesabilidad) podemos encontrar, elastómeros, termoplásticos y termoestables, Y para cada grupo hay un tipo de matriz, teniendo matrices termoplásticas, matrices elastómeros y matrices termoestables.

Elastómeros: son polímeros que poseen cadenas con mucha libertad de movimiento molecular (flexibilidad). Presentan dobles enlaces a lo largo de la cadena, pero reticulados en menor extensión. Son infusibles e insolubles, pero hinchables. Algunos ejemplos son el caucho natural y el sintético, el caucho nitrilo, el caucho estireno-butadieno, el polibutadieno, etc.

Termoplásticos son polímeros que al calentarse a determinadas temperaturas se convierten en fluidos, permitiendo su moldeabilidad en la forma deseada, que quedará preservada al enfriarse. Su arquitectura molecular puede ser lineal o ramificada, lo que le facilita fluir con aportación de calor. Algunos ejemplos son los polietilenos, polipropilenos, policloruro de vinilo, poliamidas, policarbonatos, poliuretanos, etc.

Las características de las matrices termoplásticas son:

Buena resistencia al impacto.

Poca duración del tiempo de curado y escasa contracción.

Vida de almacenamiento ilimitada.

Fácil modificación de la forma.

Posibilidades de reparación y reciclado.

Termoestables: son polímeros que no pueden fluir por efecto de la temperatura para ser remodelados. Molecularmente son polímeros entrecruzados. Tienden a ser resinas de mucha rigidez, y someterlos a temperaturas elevadas promueve la descomposición química del polímero (carbonización). A temperatura ambiente son duros y frágiles. Para mejorar las características mecánicas de las resinas termoestables, se le suele asociar con materiales de refuerzo. Como ejemplos de polímeros termoestables podemos citar las resinas poliéster, viniléster, epoxi, fenólicas, las resinas urea-formaldehído, etc.

Las características de las matrices termoestables son:

Viscosidad muy baja antes del curado.

Resistencia química.

Buena capacidad de impregnado y facilidad de fabricación.

Alta rigidez.

Bajo peso.

Alta estabilidad dimensional y térmica.

Resistencia a la fluencia y a la deformación bajo carga.

Buenas propiedades como aislante térmico y eléctrico.

Económicas

Refuerzo.

Fase discontinua o dispersa, se agrega a la matriz para darle al compuesto determinada propiedad que la fase continua no tenga. Se emplea para aumentar la resistencia y rigidez mecánica al compuesto, o bien para darle mejor comportamiento a altas temperaturas o hacer la mezcla resistente a la abrasión. Puede presentarse como partícula o fibra.

El refuerzo puede ser en forma de partículas o de fibras. Como regla general, es más efectivo cuanto menor tamaño tienen las partículas y más homogéneamente distribuidas están en la matriz o cuando se incrementa la relación longitud/diámetro de la fibra.

Si bien, como veremos más adelante, los materiales de refuerzo pueden presentarse en forma de partículas en un amplio grupo de materiales compuestos, los más numerosos y ampliamente utilizados son aquellos reforzados con fibras.

En la mayoría de los compuestos reforzados con fibras, éstas son resistentes, rígidas y de poco peso. Si el compuesto debe ser utilizado a temperaturas elevadas, también la fibra deberá tener una temperatura de fusión alta. Por lo que la resistencia específica y el módulo específico de la fibra son características importantes.

Los tipos de refuerzo se pueden clasificar según la morfología y según la naturaleza de origen del refuerzo.

Según la morfología:

En este sentido los tipos de refuerzo se pueden clasificar en tres categorías: fibras continuas, partículas y fibras discontinuas.

Fibras Continuas: Son una de las fibras más empleadas como refuerzo, entre sus numerosas ventajas se cuentan que no se disuelven en la matriz, mantienen su resistencia a altas temperaturas, tienen alto módulo de elasticidad, no se oxidan y tienen baja densidad.

Partículas: El uso de partículas como material reforzante permite obtener una mayor isotropía de propiedades en el producto. Sin embargo, para tener éxito en el material compuesto desarrollado, se debe tener un estricto control del tamaño y la pureza de las partículas utilizadas.

Fibras discontinuas: Las fibras discontinuas utilizadas para la producción de materiales compuestos son comercializadas en diferentes diámetros. El uso de éste tipo de fibras conduce a propiedades inferiores que las fibras continuas, por lo que su costo se reduce.

Según la naturaleza:

Esta división de las fibras se establece de acuerdo con el origen de las mismas, pudiendo ser sintéticas, inorgánicas y naturales.

Fibras Sintéticas: Son aquellas que se elaboran mediante síntesis químicas, a través de un proceso denominado polimerización aplicado a determinadas materias primas. Las fibras sintéticas más importantes, además del nylon, son las fibras aramídicas.

Fibras Inorgánicas: Los compuestos inorgánicos generalmente tienen una estructura formada por cadenas de iones y no contienen uniones químicas entre carbono e hidrogeno (hidrocarburos) o cualquiera de sus derivados. Las fibras inorgánicas más importantes son la fibra de carbono y la fibra de vidrio.

Fibras Naturales: Las fibras naturales pueden ser de origen animal o vegetal. Las de origen vegetal, que son las que más interesan en términos de material de refuerzo, son principalmente de celulosa, que, a diferencia de las proteínas de las fibras de origen animal, son resistentes al álcalis y a la mayoría de los ácidos orgánicos, pero los ácidos minerales fuertes las destruyen.

INTERFAZ MATRIZ-REFUERZO

La zona de interfaz es una región de composición química variable, donde tiene lugar la unión entre la matriz y el refuerzo, que asegura la transferencia de las cargas aplicadas entre ambos y condiciona las propiedades mecánicas finales de los materiales compuestos. Existen algunas cualidades necesarias para garantizar una unión interfacial adecuada entre la matriz y el reforzante:

Una buena mojabilidad del reforzante por parte de la matriz, que asegure un contacto inicial para luego, generar la unión en la interfase.

Una estabilidad termodinámica apropiada (ya que al interactuar estos materiales, la excesiva reactividad es uno de los mayores inconvenientes encontrados).

La existencia de fuerzas de unión suficientes que garanticen la transmisión de esfuerzos de la matriz al refuerzo.

En la actualidad existen diversos agentes acoplantes que ayudan a que la matriz y la fibra establezcan mejor relación de contacto y así un mejor comportamiento del material compuesto para un mejor desempeño, al igual que diversos tratamientos previos a la mezcla matriz-refuerzo, para que esto suceda.

PROPIEDADES GENERALES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

Entre las propiedades generales más destacadas de los materiales compuestos, cabe destacar:

- a) Excelente aislante térmico.
- b) Inerte a muchas sustancias (ácidos incluidos).
- c) Gran maleabilidad.
- d) Altamente resistente a la tracción.
- e) Alta resistencia mecánica.
- f) Bajo peso, facilitando transporte e instalación.
- g) Resistencia a la corrosión y a la intemperie.
- h) Bajo coste en herramientas.
- i) Menor necesidad de mantenimiento.

MATERIALES COMPUESTOS

Materiales compuestos naturales	Madera hueso Bambú Músculos y otros tejidos
Materiales microcompuestos	Aleaciones metálicas Termoplásticos endurecidos Hojas para moldeo continuo Termoplásticos reforzados
Macrocomposites (productos ingenieriles)	Acero Galvanizado Vigas de concreto armado Palas de helicópteros Esquis

Tabla 3 Clasificación de los materiales compuestos.

CLASIFICACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS.

Una de las clasificaciones más amplia que podemos observar de los materiales compuestos es la que se representa en la siguiente tabla.

Basados en el criterio de la naturaleza de la microestructura de la fase dispersa para la clasificación de los materiales compuestos se pueden establecer tres grandes grupos, como se muestra en la siguiente tabla.

Los materiales compuestos reforzados con partículas están compuestos por partículas de un material duro y frágil dispersas discreta y uniformemente, rodeadas por una matriz más blanda y dúctil.

Clasificación según morfología y configuración del refuerzo

Materiales compuestos Reforzados por partículas	Partículas grandes Endurecidos por dispersión
Materiales compuestos reforzados por fibras	Según la longitud de la fibra: continuas (alineadas) y discontinuas (alineadas u orientadas aleatoriamente) Según la configuración: unidireccionales y bidireccionales y tridimensionales
Materiales compuestos estructurales	Laminares Panel sandwich

Tabla 4 Clasificación de los materiales compuestos según morfología y configuración del refuerzo

Los materiales compuestos reforzados por fibras se componen por un agente de refuerzo como una fibra fuerte (fibra de vidrio, kevlar o fibra de carbono) que proporciona al material las propiedades mecánicas, mientras que otro componente (matriz) que suele ser una resina como epoxi o poliéster envuelve y liga las fibras.

Los materiales compuestos estructurales más abundantes son los laminares y los paneles sándwich. Los laminares están formados por paneles unidos entre si por algún tipo de adhesivo u otra unión. Lo más usual es que cada lámina esté reforzada con fibras y tenga una dirección preferente, más resistente a los esfuerzos. De esta manera se obtiene un material isótropo, uniendo varias capas marcadamente anisótropas. Gran cantidad de compuestos laminares están diseñados para mejorar la resistencia a la corrosión conservando un bajo costo, alta resistencia o bajo peso.

Otras características de importancia incluyen resistencia superior al desgaste o a la abrasión, mejor apariencia estética y algunas características de expansión térmica poco usuales. Los paneles sándwich consisten en dos láminas exteriores de elevada dureza y resistencia (normalmente plásticos reforzados, aluminio o incluso titanio), separadas por un material menos denso y menos resistente, (polímeros espumosos, cauchos sintéticos, madera balsa o cementos inorgánicos).

Existe otra clasificación que quizás sea de todas las clasificaciones que se pueden hacer de los materiales compuestos, la más importante, y es la que se refiere a su matriz, y en la cual podemos identificar tres grupos principales:

- a) Compuestos de matriz metálica (MMC).
- b) Compuestos de matriz cerámica (CMC).
- c) Compuestos de matriz polimérica (PMC).

Los materiales compuestos de matriz metálica han sido desarrollados principalmente para componentes aeroespaciales y de motores de automoción. Poseen alta resistencia y muy bajo peso. Se clasifican en tres grandes grupos, de acuerdo con el tipo de refuerzo incorporado.

Los materiales compuestos de matriz cerámica son más recientes, y mejoran las propiedades mecánicas como la resistencia y tenacidad de los materiales cerámicos tradicionales, especialmente en rangos de bajas temperaturas.

En cuanto a los materiales compuestos de matriz polimérica son los de mayor importancia tecnológica principalmente cuando están reforzados con fibras. Podemos definirlos como materiales con buenas propiedades mecánicas, resistentes a la corrosión y a los agentes químicos, y que dadas sus particulares características, pueden ser moldeados con absoluta libertad de formas. Son aquellos materiales en los cuales la matriz está constituida por un polímero y el refuerzo es algún tipo de fibra.

FIBRAS

Las fibras más utilizadas son las de vidrio, carbono y aramida. Estos tres materiales poseen una resistencia a la tracción extremadamente alta. Sin embargo, esto no parece muy evidente cuando los pensamos como sólidos macizos. (Besednjak,2009)

Fibras naturales

Actualmente, cada vez se utilizan más materiales reforzados con fibras que sean más económicas y de menor impacto medioambiental. Para ello, se están reforzando muchos polímeros con fibras provenientes de productos naturales como el lino o la fibra de coco; utilizándose más en la industria del automóvil donde según una directriz de la UE para el 2015 el 95 % de la masa de un coche debe ser reutilizable. Además, si las fibras de refuerzo provienen de vegetales, el impacto medioambiental total en la fabricación de las piezas es mucho menor.

Se está dedicando mucho esfuerzo de investigación en la fabricación de materiales compuestos completamente "ecológicos" o "verdes". En ellos se refuerza la matriz del polímero natural (p. ej. celulosa) con fibras de origen vegetal (p. ej. fibra de lino). Ya existen polímeros comerciales completamente "verdes" y se prevé que su producción aumente en el futuro (aunque, actualmente, los precios son mayores que los análogos obtenidos del petróleo)

Fibras Naturales como refuerzo

Las fibras naturales en la actualidad se han empleado en diversos diseños de materiales, tales como el sisal, palma, fique, formio, yute, coco, bambú entre otros.

Durante los últimos años estas han sido objeto de estudio como agente de refuerzo en materiales compuestos, sustituyendo parcialmente las fibras sintéticas. Teniendo en cuenta que la mayoría de estos productos son desechos agro industriales con alto contenido de lignina y celulosa, se convierten en un material atractivo por abundancia, bajo costo y buenas propiedades mecánicas. (Cuellar & Muñoz, 2009)

El uso de las fibras naturales como refuerzo en composites con el fin de contrarrestar el uso de recursos no renovables y disminuir los efectos negativos que estos producen en el ambiente es un tema de gran interés actual. Numerosos estudios se han realizado con el fin de analizar el comportamiento mecánico y químico de dichas fibras y su influencia en las propiedades mecánicas y calidad final en los composites. (Manrique Flores & González, 2011)

Las principales limitantes que presentan son su baja resistencia térmica, su estructura inconsistente (no existe uniformidad) y su tendencia hidrofílica. Ya que la calidad del composite depende en gran medida de la capacidad de adhesión que presente la matriz polimérica y la fibra (refuerzo), se necesita estudiar la rugosidad y la polaridad de la superficie de las fibras y el tratamiento químico adecuado para favorecer dicha adhesión. (Manrique Flores & González, 2011)

Las fibras naturales están formadas por microfibrillas de celulosa enlazadas entre sí por puentes de hidrógeno, incrustadas en una matriz de lignina (amorfa) e insertada en una red formada por hemicelulosa semicristalina y pectina.

Algunos estudios resaltan que las microfibrillas de celulosa formadas por regiones de celulosa cristalina presentan mejores características mecánicas que las de fibra de vidrio (Manrique Flores & González, 2011).

Las fibras naturales pueden remplazar a las fibras tradicionales en diferentes aplicaciones industriales por sus propiedades de reciclaje y reproducción. (Wuttke, 2004).

Por mencionar algunas ventajas positivas de las fibras naturales, están, un costo mas bajo que las fibras de carbón, menor densidad, reducción significativa del peso, menor abrasión, insonorización y aislamiento térmico.

La aplicación de las fibras naturales para llenar los plásticos tiene una tendencia continua.

Existen muchas fibras diferentes pero solo algunas tienen la posibilidad ser usadas en escala industrial. Las fibras de abacá, hoja de piña, estopa de coco, palma, bagazo, bambú, paja de trigo, cáscara de arroz tienen propiedades adecuadas para su uso en diferentes productos.

La variedad de las propiedades de las fibras naturales es más grande que las de las fibras artificiales. Las propiedades de las fibras naturales dependen de las condiciones de crecimiento, dimensiones, defectos, resistencia, rigidez y estructura. (Wuttke, 2004)

La mala compatibilidad de fibras naturales con plástico y la absorción de humedad son desventajas de las fibras. Por esto es necesario modificar la adhesión de la superficie de la fibra con el plástico, para facilitar la transferencia de esfuerzos desde el plástico a las fibras. Esto se puede obtener por la modificación química de la superficie.

Recientemente se aumentó el uso de la tecnología enzimática para modificar la superficie de las fibras y esta tecnología es respetuosa del medio ambiente. El uso del agente de acoplamiento reduce la absorción de agua y no disminuye propiedades de funcionamiento a largo plazo. (Wuttke, 2004).

Las fibras de bambú, coco, cascara de algodón o arroz, las pajas de gramíneas, trigo o arroz, e incluso bagazo, se usan como refuerzos de los plásticos.

Las ventajas de las fibras naturales sobre las fibras sintéticas tales como la fibra de vidrio y de carbono son las siguientes:

- a) Bajo costo
- b) Baja densidad.
- c) Propiedades de resistencia específica aceptables.
- d) Facilidad de separación.
- e) Son biodegradables.

MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS.

La mayoría de los compuestos reforzados con fibra consiguen una mejor resistencia a la fatiga, mejor rigidez y una mejor relación resistencia-peso, al incorporar fibras resistentes y rígidas, aunque frágiles, en una matriz más blanda y dúctil. El material de la matriz transmite la fuerza a las fibras, las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. La resistencia del compuesto puede resultar alta a temperatura ambiente y a temperaturas elevadas.. (Stupenengo, 2011).

Definido ampliamente, los biocompositos son materiales compuestos fabricados a partir de fibras naturales y polímeros no biodegradables derivados del petróleo tales como PP, PE y epoxi o biopolímeros como PLA y PHAs.

Los materiales compuestos derivados de biopolímeros y fibras sintéticas tales como vidrio y carbón también se pueden considerar biocompositos. Los biocompositos derivados de fibras de plantas (biofibras naturales) y plásticos bioderivados (biopolímeros) son más respetuosos con el medio ambiente, y tales biocompositos son a veces denominados como "green composites".

BIOCOMPOSITOS	
Parcialmente respetuosos con el medio ambiente	Totalmente respetuosos con el medio ambiente «Green composites»
Biofibras/ plásticos derivados del petróleo PET, PP, PE, PVC	Biofibras/ bioplásticos basado en fuentes renovables.

Tabla 5 Clasificación de los biocompositos

BIOCOMPOSITES. DEFINICIÓN.

El agotamiento de los recursos de petróleo junto con las crecientes regulaciones medioambientales, están actuando en conjunto para dar impulso a los nuevos materiales y productos que son compatibles con el medioambiente e independientes de los combustibles fósiles.

Los avances recientes en ingeniería genética, el desarrollo de las fibras naturales, y la ciencia de los materiales compuestos ofrecen unas posibilidades significativas para nuevos materiales y procesos de fabricación mejorados a partir de recursos renovables, que puedan ser biodegradables y reciclables pero también que se obtengan de recursos sostenibles al mismo tiempo.

La elaboración de productos químicos y nuevos materiales a partir de recursos renovables no es una idea nueva. Muchos de los productos químicos y materiales provenían de fuentes renovables hasta la primera parte del siglo XX. Sin embargo, el éxito y el tremendo crecimiento de la industria petroquímica en el siglo XX desaceleró el crecimiento de productos basados en materiales biológicos.

Actualmente los factores medioambientales y económicos están impulsando de nuevo hacia la tendencia a una mayor utilización de polímeros y materiales basados en materias primas biológicas.

La investigación llevada a cabo a partir de 1990 hasta el presente ha llevado a muchos nuevos productos basados en materiales biológicos. Algunos ejemplos incluyen ácido poliláctico (PLA) del maíz, productos de poliuretano a partir de aceite de soya, adhesivos de proteína de soya, lubricantes a partir de aceites vegetales, polímeros termoestables y termoplásticos a partir de la soya y el maíz, ácidos orgánicos de recursos de cosechas, y biocomposites a partir de fibras lignocelulósicas combinadas con polímeros basados en el petróleo como el polipropileno (PP) y el polietileno (PE), o biopolímeros como el PLA, ésteres de celulosa, polihidroxicanoatos, y bioresinas basadas en aceites vegetales.



Imagen 10 . Polipropileno reciclado. Copyright ©

03

[Plásticos en la Arquitectura]

LOS PLÁSTICOS EN LA ARQUITECTURA

PLASTICOS COMO BASURA

La generación de plásticos como Residuos Sólidos Urbanos (RSU) es cada vez mayor. Los plásticos representan el 11% de los residuos sólidos en México, según datos de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). La degradación natural de los plásticos ocurre entre 100 y 1000 años y dentro de los residuos postconsumo, este material tiene gran importancia y genera elevados costos de almacenamiento por su volumen.

Su principal uso, y el cual va día a día en incremento, es en envases y embalajes del sector servicios y alimentos, lo que hace que el porcentaje sea importante entre los residuos urbanos, aunque la mayor preocupación proviene de aquellos residuos que no son recolectados sino abandonados creando puntos de concentración y contaminación medioambiental. (Hernandez Guerrero, 2015)

La mayor problemática en el caso de materiales plásticos es la falta de coherencia con la aplicación de la materia prima a usos que requieren un periodo de vida útil corta. En su mayoría los plásticos son usados para envases que no requieren más de un día de vida útil mientras que el material puede durar como bien se menciona de 100 a 1000 años en degradarse.

La falta de coherencia en las aplicaciones que en la actualidad damos a los materiales sin analizar todos sus factores hacen que aporten mayor grado de contaminación que el que podrían generar al darles un mejor enfoque.

El plástico es uno de los materiales que por venir de un producto no renovable, ha sido etiquetado como un material dañino, pero el principal daño que genera este material es el ser aplicado a un uso que no requiere la durabilidad que este nos ofrece, por lo que se cree que dándole una aplicación adecuada, dicho material puede ser mejor aprovechado sin necesidad de desecharlo a corto plazo.

Por otro lado, existe ya una problemática latente actual con este material, y a la que debemos buscar soluciones emergentes que aporten una mejora al reciclaje y al aprovechamiento de esos residuos.

RECICLAJE DE PLÁSTICOS

El reciclaje de plásticos, es una opción de solución para la problemática actual del manejo de los RSUs existentes. Existen diversos procedimientos que según el tipo de desecho plástico es posible aplicar:

Reciclado químico: consiste en recuperar los monómeros por despolimerización para emplearlos en la síntesis de nuevos productos.

Aprovechamiento energético: consiste en la incineración de los plásticos pero como combustible, es decir más que para destruirlos, aprovechar el calor desprendido como fuente de energía.

Reciclado mecánico: requiere en primer lugar la separación de los distintos plásticos para después triturarlos y reutilizarlos mezclados con granza virgen, en la fabricación de cualquier objeto no destinado a estar en contacto con alimentos.

En la actualidad se recicla un porcentaje importante de vidrio, papel y aluminio de los RSUs, pero en cuanto a los materiales plásticos, en su mayoría se incineran (Carballo Gutierrez, 2008), generando serios problemas medioambientales, pues al hacerlo, se generan gases nocivos. Es importante tomar en cuenta nuevas alternativas de aprovechamiento de estos residuos, valiéndonos del largo periodo de vida útil con el que cuentan y aprovecharlo en diversas aplicaciones.

TIPOS DE PLÁSTICOS RECICLADOS

Los plásticos, en función de su estructura y su comportamiento cuando son expuestos a la temperatura pueden clasificarse en termoplásticos, termofijos y elastómeros.

Los termoplásticos, al estar compuestos por cadenas lineales y ramificadas, se funden al ser sometidos al calor y pueden adoptar nuevas formas.

Esta propiedad es fundamental para el reciclaje, pues permite recuperar los materiales y volver a utilizarlos mediante procesos físicos simples (Vazquez, 2015)

Aproximadamente el 80% de los plásticos que se producen son termoplásticos, que en su mayoría se reciclan, se dividen en dos grupos:

Commodities: son plásticos de bajo costo que se producen en grandes volúmenes, por lo que son ampliamente empleados en aplicaciones de vida útil corta. Este grupo, que incluye a los polietilenos (PE), Polipropilenos (PP), Policloruro de Vinilo (PVC), poliestireno (PS), Polietileno tereftalato (PET) y sus copolímeros constituye la proporción principal de los plásticos reciclados (Vazquez 2015).

Plásticos de ingeniería: tienen mejores propiedades mecánicas, resistencia al calor y al impacto, por lo que pueden usarse para reemplazar metales en productos como los automóviles y equipo electrónico. Su costo puede ser entre 2 y 20 veces el de los commodities, por lo que se usan generalmente en aplicaciones de mayor vida útil, que se estima en al menos 3 años. Su reciclaje es complejo, pues comúnmente se encuentran integrados con otros materiales, por lo que requiere varias etapas previas de separación. (Vazquez, 2015)

FORMAS DE RECICLAJE DE LOS PLÁSTICOS

La clasificación más aceptada de los procesos que se llevan a cabo para reciclar los plásticos los divide en cuatro categorías (Al-Salem, Lettieri, & Baeyens, 2009):

Reciclaje primario o re-extrusión

Reciclaje secundario o mecánico

Reciclaje terciario o químico

Reciclaje cuaternario o valorización energética

Reciclaje primario o re-extrusión

Este tipo de reciclaje también se conoce como reciclaje in situ, de ciclo cerrado o re-procesamiento. Se realiza al reintroducir los residuos, recortes y rebabas (de origen post-industrial), que se generan durante la producción, al proceso de extrusión que se lleva a cabo en el mismo, con el fin de fabricar productos de material similar. Es una práctica común en muchas plantas productoras de artículos de plástico, dado que permite reaprovechar residuos limpios y claramente identificados, disminuyendo la necesidad de materias primas. Aunque el proceso es simple, para aplicarlo es importante realizar pruebas que permitan definir la proporción adecuada de reciclados, de forma que no se afecten las propiedades del producto final (Vazquez, 2015).

Reciclaje secundario o mecánico

En esta categoría se agrupan todos los procesos físicos de reciclaje, es decir, aquellos en los que no se modifica la estructura química o la composición de los plásticos. Pueden realizarse a partir de residuos post-industriales o post-consumo, que mediante tratamientos térmicos son transformados nuevamente en pellets, perfiles o madera plástica (Briassoulis, Hiskakis, & Babou, 2013).

Reciclaje terciario o químico

A diferencia de lo que ocurre en los procesos físicos, en los químicos los plásticos cambian su estructura y forman nuevas moléculas, que pueden ser similares o diferentes a los monómeros que les dieron origen. Estos nuevos compuestos pueden utilizarse como materias primas para la industria química. (Al-Salem, Lettieri, & Baeyens, 2009).

Reciclaje cuaternario o recuperación de energía

Este proceso, también conocido como valorización energética, recupera de forma directa la capacidad calorífica de los residuos plásticos. Los polímeros que forman la base de los plásticos, especialmente en el caso de las poliolefinas, están compuestos principalmente por carbono e hidrógeno. Estos liberan mucha energía cuando reaccionan con el oxígeno durante la combustión, es decir, son muy buenos combustibles, comparables en algunos casos con otros derivados del petróleo.

El calor que se libera durante la combustión de los plásticos puede usarse directamente, para calentar, o en algún proceso en el que esa energía haga funcionar una turbina que genere movimiento o electricidad. El proceso puede aplicarse a plásticos mezclados y permite reducir su volumen hasta en un 99%, disminuyendo los requerimientos de rellenos sanitarios. Durante el mismo se destruyen compuestos como los agentes espumantes, pero al mismo tiempo se genera CO₂ que contribuye al calentamiento global (Al-Salem, Lettieri, & Baeyens, 2009).

RECICLAJE MECÁNICO DE PLÁSTICOS



Tabla 6 Reciclaje Mecánico de Plásticos

EL PLÁSTICO EN MÉXICO Y EL MUNDO

Los plásticos de gran consumo (Commodities) en América Latina representan el %5 de la producción mundial, y el Polipropileno es el plástico con mayor porcentaje de producción en el mundo. Esta es una de las razones por las cuales esta investigación se centra en este tipo de plástico.



Tabla 7 Producción mundial de plásticos por categoría.

La presencia de plásticos en los residuos se ha incrementado de forma continua en las últimas décadas. Esto obedece a distintas causas, entre las que destaca su utilización en productos de vida útil corta que son desechados rápidamente por los usuarios.

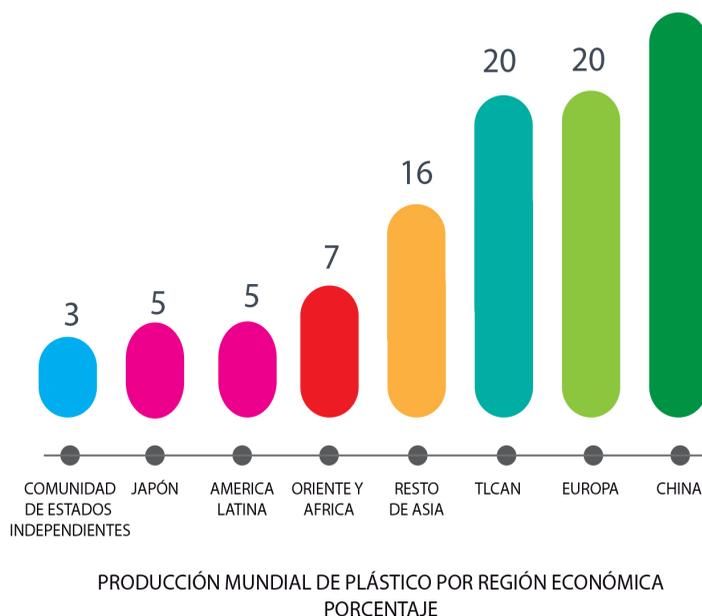


Tabla 8 Producción mundial de plásticos por región económica. Porcentaje

En la imagen 8 podemos observar, que casi un 40% del plástico producido a nivel mundial está destinado al uso de empaques y almacenamiento, lo cual reafirma que en su mayoría el plástico se utiliza en productos con una vida útil corta, contraponiendo diversas características del material como su durabilidad. En México los plásticos constituyen el 12.88 % de los residuos sólidos urbanos, aunque debido a su baja relación masa/volumen, su proporción en el espacio ocupado en los rellenos es hasta 2.5 veces mayor. (Vazquez ,2015)

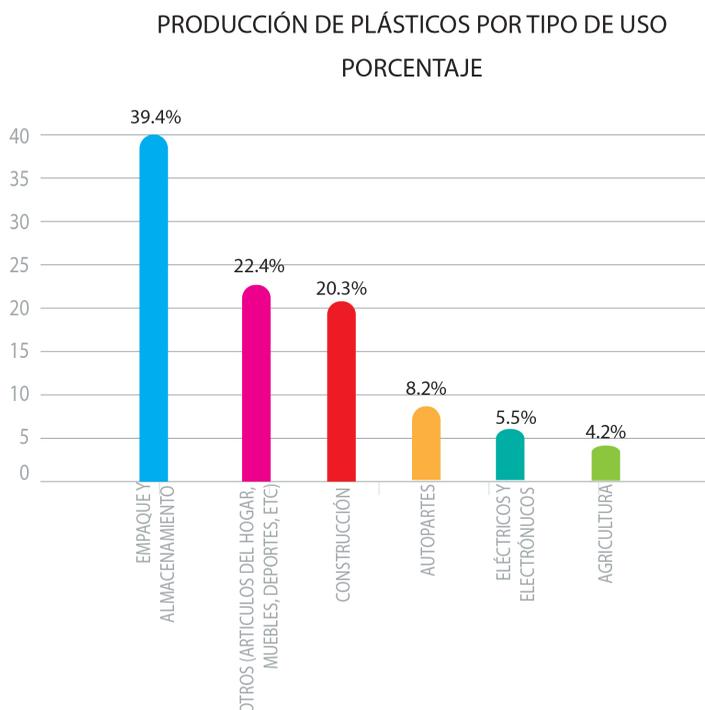


Tabla 9 Producción de plásticos por tipo de uso. Porcentaje.

PLÁSTICOS COMMODITIES. POLIPROPILENO.

Como vimos anteriormente los plásticos de gran consumo o commodities, son plásticos de bajo costo que se producen en grandes volúmenes, por lo que son ampliamente empleados en aplicaciones de vida útil corta. Este grupo, que incluye a los polietilenos (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), poliestireno (PS), polietilen tereftalato (PET) y sus copolímeros, constituye la proporción principal de los plásticos reciclados (Vazquez, 2015).

El plástico que mayor producción tiene en el mundo es el Polipropileno, y el plástico que más se recicla es el PET; en esta investigación nos enfocaremos al PP polipropileno.

El polipropileno junto con el polietileno son las dos olefinas más importantes, para su consumo como por sus propiedades y aplicaciones. Se descubrió en 1950 y fue comercializado en 1957. Su mayor uso era en el sector de rafia para la elaboración de costales de azúcar, granos y otros productos alimenticios, en películas para botanas, y productos secos. En 1992 se comercializó de manera formal en México (Hernández Guerrero, 2015).

Es un polímero termoplástico formado de enlaces simples carbono-carbono hidrógeno, perteneciente a la familia de las poliolefinas.

El polipropileno tiene una densidad de 0.90gr/cc y su estructura molecular consiste de un grupo metilo (CH₃) unido a un grupo vinilo (CH₂) –(molécula de polipropileno o propeno). Por medio del arreglo molecular del grupo metilo se logran obtener diferentes configuraciones estereoquímicas. El ordenamiento uniforme del grupo metilo estereoquímicamente genera la configuración isotáctica mas usado en el polipropileno.

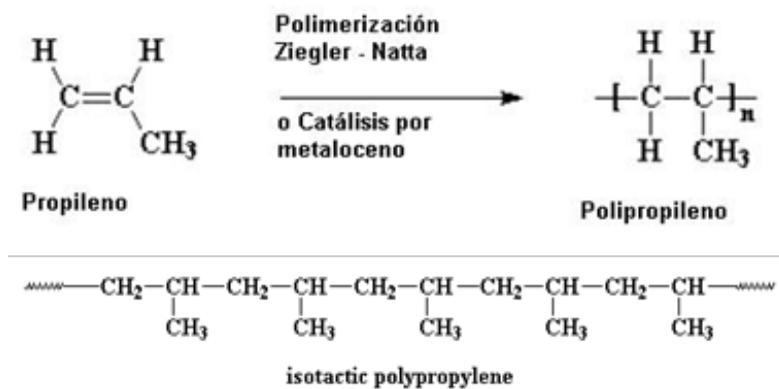


Imagen 11. Polipropileno

El polipropileno copolímero random presenta excelente resistencia a bajas temperaturas, es más flexible que el tipo Homopolímero, su resistencia al impacto es mucho mayor y aumenta si se modifica con hule EPDM, incrementando también su resistencia a la tensión al igual que su elongación; sin embargo, la resistencia química es inferior que el Homopolímero, debilidad que se acentúa a temperaturas elevadas. El Polipropileno Copolímero Impacto se utiliza en tubos, perfiles, juguetes, recipientes para alimentos, cajas, hieleras, acumuladores, tableros, cafeteras, carcazas (Pérez González, 2015).



04

[Bambú en la Arquitectura]

BAMBÚ COMO MATERIAL DE REFUERZO

DEFINICIÓN

Bambú es el nombre que se le asignan a más de 1400 especies pertenecientes a la familia de las gramíneas Poaceae. Los bambúes llegan a ser plantas que van desde 1m a 25m de altura y tallos o culmos de medio centímetro a 30cm de diámetro. (Cortés Rodríguez, 2011). En esta investigación nos enfocaremos a estudiar la especie de Bambu Guadua Angustifolia.

Bambú Guadua Angustifolia.

La guadua constituye el género de bambú nativo más importante de América tropical, es endémica de este continente, con aproximadamente 30 especies distribuidas desde México hasta Argentina, las cuales se pueden encontrar en un rango de altitud que va desde el nivel del mar hasta los 2.200 m.s.n.m. Es considerada el tercer bambú más grande del mundo, superada únicamente por dos especies asiáticas. (Moreno, Lina, & Efraín, 2006).

Localización

En esta investigación se utiliza bambú Guadua Angustifolia, proveniente de Huatusco, Veracruz, con una localización favorable para su cosecha, a una altitud de 1344msnm y una temperatura promedio de °22C, así como el Bambú Guadua Angustifolia, proveniente del Valle del Cauca, Colombia, con una localización a una altitud de entre 950 a 1500msnm, con una temperatura promedio de °24



Imagen 13. Mapa de localización. Copyright ©

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA

Morfológicamente, en una *G. angustifolia* se pueden distinguir las siguientes partes: raíz, tallo, hojas, flores y frutos, sin embargo, es el tallo, y particularmente el culmo, el que tradicionalmente se ha aprovechado para diferentes aplicaciones. El culmo se origina en el ápice del rizoma, y una vez brota del suelo lo hace cubierto de hojas caulinares con el diámetro máximo que tendrá de por vida.

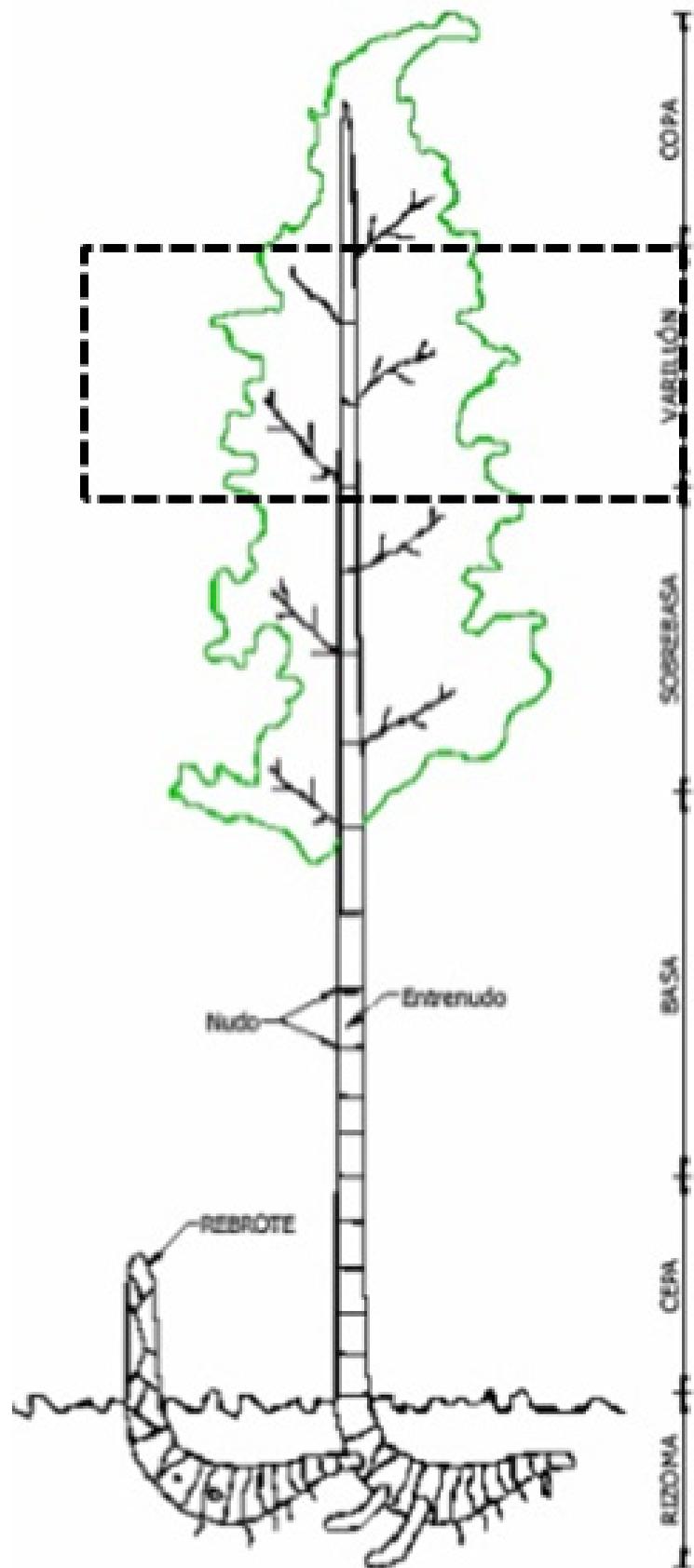
Dependiendo de las condiciones climáticas, edáficas y de la época de brotamiento, demora entre 4 a 6 meses para desarrollar su altura definitiva [Arbelaéz, 1998]. El culmo de esta especie es un cilindro hueco y adelgazado dividido en segmentos o internodos separados por diafragmas (nodos), que en conjunto con una pared maciza dan al tallo una increíble resistencia mecánica. (Moreno, Lina, & Efraín, 2006) Los internodos pueden alcanzar diámetros entre 10 y 14 cm y alturas entre 17 y 23 m.

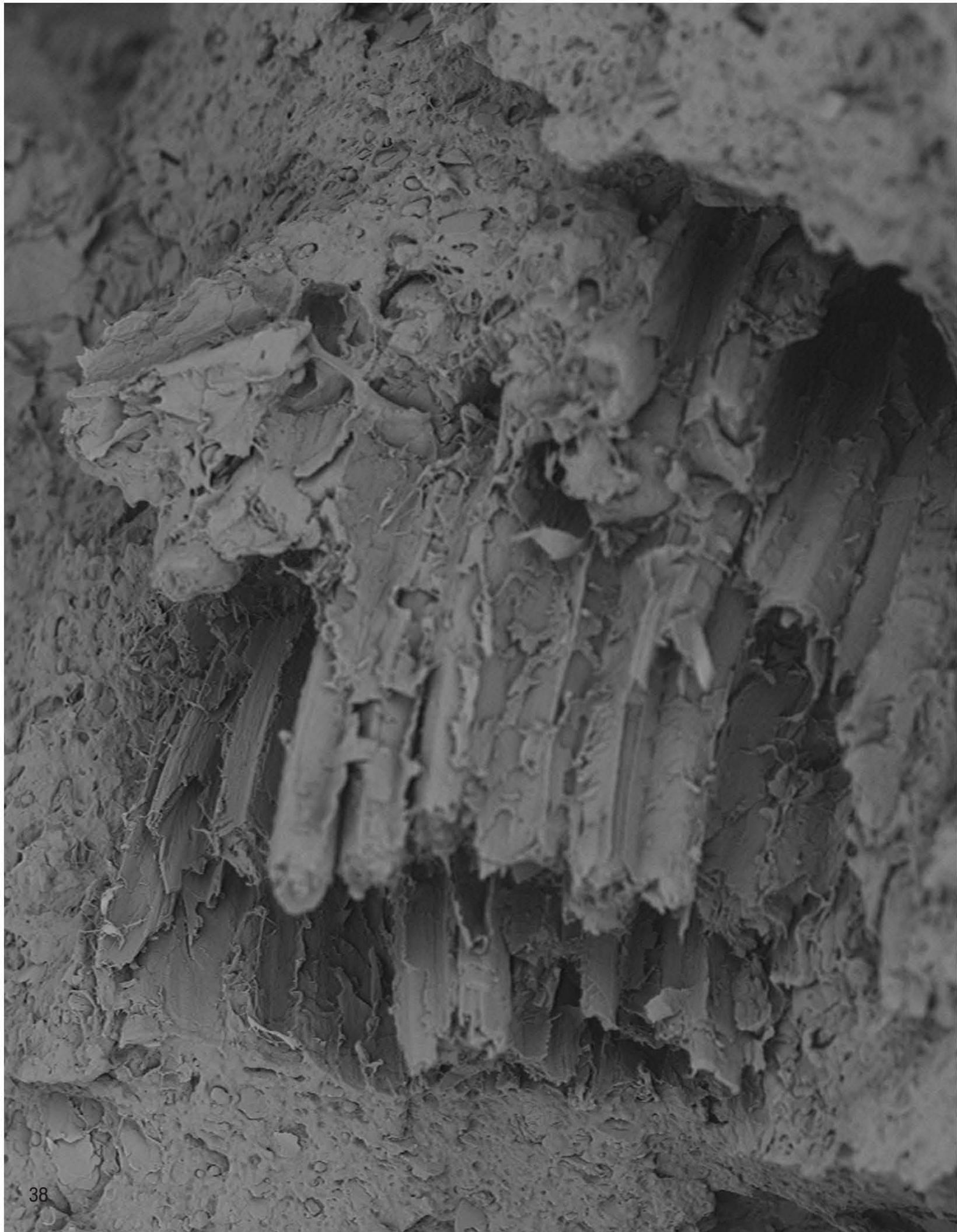
En el culmo se distinguen tres tercios: basal, medio y apical, cuyos diámetros promedios son respectivamente: 11.05, 11.5 y 5.84 cm. La sección transversal del culmo presenta tres componentes típicos muy bien diferenciados en cuanto a la anatomía: la epidermis o corteza exterior, la capa interior de la pared del tallo y el área fibro-vascular, esta última está localizada entre las dos anteriores, y allí aparecen células parenquimáticas que constituyen el tejido del tallo, los haces vasculares como tejido conductivo y las fibras. (Arbelaéz, 1998)

Las fibras constituyen el tejido que soporta todo el esfuerzo mecánico al que está sometido el tallo debido al viento y otros factores externos, además de su propio peso. Las fibras del bambú en general se caracterizan por su forma delgada, ahusada en ambos lados y en algunos casos bifurcada en los extremos. Se encuentran en los internodos rodeando a los haces vasculares y constituye entre el 40 y el 50% del tejido total y entre el 70 - 60% del peso total del culmo. (Liese, 1985)

La estructura interna de la fibra es única, que posee paredes interiores alternadas en capas gruesas y delgadas con diferente orientación. A esta estructura, que no existe en fibras de madera común, se le denomina estructura polilaminar, y aparece especialmente en las fibras ubicadas en la periferia del culmo y el número de capas alternadas o laminadas varía de fibra a fibra. (Liese,1985)

Esto puede ser atribuible en parte a la ubicación del haz vascular, la posición interna de la fibra y de la madurez del tallo. En general, puede decirse que estas paredes alternadas conducen a que el culmo tenga una excelente resistencia. (Moreno, Lina, & Efraín, 2006).





05

[PLANIFICACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN DEL PROYECTO]

PLANIFICACIÓN DE LA EXPERIMENTACIÓN

Definición del producto

La idea con la que se realiza este proyecto es la de buscar la disminución de los Residuos Sólidos generados principalmente por los plásticos commodities, específicamente por uno de los mayormente producidos que es el Polipropileno. Así como el aprovechamiento del residuo generado por los culmos de bambú llamado varillón, que en la actualidad no está siendo aprovechado.

Los problemas medioambientales generados por los plásticos por su largo periodo de degradación hacen que el impacto de la generación de Residuos sea de un alto grado, por lo que es necesario buscar una solución a dicha problemática tomando como ventaja el largo periodo de vida de estos materiales, dando un giro a una aplicación que potencialice esta característica como una ventaja.

Los residuos generados por plásticos commodities tienen su principal origen en los envases de alimentos, los cuales tienen una corta vida útil, la finalidad de esta investigación es desarrollar un material compuesto por plástico reciclado de polipropileno reforzado con fibras naturales de bambú guadua angustifolia, que en su primera etapa logre concebirse como tal y se enfoque desde su generación a ser un material para su aplicación en un componente modular ligero diseñado para muros divisorios.

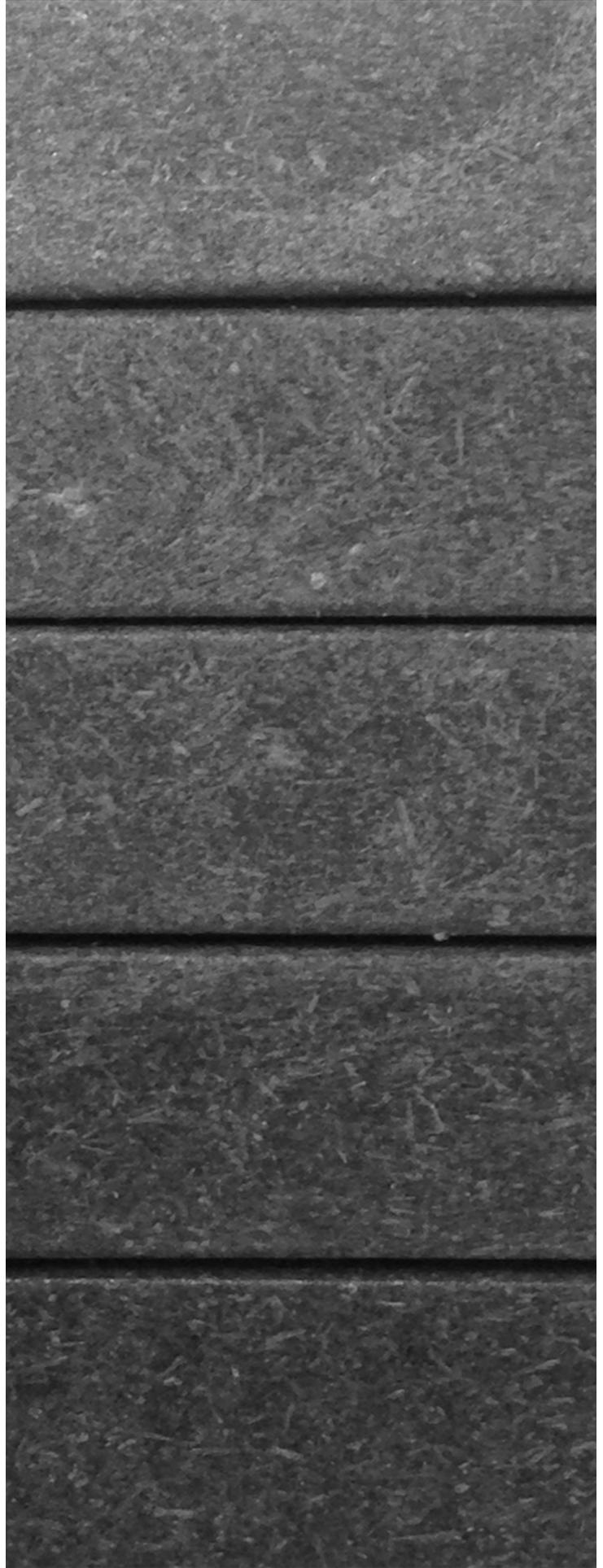
Que logré proporcionar acabados finales evitando la utilización de un material externo que sume desperdicios en su colocación; que logre tener propiedades acústicas y térmicas adecuadas para espacios interiores y plantee el modelo formal adecuado para una aplicación modular que proporcione libertad de diseño en el espacio.

Se utilizan materiales que contribuyen a la disminución de RSU's y logren proporcionar al usuario final un producto económico que contribuye a la conservación del medio ambiente y además puede ser elaborado al 100% en México, impactando de manera directa.

El bambú cuenta con propiedades mecánicas adecuadas para este tipo de materiales y aporta mejoras medioambientales importantes; cuenta con diversas aplicaciones en el sector constructivo. Una de las problemáticas en dichos procesos son los desperdicios estimados en un 40%, aprovechando solo en una parte los culmos de bambú. El varillón es una de las partes del culmo que en estos procesos no se utiliza y en la actualidad es desechado en el terreno como abono; en esta investigación se busca aprovechar dicho material utilizando esta parte del culmo para su utilización como refuerzo en un material compuesto.

Por otra parte, la utilización del polipropileno reciclado, uno de los composites termoplásticos con mayor producción mundial, funge como matriz en dicho compuesto, obteniendo así un material producto de los desechos.

Imagen 15. Plaboo. Copyright ©



Desarrollo del proceso de experimentación

El proceso a seguir en esta experimentación se basará en cuatro etapas:

- Selección de la materia prima
- Obtención de la materia prima, selección, origen, tratamientos y preparación para la mezcla del material compuesto.
- Generación del material compuesto
- Procesos de mezcla, diseño de las mezclas, comparación de materiales, obtención de probetas y procesos para pruebas.
- Caracterización Mecánica y morfológica del Material Compuesto
- Análisis del comportamiento mecánico del material, análisis del comportamiento acústico del material.
- Análisis de Panel Divisorio
- Definición de tamaño, acabado, grosor del material según resultados de pruebas del material compuesto, Forma.
- Obtención de la materia prima

Como se describe en los puntos anteriores en esta etapa se pretende tener como objetivo final la preparación de la materia prima a utilizar en las mezclas del material compuesto, dividido en tres pasos:

- Selección de materia prima.
- Tratamientos.
- Preparación de la mezcla del material compuesto.

Descritos a detalle a continuación.





Imagen 16 Polipropileno Virgen. Copyright ©

Selección de materia prima.

Matriz. Polipropileno virgen

Como primera etapa se realizará la selección de la materia prima que en este caso será el polipropileno reciclado obtenido en pellets; el polipropileno se obtendrá en las siguientes modalidades:

Tipo de polipropileno. El Polipropileno Copolímero Random, es aquel cuya estructura molecular está constituida de Polipropileno y Etileno en un porcentaje menor al 10. El etileno le proporciona alta transparencia, resistencia al impacto, baja cristalinidad, baja temperatura de fusión y alta flexibilidad (essentia, 2016). El polipropileno es un polímero de bajo costo y una elevada resistencia química, con fácil modelación y pigmentación. Cuenta con una alta resistencia a la fractura por flexión y fatiga y buena resistencia al impacto, con una estabilidad térmica de °15C. (Michaeli, 1995)

- Polímero termoplástico con mayor producción a nivel mundial.
- Bajo costo
- Termoplástico con menor conductividad térmica, lo que lo hace un buen aislante.
- Menor densidad
- Libre de agrietamiento causado por condiciones ambientales
- Tiene un punto de fragilidad más alto (temperatura de transición vítrea)

TRANSICIÓN VITREA		CONDUCTIVIDAD TÉRMICA		DENSIDAD	
PLÁSTICO	T _g (°C)	PLÁSTICO	K (W/Mk)	PLÁSTICO	ρ (g/cm ³)
Polietileno alta densidad (HDPE)	-90	Polietileno alta densidad (HDPE)	0.48	Polietileno alta densidad (HDPE)	0.96
Polietileno Baja Densidad (LDPE)	-110	Polietileno Baja Densidad (LDPE)	0.33	Polietileno Baja Densidad (LDPE)	0.92
<u>Policloruro de Vinilo (PVC)</u>	75-105	<u>Policloruro de Vinilo (PVC)</u>	0.18	<u>Policloruro de Vinilo (PVC)</u>	1.4
Polipropileno(PP)	-20	Polipropileno(PP)	0.12	Polipropileno(PP)	0.9
<u>Poliestireno (PS)</u>	74-105	<u>Poliestireno (PS)</u>	0.13	<u>Poliestireno (PS)</u>	1.04

Tabla 10 Polipropileno Virgen. Datos técnicos del material

El polipropileno virgen a emplear para la evaluación del material por comparación es un Polipropileno copolimero aleatorio de la empresa Repsol, marca ISPLEN PR590C2M con alta fluidez destinado al moldeo por inyección

Matriz. Polipropileno reciclado.

El polipropileno a utilizar en esta investigación será obtenido con la empresa ACTECO, S.A. localizada en Ibi, Alicante, España. Dicha empresa se especializa en el reciclaje y procesamiento de materiales plásticos reciclados. El polipropileno a utilizar proviene de los ganchos de ropa que consume la industria textil en la región.

PROPERTIES	VALUE	UNIT	TEST METHOD
General			
Melt Flow Rate (230 °C; 2.16 kg)	35	g/10 min	ISO 1133
Density	905	kg/m ³	ISO 1183
Mechanical			
Flexural Modulus	1050	MPa	ISO 178
Charpy Impact Strength Notched 23 °C	6	kJ/m ²	ISO 179
Thermal			
Heat Deflection Temperature 0.45MPa	70	°C	ISO 75

Tabla 11 Polipropileno Reciclado. Datos técnicos del material

Matrices comparativas.

Se han elegido dos matrices comparativas de materiales plásticos, en este caso el PEAD (Polietileno de alta densidad) siendo el plástico con mayor porcentaje de reciclaje en México ¹, y el segundo plástico de mayor consumo después del Polipropileno².

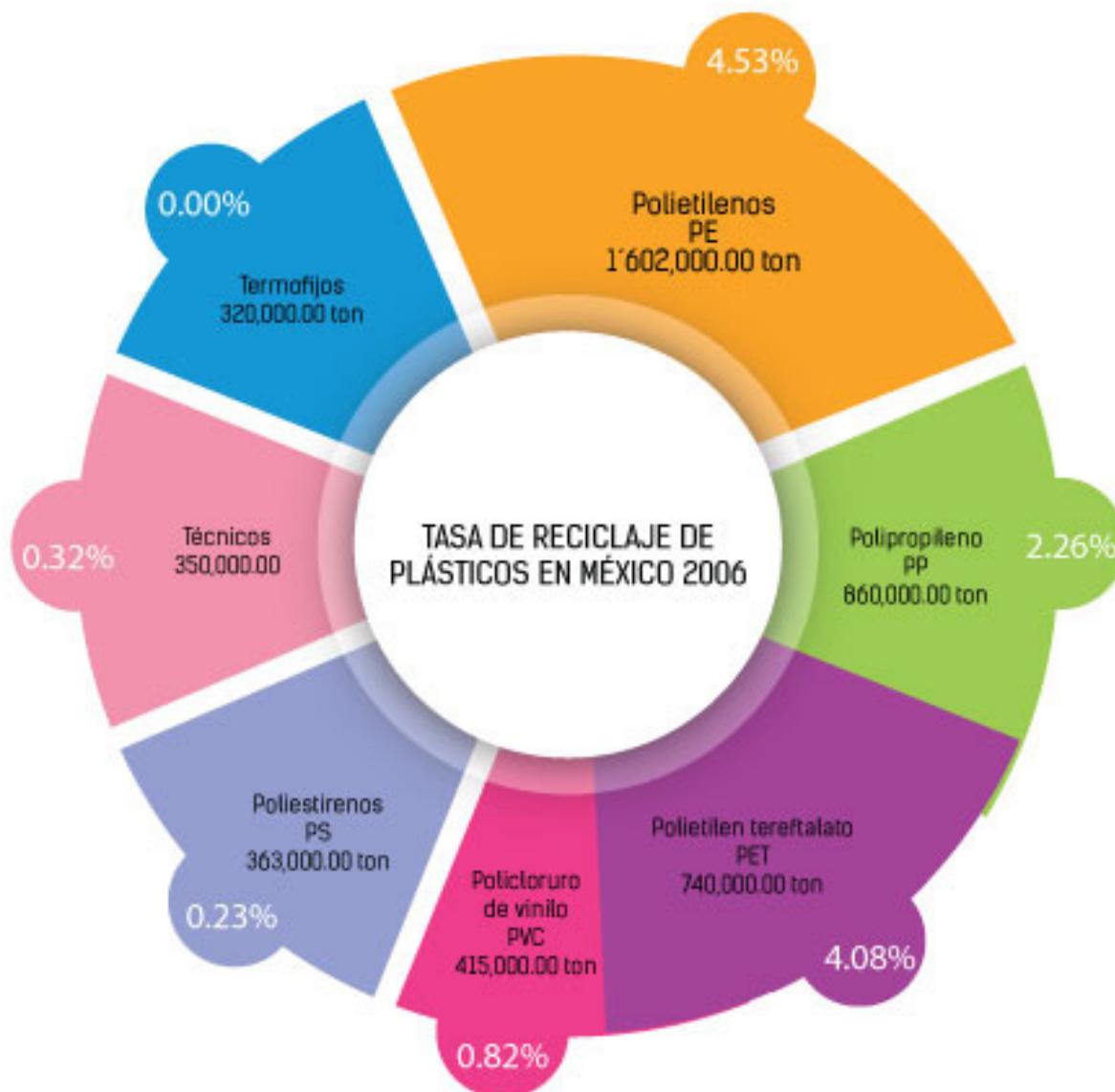
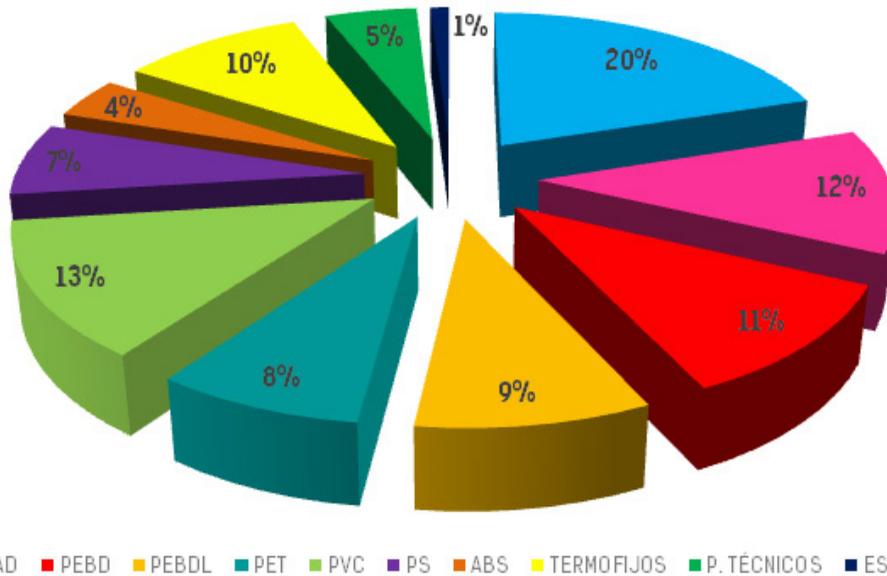


Tabla 12. Tasa de reciclaje de plásticos en Mexico

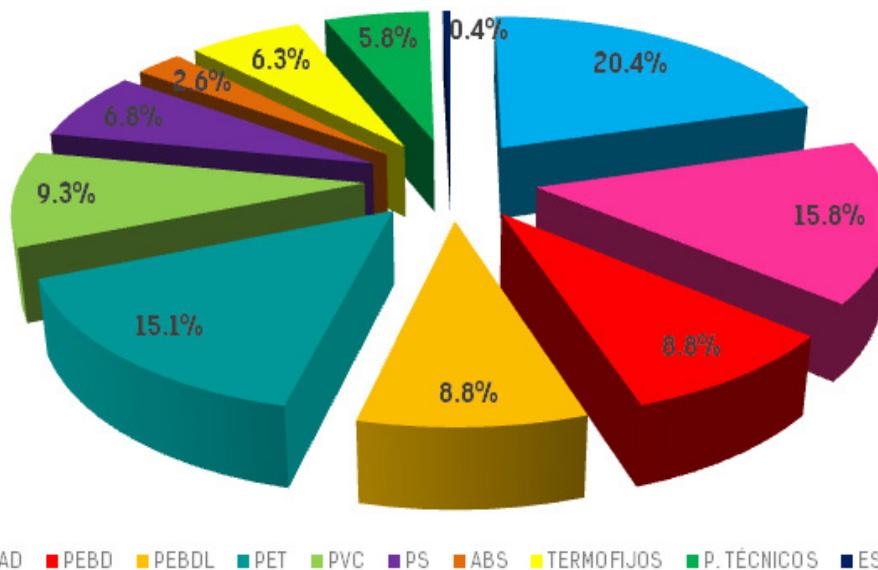
¹ Tasa de reciclaje de plásticos en México. Fuente: IMPI, 2006.
² Consumo por tipo de plástico. IMPI, 2010.

CONSUMO POR TIPO DE PLÁSTICO A NIVEL MUNDIAL [2010]



En la gráfica #01 podemos observar que el plástico con mayor consumo en el mundo es el polipropileno con un 20% seguido por el PVC con un 13% y el PEAD con un 12%.

CONSUMO POR TIPO DE PLÁSTICO EN MÉXICO [2010]



En la gráfica #02 podemos observar que el plástico con mayor consumo en México es el polipropileno con un 20.4% seguido por el PET con un 15.1% y el PEAD con un 15.8%.

El PEAD a utilizar será el obtenido por la empresa Braskem de la marca l'M GREEN, siendo un biopolímero realizado con etanol proveniente de la caña de azúcar y no del petróleo.

Al igual que en la matriz de polipropileno, se tendrá una muestra comparativa del PEAD reciclado, en este caso obtenido de bandejas de pescado, en forma de hojuelas que posteriormente se someterá a molienda para la obtención de pellets para su procesamiento. Al ser un material no comercial se tendrán datos mas precisos al hacerle caracterizaciones posteriores a esta investigación.

PE Verde														
Moldeo por Inyección														
Propiedades Típicas	Índice de Fluencia (190 °C / 2,16 kg)	Índice de Fluencia (190 °C / 21,6 kg)	Densidad	Tensión de Fluencia ^{#1}	Tensión de Rotura ^{#1}	Módulo de Flexión (secante al 1%) ^{#1}	Dureza (Shore D) ^{#1}	Resistencia al Impacto Izod ^{#1}	Resistencia a Fisuras por Efectos Ambientales (10% Igpaal) ^{#11}	Resistencia a Fisuras por Efectos Ambientales (100% Igpaal) ^{#11}	Temperatura de Ablandamiento Vicat ^{#1}	Temperatura de Deflexión Térmica ^{#1} (0,45M Pa)	Tiempo mínimo de C14	
Método ASTM	D 1238	D 1238	D 792	D 638	D 638	D 790	D 2240	D 256	D 1693	D 1693	D 1525	D 648	D 6866	
Unidades	g/10 min	g/10 min	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	-	J/m	h (F50)	h (F50)	°C	°C	%	
PEAD	SHA7260	20	-	0,955	29	25	1150	60	20	-	-	121	67	94
	Baldes y vajillas, tapas, juguetes, piezas de paredes finas, utilidades domésticas; embalajes para cosméticos y productos farmacéuticos (cumple la norma USP37).													
	SHC7260	7,2	-	0,959	29	18	1375	63	35	-	-	126	74	94
	Contenedores industriales, cascos de seguridad, asientos sanitarios, utilidades domésticas, juguetes, tapas, pallets y cajas para botellas de bebidas; cajas para pescados y hortofrutícolas; embalajes para cosméticos y productos farmacéuticos (cumple la norma USP37).													
	SHD7255LSL	4,5	-	0,954	27	16	1150	60	45	-	-	124	69	94
Basureros; cajas para pescados y hortofrutícolas, cajas para uso industrial y uso general.														
PEAD	SGE7252	2,0	-	0,952	26	32	1100	62	50	15	60	125	66	96
	Tapas para bebidas.													
PEAD	SHC7260LS-L	7,2	-	0,959	29	18	1375	63	35	-	-	126	74	94
	Contenedores industriales, cascos de seguridad, cajas para pescados y hortofrutícolas, asientos sanitarios, utilidades domésticas, juguetes, tapas, pallets.													
PEBD	SPB208	22,0	-	0,923 ^{#4}	10	8	250	45	NB	-	-	87	43	95
	Masterbatches Inyección de piezas con gran área plana. Tapas.													
PEBD	SPB608	30,0	-	0,915 ^{#4}	8	9	150	42	NB	-	-	79	42	95
	Masterbatches Inyección de piezas con gran área plana. Tapas.													

Tabla 13. Datos técnicos del material. PE VERDE

PARTES DE UNA GUADUA

DESCRIPCIÓN	UTILIZACIÓN
COPA Parte apical de la guadua con una longitud de 1,20 a 2,00 m.	Se replica en el suelo del guadua como aporte de materia orgánica.
VARILLON Sección de menor diámetro. Su longitud tiene aproximadamente 3 metros.	Se utiliza en la construcción como correa de techos con tejas de barro o de paja. Se emplea como tutor en cultivos transitorios.
SOBREBASA Es un tramo de guadua con buen comercio debido a su diámetro, que permite un uso variado. Posee una longitud aproximada de 4 metros.	Utilizada como elemento de soporte en estructuras de concreto de edificios en construcción. También se emplea como viguetas para formalear planchas y como postes de espalderas en cultivos.
BASA Parte de la guadua que mayores usos tiene, debido a su diámetro intermedio. Es la sección más comercial de la guadua. La longitud es de 8 metros aproximadamente.	De esta sección se elabora generalmente la esterilla, la cual tiene múltiples usos: en construcción de paredes, casetones y formaleas de planchas. Esta parte se utiliza como vigas y columnas en construcciones nuevas de guadua.
CEPA Sección basal del culmo de mayor diámetro, debido a sus entrenudos más cortos proporciona una mayor resistencia y tiene una longitud de 3 metros.	Se utiliza como columnas en construcción y para cercos.
RIZOMA Es un tallo modificado, subterráneo, que se conoce popularmente como "caimán"	En decoración, muebles y juegos infantiles.

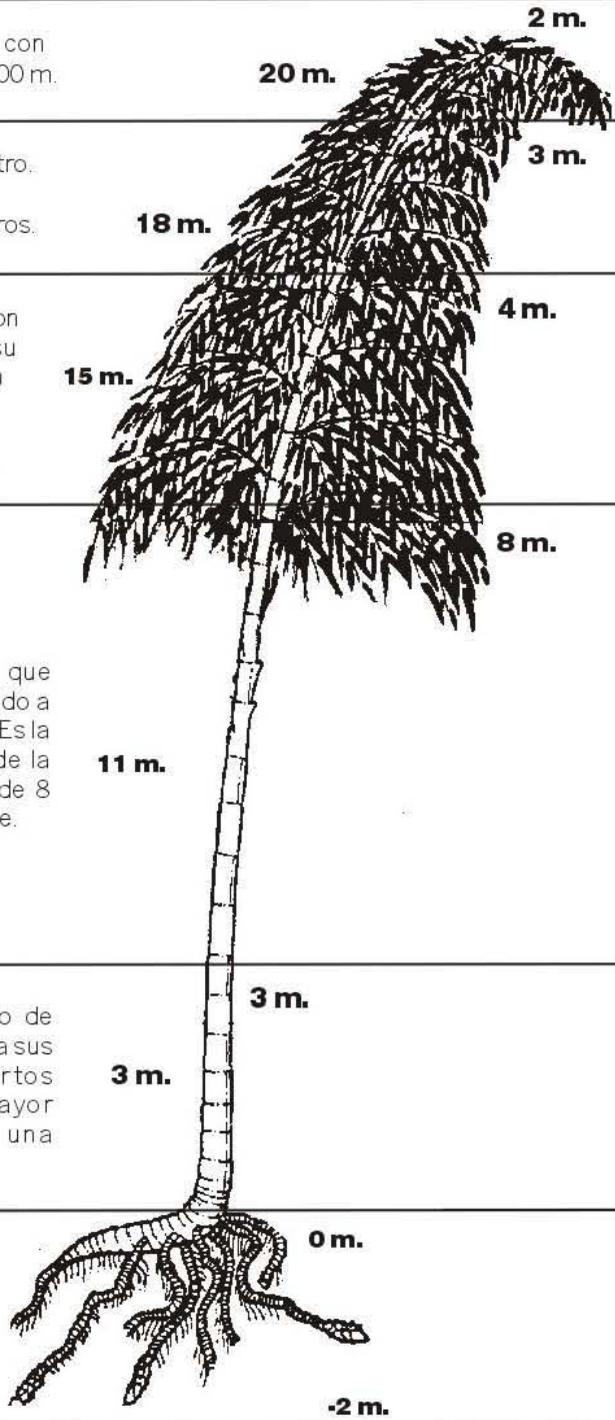


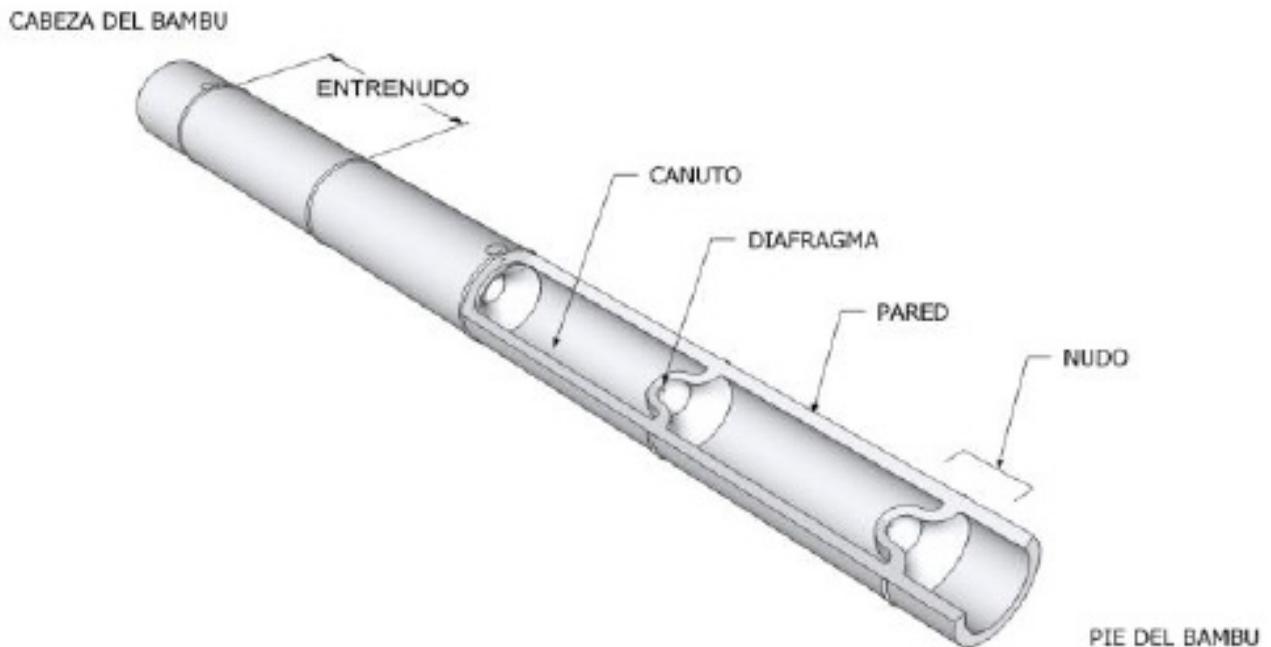
Imagen 17 Partes de una Guadua

Refuerzo. Fibra de bambú

En esta investigación se utiliza bambú *Guadua Angustifolia*, proveniente de Huatusco, Veracruz, con una localización favorable para su cosecha, a una altitud de 1344msnm y una temperatura promedio de °22C, así como el Bambú *Guadua Angustifolia*, proveniente del Valle del Cauca, Colombia, con una localización a una altitud de entre 950 a 1500 msnm, con una temperatura promedio de °24. Ambos materiales han sido sometidos a tratamiento de curado en Inmersión en sales de bórax y ácido bórico (proporción 1:1) en disolución al %5 durante 5 días, y tienen una edad promedio de 4 años. Se realizará un análisis comparativo con el bambú de ambas regiones empleando la parte del varillón, que es un tramo localizado en la parte superior del bambú, no aprovechado en los procesos industriales y constructivos del material, empleándose como materia orgánica para el suelo.

Las fibras de bambú se extrajeron de varillones del culmo, cortados a los 4 años de edad. Contando con un diámetro con un rango de 2" a 2/1 2".

Imagen 18 Partes de una Guadua



OBTENCIÓN DE LA FIBRA

Se trabajará con tres bambúes diferentes, uno de ellos, el bambu *Phyllostacus Nigra* solo se empleará para ensayos de molienda y tamizado. Se tendrá bambú *Guadua Angustifolia* de origen colombiano y Mexicano con condiciones similares tanto en el lugar de origen como en los proceso de molienda y tamizado. Estos dos últimos son los que se emplearan en las mezclas a analizar en esta investigación.

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN
Culmo de Bambú <i>Guadua</i> Preservado de 2 ½" de diámetros Origen: Huatusco	Varas de bambú <i>Guadua</i> tratadas y curadas, proceso elaborado por la empresa, Bambúes. Altitud: 1344msnm Temperatura: 22°C Tratamiento de curado en Inmersión en sales de bórax y ácido bórico (proporción 1:1) en disolución al 5% durante 5 días
Culmo de Bambú <i>Guadua</i> Preservado de 2 ½" de diámetro Origen: Valle del Cauca, Colombia	Varas de bambú <i>Guadua</i> tratadas y curadas, proceso elaborado por la empresa, Bambús Altitud: 950 a 1500msnm Temperatura: 24°C Tratamiento de curado en Inmersión en sales de bórax y ácido bórico (proporción 1:1) en disolución al 5% durante 5 días

Tabla 13. Descripción del bambú utilizado.



Imagen 19. Varillón de bambú *guadua angustifolia*. Colombiana y Mexicana.

En esta investigación se trabajará con dos tamaños de fibras, 500 μ y 250 μ , para poder comparar el comportamiento de las mismas en las diversas pruebas a realizar y escoger el mejor resultado. .

Origen: Huatusco, Veracruz, México

La extracción de las fibras se realiza por medios mecánicos, tomando el varillón en su totalidad, llevando a cabo este proceso sometiendo al bambú al proceso de molienda por medio de una trituradora 2000 con motor 9.5HP marca Honda, con criba de 8/5" y 16/3".

El varillón se somete a molienda con dos tamaños de cribas que harán que se repita el proceso en tres ocasiones, hasta llegar a un tamaño de fibra adecuado para posteriormente separarlo por medio de un sistema de tamices. La molienda de las fibras fue realizada en Tuxtla Gutierrez, Chiapas.

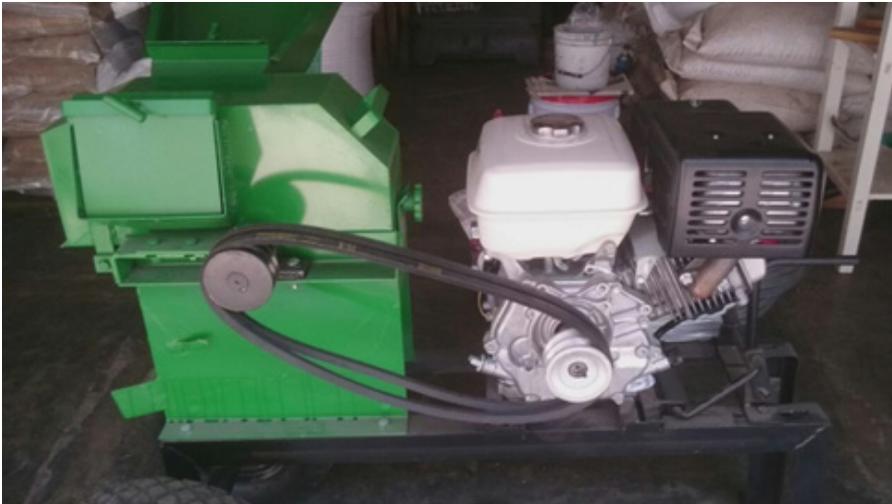


Imagen 20. Trituradora 2000 Motor 9.5HP Honda, Criba de 5/8» y 3/16»

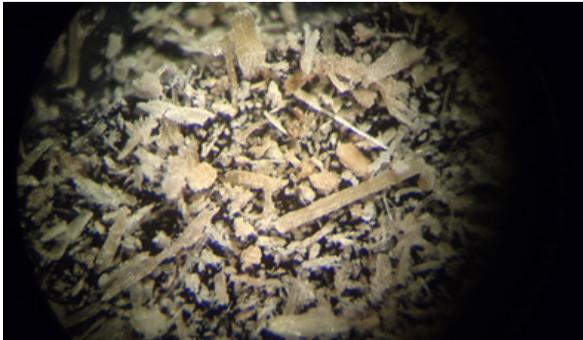
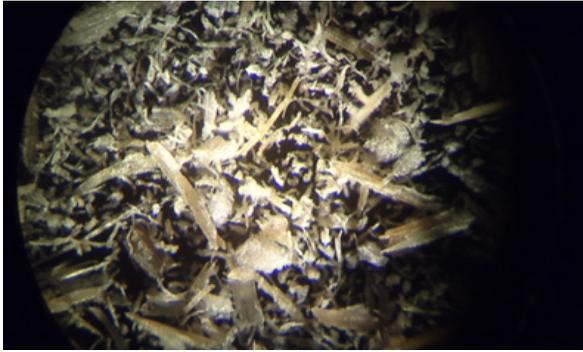


Imagen 21. Obtención de la fibra.

TAMIZADO. Análisis de las características de la fibra.

Se ha realiza el tamizado de las fibras por medio de una tamizadora marca CISA modelo RP09; la serie de tamices utilizados son 0.5mm y 0.25mm. la tamizadora se programó por 10 minutos en el rango 9 de velocidad.

La fibra se sometió a una separación de tamaños por medio de tamices, empleando 500 μ y 250 μ , sin embargo las medidas reales de las fibras varían en cuanto a longitud y diámetro, por lo que para lograr un mejor conocimiento acerca de las características de las fibras, se emplea un análisis de imagen con Microscopía óptica y software OMNIMET.



Este equipamiento, de marca BUEHLER OMNIMET (modelo ENTERPRISES 861000), se ensambla al microscopio a través de una videocámara a color (SONY, modelo SSC-DC58AP), permite la captura y el posterior tratamiento de las imágenes. Una vez guardadas éstas se procede a elaborar una secuencia de pasos que permiten la cuantificación de aquello que se desea obtener en la misma.

A estas secuencias se les llama rutinas. En este proceso se deben generar las rutinas dependiendo de las necesidades requeridas y de lo que se quiere cuantificar.

Dentro de una rutina aparecen una serie de herramientas que aportan mejoras en la calidad de las micrografías y que facilitan la cuantificación de ciertos parámetros solicitados al final de dicha rutina, como pueden ser; diámetro circular, diámetro esférico, relación de aspecto, esfericidad, distribución de tamaños de las partículas, fracción de volumen de las fases, etc.

Fase de análisis en proceso. A continuación se muestran las imágenes obtenidas del microscopio antes mencionado.

El análisis (en proceso) se realizará comparando las fibras sometidas a tratamiento y la fibra sin tratamiento. Las imágenes obtenidas para su análisis se hicieron de los 2000 a los 56000 aumentos, con los que se trabajará para su caracterización.

Sin embargo, observando las imágenes preliminares, se puede ver que tanto la fibra tamizada con 250 μ y 500 μ tiene variaciones tanto de diámetro como de longitud visibles en las siguientes imágenes.

TRATAMIENTO

Esta fibra se someterá a un proceso de tratamiento para comparar posteriormente con la mezcla realizada con el bambú Colombiano procesado sin tratamiento alguno en la fibra, y analizar si existe mejora en el acoplamiento de la matriz con la fibra.

El tratamiento del bambú mexicano (BGAMX) se realizará con Hidróxido Sódico y Silano, con asesoría del Doctorando Daniel García García, siguiendo el método realizado con fibras naturales realizado en su investigación titulada "Estudios sobre biocomposites obtenidos a partir de residuos de Poseidonea Oceánica" que "consiste en sumergir las fibras, previamente lavadas con agua y escurridas, en un recipiente plástico que contiene una disolución de agua destilada e Hidróxido Sódico, dicha solución está compuesta por %5 de Hidróxido Sódico con respecto a la cantidad de agua introducida en el recipiente".

El tratamiento se realizará con 900g de fibra de bambú Guadua Angustifolia con un tamaño de 500 μ y 900g de fibra de un tamaño de 250 μ . Las fibras se dejaron sumergidas por 48 hrs y posteriormente se lavaron con agua usando un tamiz de 63 μ para separar la fibra.

Posteriormente, se secan las fibras en una estufa marca SELECTA, a una temperatura de °60C por 5 días, verificando el nivel de humedad al tercer día, decidiendo por la textura, dejarla hasta el quinto día en estas condiciones; el tratamiento de silicato se realizará un día previo a someter la fibra al proceso de extrusión en cuanto se tengan los resultados de las pruebas mecánicas.

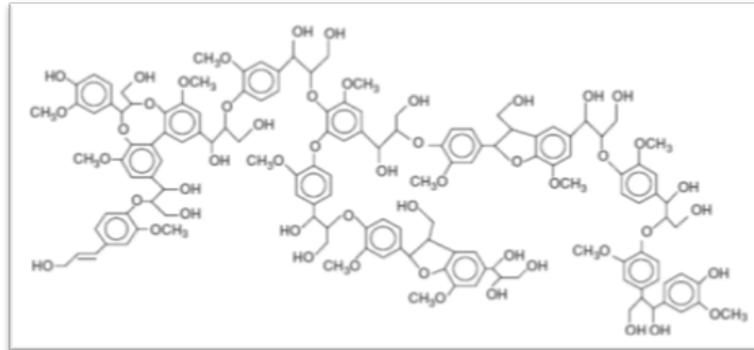
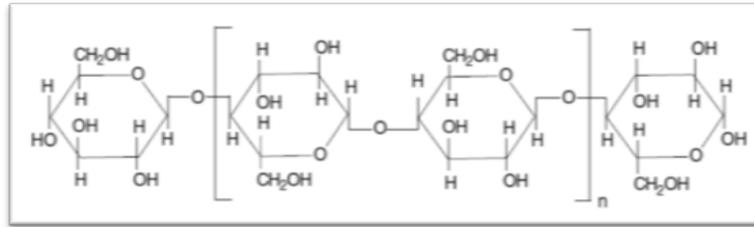
Preparación de tratamiento de fibra BGAMX

Hidróxido sódico.

Para realizar el tratamiento alcalino (o mercerización) a las fibras de Posidonia se ha empleado sosa cáustica en escamas, con una pureza del %99, Figura IV.4, que ha sido suministrada por la compañía COFARCAS S.A.

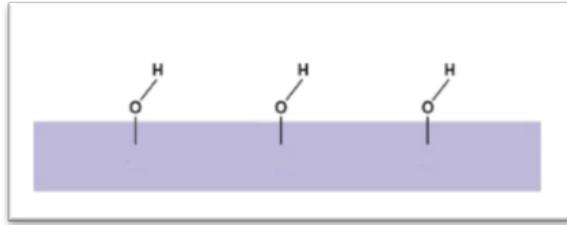


Con el tratamiento alcalino lo que se busca principalmente es la limpieza y modificación estructural de la superficie de las fibras para formar una mejor interfaz con la resina, es decir, dicho tratamiento consiste en un tratamiento de activación de la superficie de la fibra, y lo que se pretende conseguir es sacar a la superficie los grupos hidroxilo (OH) que forman parte de la estructura química de la fibra de Bambú.

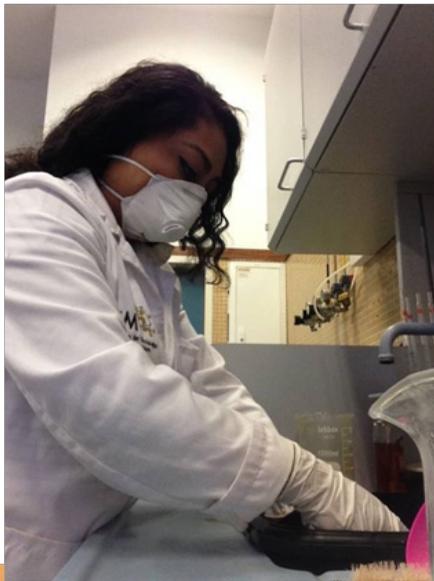


Como se observa ambos componentes de la fibra, poseen una gran cantidad de grupos hidroxilos en su estructura química, por tanto con el tratamiento alcalino lo que se pretende conseguir es que dichos grupos hidroxilos afloren a la superficie gracias a la reacción química producida con el hidróxido sódico (NaOH), Con dicho tratamiento de apertura de la química de la estructura se está preparando a la fibra para incorporar un agente de acoplamiento o para conseguir una mejor unión de la fibra con la matriz, es decir mejorar la interfaz matriz-refuerzo.





Limpieza de la fibra

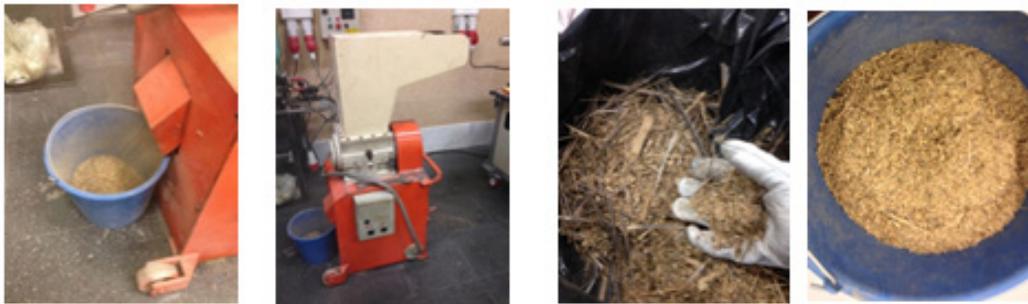


Origen: Alcoy, España

(Bambú *Phyllostachus Nigra*, muestras de prueba de maquinaria y tamizado)

Se realizó la gestión del material de la región a utilizar, localizando una especie de bambú en la región (*bambusa phyllostachys nigra boryana*) para la realización de pruebas de trituración, molienda y tamizado de las fibras en la maquinaria con la que se cuenta. Se ha realizado el tamizado de las fibras por medio de una tamizadora marca CISA modelo RP09; la serie de tamices utilizados fueron 4mm, 2mm, 1mm, 0.5mm y 0.25mm.

La extracción de las fibras se realiza por medios mecánicos, tomando el varillón en su totalidad, llevando a cabo este proceso sometiendo al bambú al proceso de molienda por medio de una trituradora de plástico.



TAMIZADO DE FIBRAS DE BAMBU PHYLLOSTHACHYS NIGRA

Origen: Colombia

El material adquirido es Bambú Guadua Angustifolia en cañas de 95cm, con un grosor con un rango de 1 a 2 cm. Se adquirió con la empresa Bambusa, situada en Valencia, España quien ha realizado el tratamiento de las fibras mencionado en la tabla antes presentada. El origen de las fibras como bien se mencionó, es colombiano.

El corte de material se realizó con una sierra de disco, en tramos de 10cm aproximadamente, para posteriormente someterla a trituración.

El tamizado de las fibras, se llevó a cabo en la tamizadora marca CISA modelo RP09; la serie de tamices utilizados fueron 4mm, 2mm, 1mm, 0.5mm y 0.25mm, de igual forma que con el bambú *Philostachys Nigra*.

Generación del material compuesto

Procesos de mezcla, diseño de las mezclas, comparación de materiales, obtención de probetas y procesos para pruebas.

Se hizo el diseño de la mezcla utilizando en Bambú Guadua Angustifolia Colombiano (BGAC) como refuerzo, estableciendo cuatro tipos de plásticos, combinados con dos tamaños de fibras diferentes, 250µ y 500µ, su configuración de mezcla se detalla en la tabla 1.2 anexa a este documento, en la cual se establecen dos porcentajes diferentes de relación Matriz-fibra, la primera de %80 a %20 y %60 a %20 respectivamente.

El objetivo de contar con diferentes tipos de plásticos y tamaños de fibras, es para analizar su comportamiento ante las pruebas mecánicas a la que serán sometidos, así como para el análisis de la mezcla por medio de Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo, para ver la homogeneidad de matriz-fibra. esto con la finalidad de analizar el comportamiento de dichas mezclas y obtener la mezcla con el mejor comportamiento para posteriormente realizarlo con la fibra BGAMX.

DISEÑO DE MATERIAL COMPUESTO									
	PLÁSTICO	BAMBÚ	TAMAÑO DE PARTÍCULA	ADHERENTE (ANHIDRIDO MALEICO)	ADHERENTE EN PESO	Porcentaje de Mezcla de plástico	Porcentaje de mezcla de fibra de refuerzo	PESO PLÁSTICO (KG)	PESO FIBRA (KG)
1	BIOPEAD VIRGEN	BGAC	500µ	3%	0.024	80	20	0.6208	0.1552
2	PEAD Reciclado	BGAC	500µ	3%	0.024	80	20	0.6208	0.1552
3	PPV	BGAC	500µ	3%	0.024	80	20	0.6208	0.1552
4	PPR	BGAC	500µ	3%	0.024	80	20	0.6208	0.1552
5	BIOPEAD VIRGEN	BGAC	250µ	3%	0.024	80	20	0.6208	0.1552
6	PEAD Reciclado	BGAC	250µ	3%	0.024	80	20	0.6208	0.1552
7	PPV	BGAC	250µ	3%	0.024	80	20	0.6208	0.1552
8	PPR	BGAC	250µ	3%	0.024	80	20	0.6208	0.1552



POLIETILENO RECICLADO. POLIPROPILENO VIRGEN POLIPROPILENO RECICLADO. POLIETILENO VERDE VIRGEN



Agentes acoplantes

Se utilizarán dos agentes acoplantes diferentes para cada tipo de plástico, siendo el Anhídrido Maleico empleado en un %3 del peso de la mezcla de los Polipropilenos y el Poly(ethylene-co-glycidyl methacrylate) (PEGM) en un %3 del peso de la mezcla de PEAD.

Según datos realizados por el doctorando Nestor Montanes, en su estudio "Processing and characterization of a biocomposite based on biopolyethylene and thymus moroderi" realizando 5 comparaciones de agentes acoplantes para Polietileno y fibras naturales, la mezcla que mejor acoplamiento presentó, fue en la que se empleó Poly(ethylene-co-glycidyl methacrylate) (PEGM) como el mayor compatibilizador. Afirmando que el PEGM es el agente de acoplamiento que mejores propiedades mecánicas presenta debido a la mejora entre la matriz y el relleno (N. Montanes*, 2016)

DISEÑO DE MATERIAL COMPUESTO

	PLÁSTICO	BAMBÚ	TAMAÑO DE PARTÍCULA	ADHERENTE (ANHIDRIDO MALEICO)	ADHERENTE EN PESO	Porcentaje de Mezcla de plástico	Porcentaje de mezcla de fibra de refuerzo	PESO PLÁSTICO (KG)	PESO FIBRA (KG)
1	BIOPEAD VIRGEN	BGAC	500µ	3%	0.024	80	20	0.6208	0.1552
2	PEAD Reciclado	BGAC	500µ	3%	0.024	80	20	0.6208	0.1552
3	PPV	BGAC	500µ	3%	0.024	80	20	0.6208	0.1552
4	PPR	BGAC	500µ	3%	0.024	80	20	0.6208	0.1552
5	BIOPEAD VIRGEN	BGAC	250µ	3%	0.024	80	20	0.6208	0.1552
6	PEAD Reciclado	BGAC	250µ	3%	0.024	80	20	0.6208	0.1552
7	PPV	BGAC	250µ	3%	0.024	80	20	0.6208	0.1552
8	PPR	BGAC	250µ	3%	0.024	80	20	0.6208	0.1552
9	BIOPEAD VIRGEN	BGAC	500µ	3%	0.024	60	40	0.4656	0.3104
10	PEAD Reciclado	BGAC	500µ	3%	0.024	60	40	0.4656	0.3104
11	PPV	BGAC	500µ	3%	0.024	60	40	0.4656	0.3104
12	PPR	BGAC	500µ	3%	0.024	60	40	0.4656	0.3104
13	BIOPEAD VIRGEN	BGAC	250µ	3%	0.024	60	40	0.4656	0.3104
14	PEAD Reciclado	BGAC	250µ	3%	0.024	60	40	0.4656	0.3104
15	PPV	BGAC	250µ	3%	0.024	60	40	0.4656	0.3104
16	PPR	BGAC	250µ	3%	0.024	60	40	0.4656	0.3104

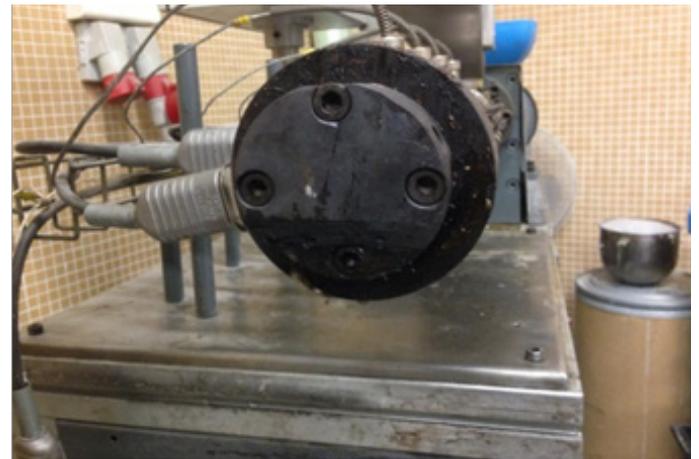
Diseño de material compuesto

Obtención de la mezcla

Extrusión del material.

La extrusión del material se llevó a cabo en una extrusora de doble Husillo a diversas temperaturas de acuerdo a la zona; las mezclas se sometieron a temperaturas de 185 a 250°C, la extrusora cuenta con cuatro zonas a lo largo de los husillos, que van desde 185°C en la zona 1, 215,1°C en la zona 2, 250,2°C en la zona 3 y finalmente 226°C en la zona 4. Después de obtener las diferentes mezclas fueron enfriadas a temperatura ambiente y posteriormente se molieron para obtener pellets. La extrusión se llevó a cabo en el laboratorio de Procesos de fabricación de materiales, con la supervisión del Dr. Octavio Fenollar Gimeno.

Una vez obtenido el material extruido, se enfrió a temperatura ambiente y se molió en la trituradora de plástico para la obtención de pellets que posteriormente se someterán a inyección para formar las probetas necesarias.





Inyección del material para obtención de probetas

La inyección del material en pellets, se realiza en la inyectora marca Erinca, S.L. Serie Sprinter11- la cual realiza la inyección por medio de un husillo de plastificación con válvula incorporada, con la supervisión del Doctorando José Miguel Ferri Azor, en el laboratorio de Procesos de fabricación de materiales

Los parámetros empleados para el procesamiento de inyección de la primera mezcla de PEADV500+ μ BGAC+PEGM con una proporción de 20/80, matriz-refuerzo respectivamente, fueron los siguientes:

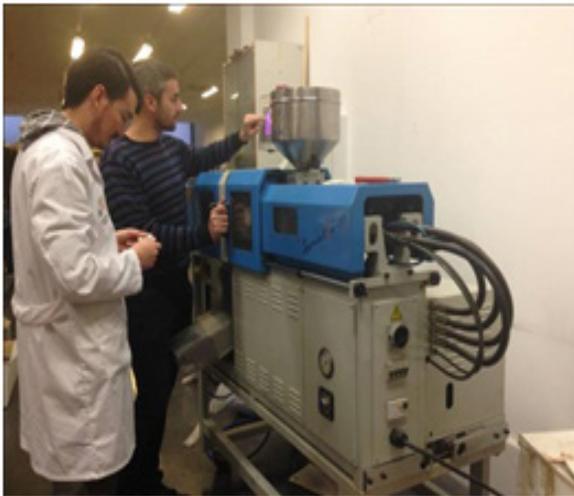
APERTURA CIERRE DE MOLDE	
VELOCIDAD DE APERTURA	50%
TIEMPO DE APERTURA	0.4
VELOCIDAD DE CIERRE	24%
TIEMPO DE ENFRIAMIENTO	15.0

EXPULSOR HIDRAULICO	
VELOCIDAD RETROCESO	40%
VELOCIDAD AVANCE	45%
TIEMPO EXPULSOR DELANTE	0.3
NUMERO DE EXPULSIONES	4

TIEMPOS	
CICLO	81.7
AVANCE DE INYECCION	0.9
SEGURO MOLDE	9.9
INYECCION	2.1
ENFRIAR	15.0
APERTURA	0.4
EXPULSOR DELANTE	0.3
RETENCION	5.5
SOPLADO	2.0

COTA DE CARGA	
VELOCIDAD DE CARGA	55%
COTA DE CARGA	22.4
COTA DE SUCCION	10

TEMPERATURA	
BOQUILLA	180°C
ZONA 2	180°C
ZONA 3	180°C
ACEITE	43



Máquina de inyección. Laboratorio de Procesos de Molde de probetas normalizado fabricación de materiales.

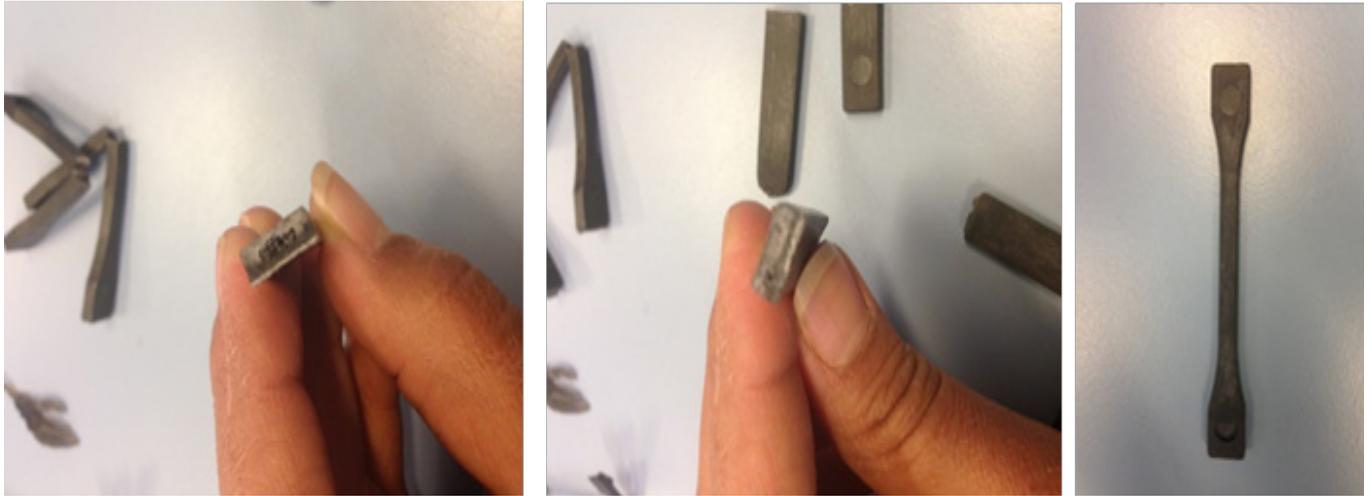


Probetas de PEADV+500µBGAC

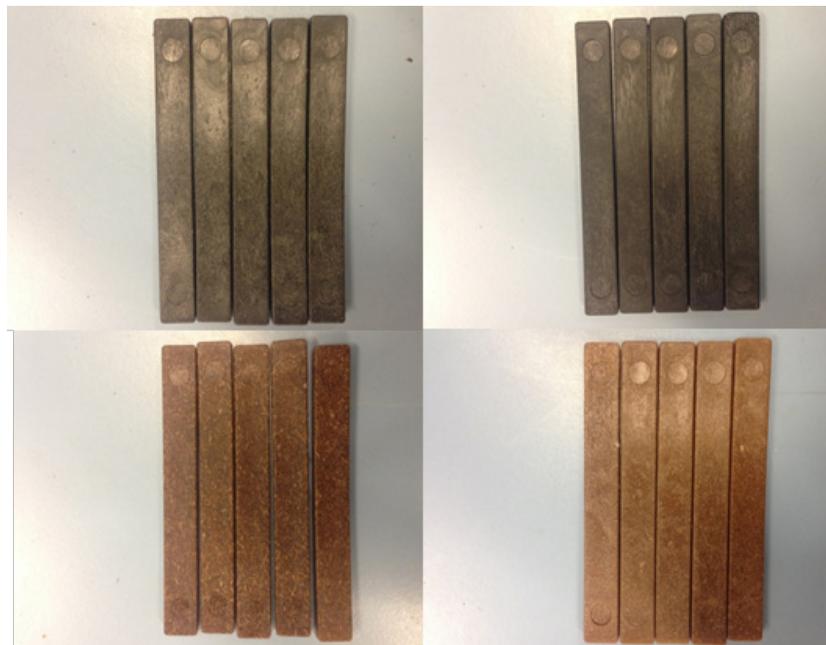
Se realizaron diversas pruebas previas para regular los parámetros establecidos para esta mezcla pues para cada material el proceso de inyección cambia, las principales modificaciones se dieron en el tiempo de apertura del molde, la retención del mismo, y en la cota de carga, regulándolos hasta obtener una inyección del molde uniforme y buscando no generar burbujas en el interior de las probetas, posiblemente generadas por la falta de compactación de la inyección o la humedad del material, considerando que las fibras que se emplearon para esta mezcla no tienen ningún tipo de tratamiento previo más que la conformación del agente acoplante en el compuesto.

Se realizó una segunda prueba para obtener los parámetros a usar en el lote de probetas de Polipropileno Virgen y reciclado, con los parámetros utilizados en el PEAD, sin embargo se replantearon tanto la cantidad de carga de material como el tiempo de inyección, pero al cortar las probetas de manera manual, se identificaron burbujas al interior de las mismas, por lo que se decidió someter a 24hrs de secado de las mezclas para descartar la mayor humedad posible contenida y posteriormente ajustar el proceso de inyección a prueba y error para poder lograr un material homogéneo.

Las pruebas hechas fueron con la mezcla PPR250+µ BGAC+PPAM. Se observó que al ajustar estos parámetros se disminuye la porosidad generada en el interior de la probeta, pero no desaparece. Sin embargo la homogeneidad de la mezcla es uniforme, y el aspecto del material es visualmente favorable.

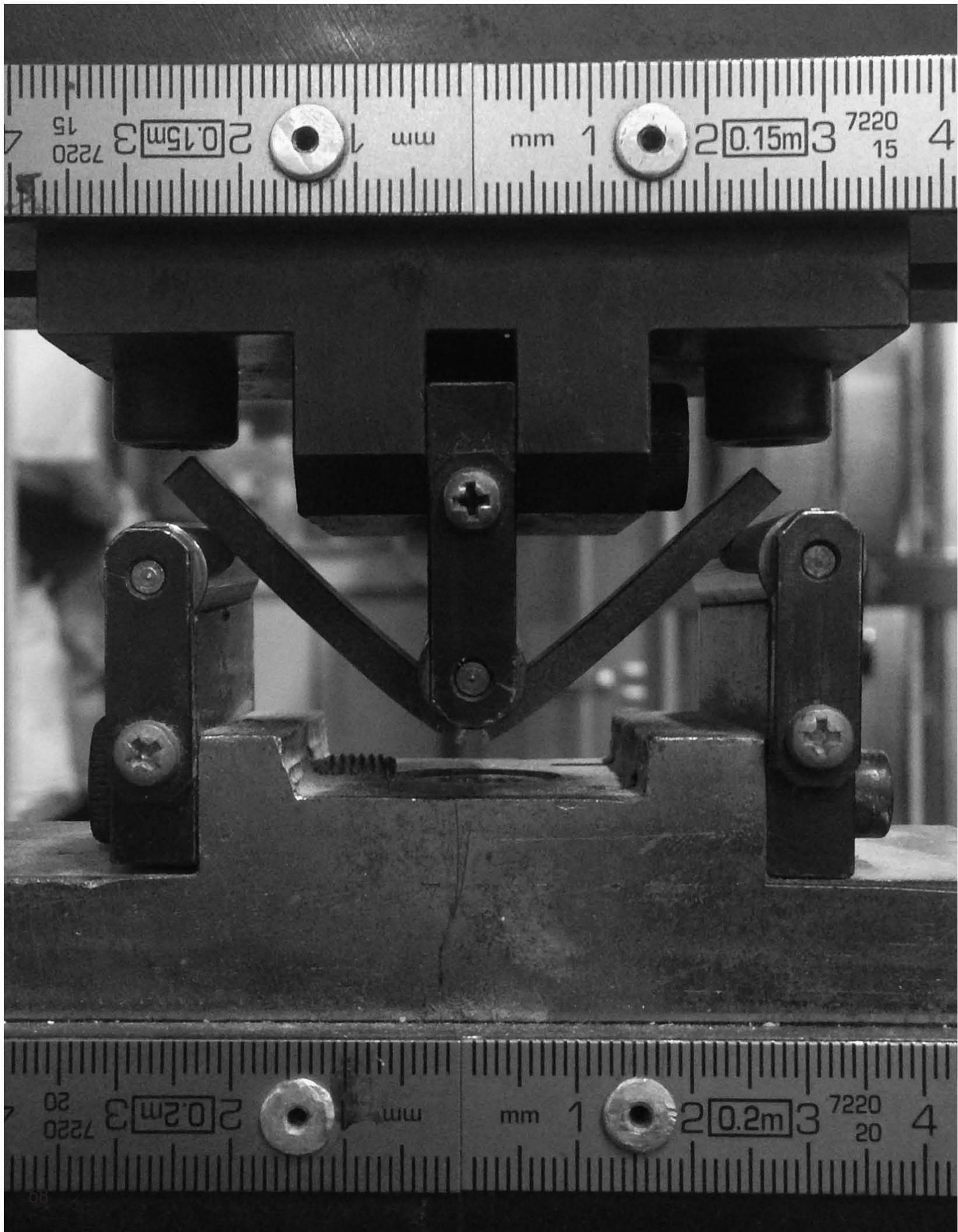


Después de someter el material compuesto a secado por 24hr, se hizo la inyección de las probetas de las mezcla con proporción 20/80 matriz-fibra respectivamente sin presentar anomalías ni interrupciones en el proceso. Las fibras con proporción 40/60 no se pudieron procesar en la inyectora por la falta de capacidad del molde para su realización, por lo que se dejaron pendientes hasta que el molde sea modificado con una entrada superior a la actual.





Caracterización Mecánica



Ensayo de Flexión

El ensayo de flexión de las probetas se ha realizado en una máquina universal de ensayos IBERTEST ELIB 30 (S.A.E. Ibertest, Madrid, España). En ingeniería se denomina máquina universal de ensayos a una máquina semejante a una prensa con la que es posible someter materiales a ensayos de tracción, compresión y flexión para medir sus propiedades, por lo que es ampliamente utilizada en la caracterización de materiales.



El ensayo de flexión se basa en la aplicación de una fuerza al centro de una probeta soportada en cada extremo, para determinar la resistencia del material hacia una carga estática o aplicada lentamente.

Para la realización de los ensayos de flexión se ha seguido la norma UNE EN ISO 178, con una carrera constante de 2 mm/min, y una célula de carga de 5 kN. La información obtenida con dicho ensayo ha sido el módulo elástico en flexión de los materiales ensayados.

PROBETAS ENSAYO FLEXIÓN

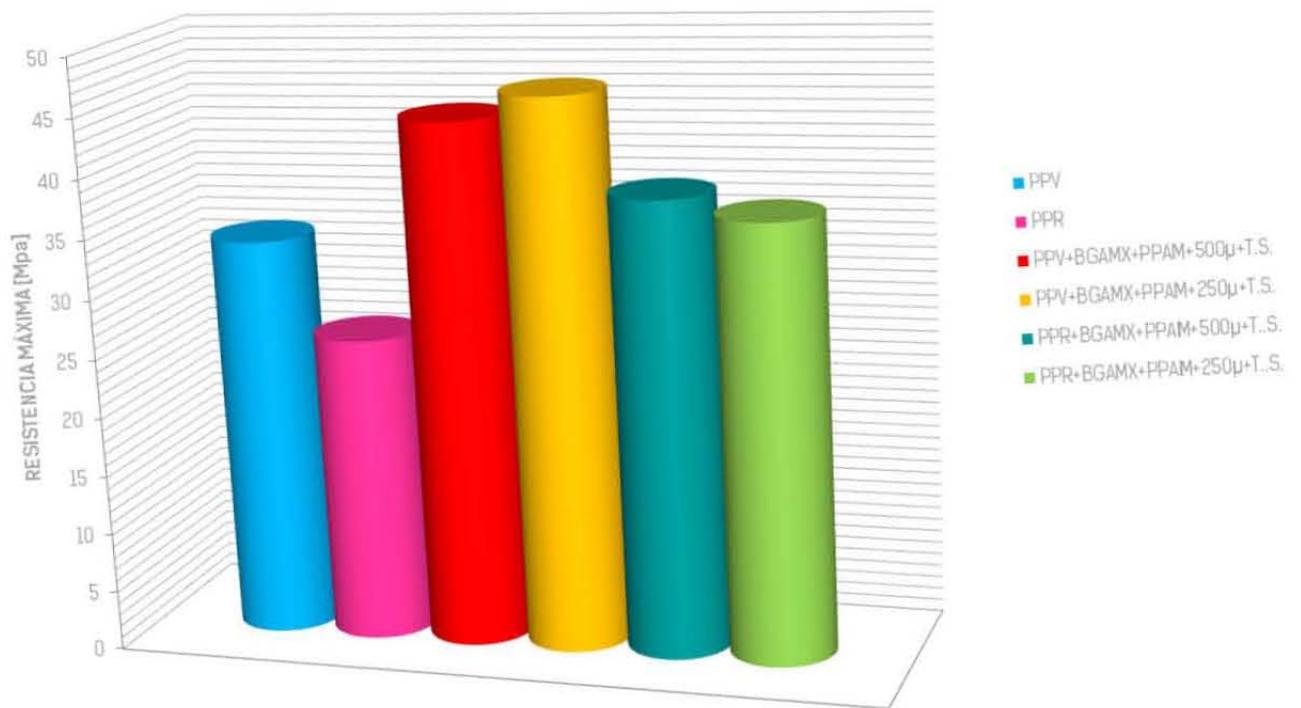
Probetas	Medidas (mm)	Probetas Ensayadas (por muestra)
PPV+500μBGAC+PPAM	Ancho: 10	5
	Alto: 20	
	Espesor: 4 - 6	
PPR+500μBGAC+PPAM	Ancho: 10	5
	Alto: 20	
	Espesor: 4 - 6	
PPV+250μBGAC+PPAM	Ancho: 10	5
	Alto: 20	
	Espesor: 4 - 6	
PPR+250μBGAC+PPAM	Ancho: 10	5
	Alto: 20	
	Espesor: 4 - 6	
PEADV+500μBGAC+PPAM	Ancho: 10	5
	Alto: 20	
	Espesor: 4 - 6	
PEADR+500μBGAC+PPAM	Ancho: 10	5
	Alto: 20	
	Espesor: 4 - 6	
PEADR+250μBGAC+PPAM	Ancho: 10	5
	Alto: 20	
	Espesor: 4 - 6	
PEADR+250μBGAC+PPAM	Ancho: 10	5
	Alto: 20	
	Espesor: 4 - 6	

En el ensayo de flexión se observa que las mezclas realizadas con material de refuerzo son superiores a los materiales vírgenes obteniendo un 29% de mejora entre el material testigo (PPV) y la mezcla con PPV+BGAMX+PPAM+500 μ +T.S

En cuanto a materiales vírgenes la mezcla que mejor desempeño presenta es la que contiene la partícula con un tamaño de 250 μ.. sin embargo en polipropileno reciclado el mejor comportamiento de la mezcla se presenta en la mezcla realizada con fibra de 500 μ, presentando un 46% de mejora en el material comparado con el material testigo (PPR).



FLEXIÓN. RESISTENCIA MÁXIMA





El ensayo de tracción de las probetas se ha realizado en una máquina universal de ensayos IBERTEST ELIB 30 (S.A.E. Ibertest, Madrid, España). En ingeniería se denomina máquina universal de ensayos a una máquina semejante a una prensa con la que es posible someter materiales a ensayos de tracción, compresión y flexión para medir sus propiedades, por lo que es ampliamente utilizada en la caracterización de materiales.

El ensayo de tracción consiste en colocar una probeta normalizada entre las dos mordazas de una máquina universal de ensayos, siendo una mordaza fija y la otra móvil, posteriormente la máquina realiza una fuerza uniaxial creciente, desplazando el cabezal móvil a una velocidad seleccionada, que tiende a provocar un alargamiento de la probeta y cuyo valor se irá incrementando hasta la rotura, la célula de carga envía señales a la computadora la cual genera unos gráficos donde se observan los parámetros requeridos para el estudio.

Para la realización de los ensayos de tracción se ha seguido la norma UNE EN ISO 527-1, con una carrera constante de $5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ y una célula de carga de 5 kN. La información obtenida con dicho ensayo ha sido la resistencia a la tracción (módulo de ruptura) y el módulo de elasticidad (Módulo de Young) de los materiales ensayados.



En el ensayo de tracción se puede observar que el comportamiento es similar al de flexión , siendo las mezclas con PPV¹ y PPR² con cargas de fibra de bambú de 500 μ, las que mejores resultados presentan, aumentando en un 17% ambas mezclas respecto a sus testigos.



1 PPV (Polipropileno Virgen)
2 PPR (Polipropileno Reciclado)



Ensayo de impacto

El ensayo de impacto se realiza con una máquina de ensayo METROTEC con el péndulo 1J, según la norma ISO 179:1993. Este ensayo consiste en dejar caer un péndulo pesado de forma y peso determinados, el cual golpea una probeta que tiene forma rectangular ubicada en la base de la máquina, este ensayo permite medir la resiliencia de los materiales.

Con los resultados de energía absorbida obtenidos en las probetas ensayadas de cada muestra en cada bloque se realiza una media para obtener un valor representativo de cada muestra

PROBETAS ENSAYO IMPACTO

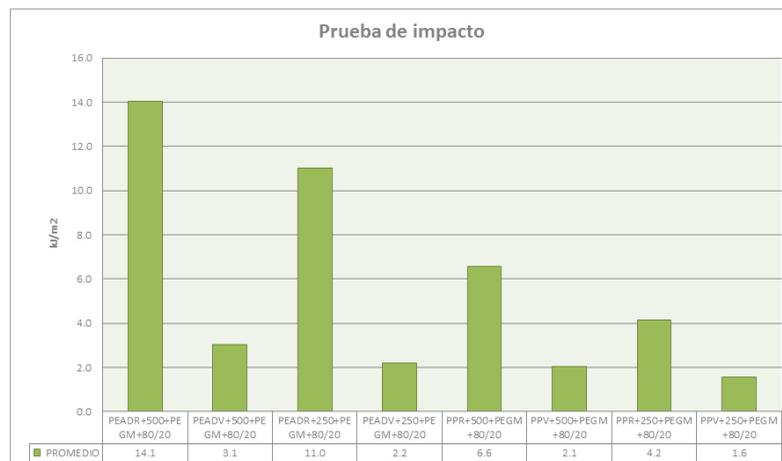
Probetas	Medidas (mm)	Probetas Ensayadas (por muestra)
PPV+500µBGAC+PPAM	Ancho:10	5
	Alto: 20	
	Espesor: 4 - 6	
PPR+500µBGAC+PPAM	Ancho:10	5
	Alto: 20	
	Espesor: 4 - 6	
PPV+250µBGAC+PPAM	Ancho:10	5
	Alto: 20	
	Espesor: 4 - 6	
PPR+250µBGAC+PPAM	Ancho:10	5
	Alto: 20	
	Espesor: 4 - 6	
PEADV+500µBGAC+PPAM	Ancho:10	5
	Alto: 20	
	Espesor: 4 - 6	
PEADR+500µBGAC+PPAM	Ancho:10	5
	Alto: 20	
	Espesor: 4 - 6	
PEADR+250µBGAC+PPAM	Ancho:10	5
	Alto: 20	
	Espesor: 4 - 6	
PEADR+250µBGAC+PPAM	Ancho:10	5
	Alto: 20	
	Espesor: 4 - 6	



A continuación se analizarán los resultados obtenidos tras el ensayo de impacto realizado a las probetas de cada una de las muestras. En este caso la información obtenida tras realizar el ensayo es la energía absorbida por el material (resiliencia), que proporcionará información sobre la tenacidad del mismo.

El ensayo de impacto se ha realizado a cinco probetas de cada una de las cuatro muestras. Con los valores obtenidos tras realizar el ensayo a las probetas de cada muestra, se ha realizado una media para determinar el valor representativo de resiliencia en cada muestra, el cual aparece reflejado en la tabla mostrada en el presente apartado.

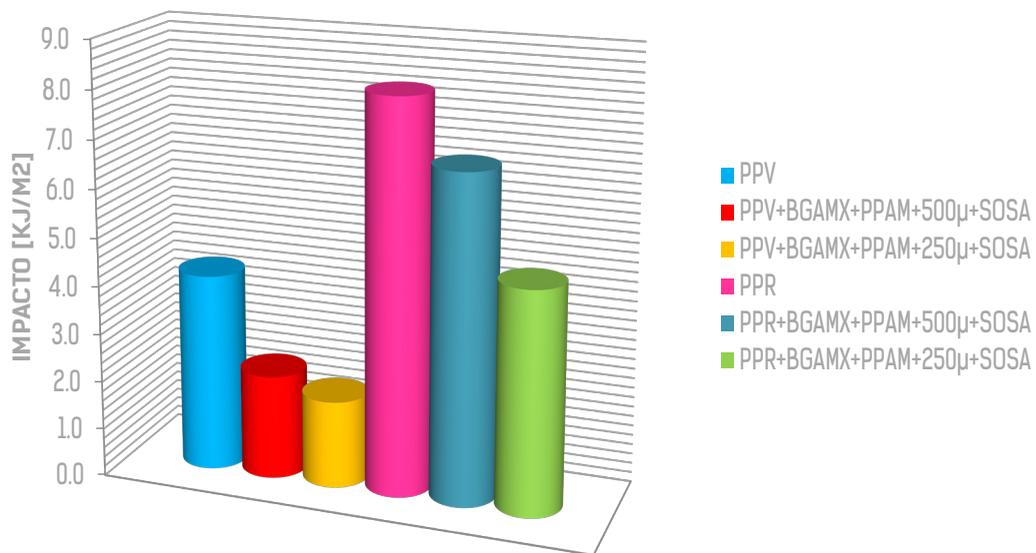
Como se observa en la gráfica, la muestra de plásticos presentan menor capacidad de absorción de energía al impacto, es decir menor resiliencia, que las muestras con plástico reciclado. Se observa que la muestra cuya capacidad de absorber energía al impacto es menor, es decir presenta una menor resiliencia, es aquella elaborada con PEADR y una fibra de 500µ, y que comparando el mismo material la resiliencia es mayor cuando el tamaño de la fibra en la mezcla es menor. De igual forma la capacidad de absorción al impacto del PEAD es menor que la del Polipropileno tanto virgen como reciclado



En cuanto a los resultados analizados empleando PPV y PPR, se obtuvo que los resultados mas favorables los presentaron las mezclas de PPV y PPR sin carga, decreciendo los valores al aplicarles carga, disminuyendo en un 49% en materiales virgenes y en un 12% en materiales reciclados.

	1
PPV	4.1
PPV+BGAMX+PPAM+500 μ +SOSA	2.2
PPV+BGAMX+PPAM+250 μ +SOSA	1.8
PPR	8.1
PPR+BGAMX+PPAM+500 μ +SOSA	6.8
PPR+BGAMX+PPAM+250 μ +SOSA	4.6

IMPACTO. PENDULO 1J





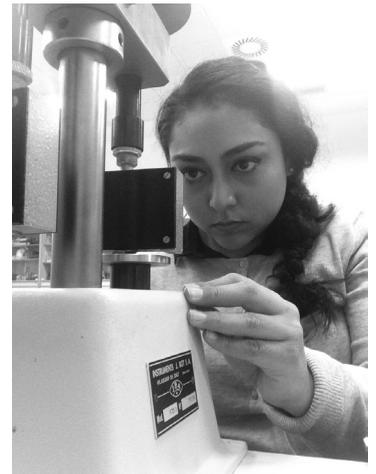
Para el ensayo de dureza de las probetas se ha empleado un soporte para durómetro de JBA modelo 673D n°: 18579, donde se ha medido la dureza en la escala de Shore D.

La dureza es una propiedad que se define como la resistencia de un material a ser rayado, y esta propiedad se mide con un durómetro.

La medición de la dureza Shore se basa en que un cuerpo penetrador es presionado continuamente en el material a medir con una fuerza determinada. Se mide la deformación en el punto de presión y de esta manera se obtiene el valor de la dureza del material. Por lo tanto el ensayo de dureza consiste en evaluar la dureza superficial del material midiendo la profundidad que alcanza una punta de acero normalizada cuando se presiona contra el material.

La dureza de penetración es inversamente proporcional a la penetración y depende del módulo de elasticidad y de las propiedades viscoelásticas del material. La forma del penetrador, la fuerza aplicada sobre él y la duración de su aplicación influyen sobre los resultados obtenidos.

Para realizar el ensayo de forma adecuada la superficie de la muestra debe estar plana, limpia, pulida y perpendicular al durómetro, es decir, el durómetro se colocará sobre la muestra con paralelismo de caras, para ello se utiliza un soporte para durómetro con el cual se consigue obtener una mejor precisión y repetitividad en las medidas de dureza, además con su uso se consigue obtener la presión exacta sobre la probeta a medir y se asegura también la perpendicularidad entre la pieza y la base del durómetro.



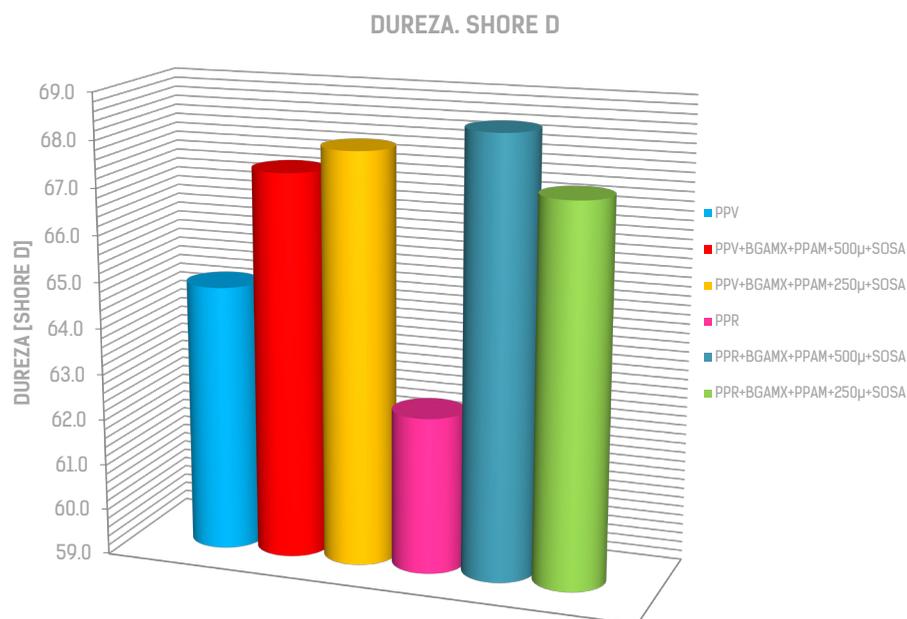
El ensayo consiste en colocar sobre la mesa de prueba la probeta a medir y accionar la palanca, produciéndose de esta manera la penetración de una aguja dentro del material a ensayar bajo unas condiciones de carga constante, aplicada mediante la sustentación de una masa muerta. El dispositivo aplicará automáticamente la fuerza adecuada para obtener la máxima precisión de medida, evitando así los posibles errores derivados de la aplicación manual del durómetro, la presión aplicada por estos aparatos es de 12,5 N en la Shore A, esta medida es la que se suele aplicar a materiales blandos, como por ejemplo el caucho, para materiales más duros se emplea Shore D, donde la presión que se aplica es mayor, de unos 50 N.

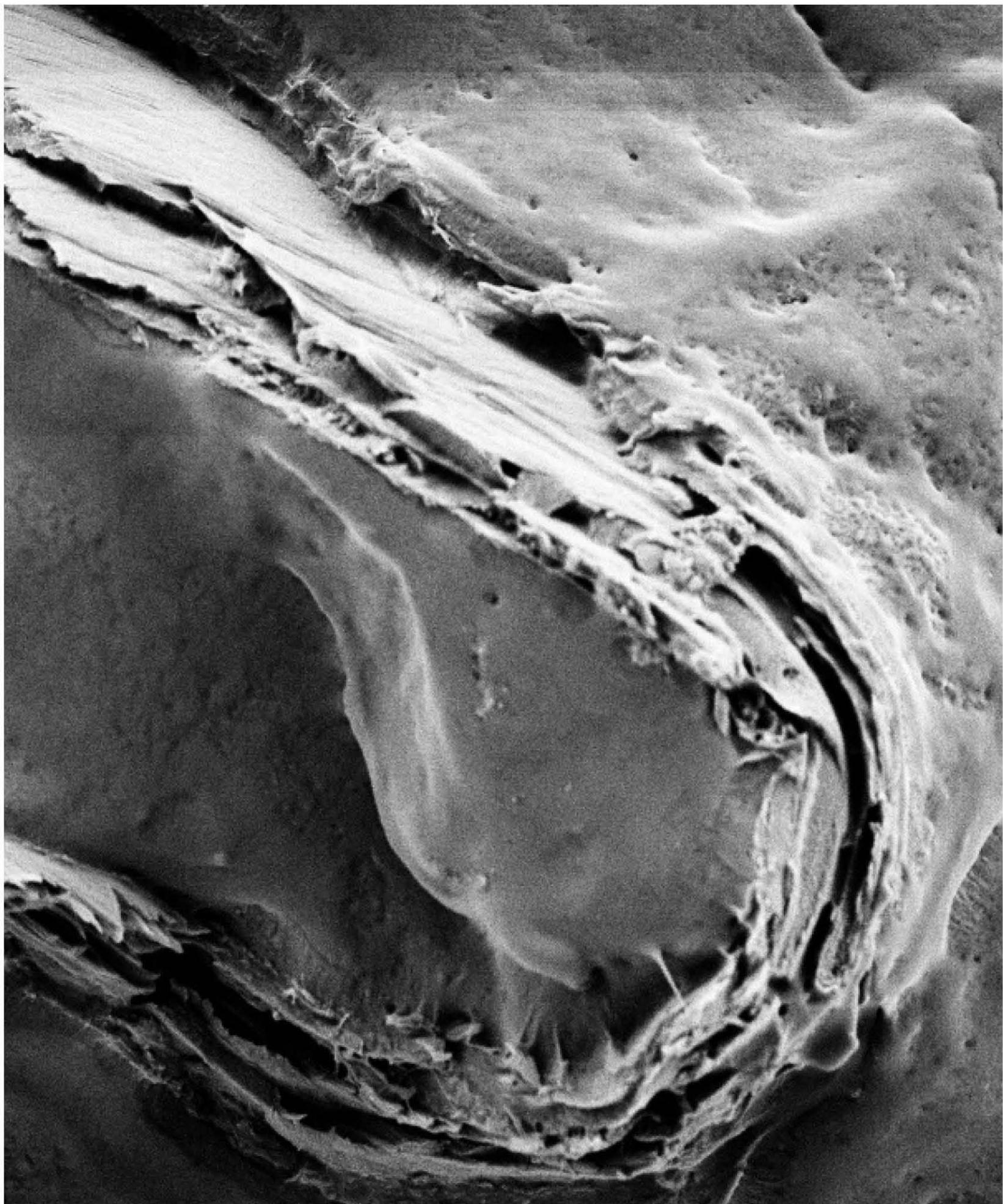
El ensayo de dureza nunca se debe realizar cerca del borde de la muestra o cerca de otra penetración ya existente. También se ha de tener en cuenta que la medida debe realizarse siempre durante el mismo tiempo de 10 a 15 segundos, además de realizar varios ensayos en una misma probeta y cada vez en sitios diferentes de la misma, para obtener una media final.

En este caso se ha realizado el ensayo de dureza a las probetas de cada una de las muestras de los tres bloques, más concretamente, se ha realizado a las probetas empleadas en el ensayo de impacto, realizando por cada probeta 5 mediciones.

En la gráfica se puede observar que los materiales con carga presentan un mayor grado de dureza que los materiales sin ninguna carga aumentando en un 5% en materiales vírgenes y en un 10% en materiales reciclados.

	1
PPV	64.8
PPV+BGAMX+PPAM+500 μ +SOSA	67.4
PPV+BGAMX+PPAM+250 μ +SOSA	67.9
PPR	62.4
PPR+BGAMX+PPAM+500 μ +SOSA	68.5
PPR+BGAMX+PPAM+250 μ +SOSA	67.2





.00 K X
44-22

2 μ m

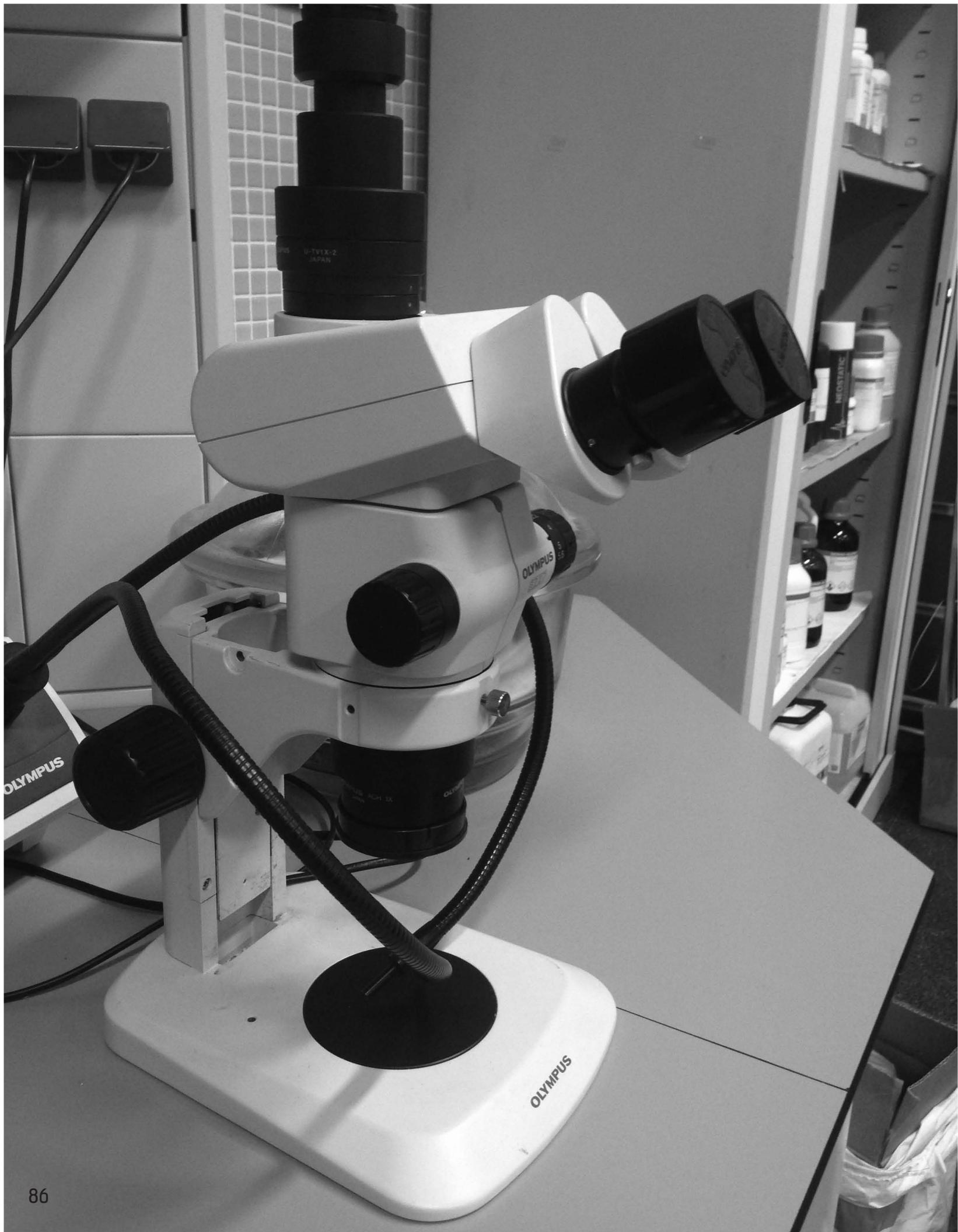
WD = 5.6 mm

EHT = 2.00 kV

Noise Reduction = Pixel Avg.

Signal A
ESB Gr

Caracterización Morfológica



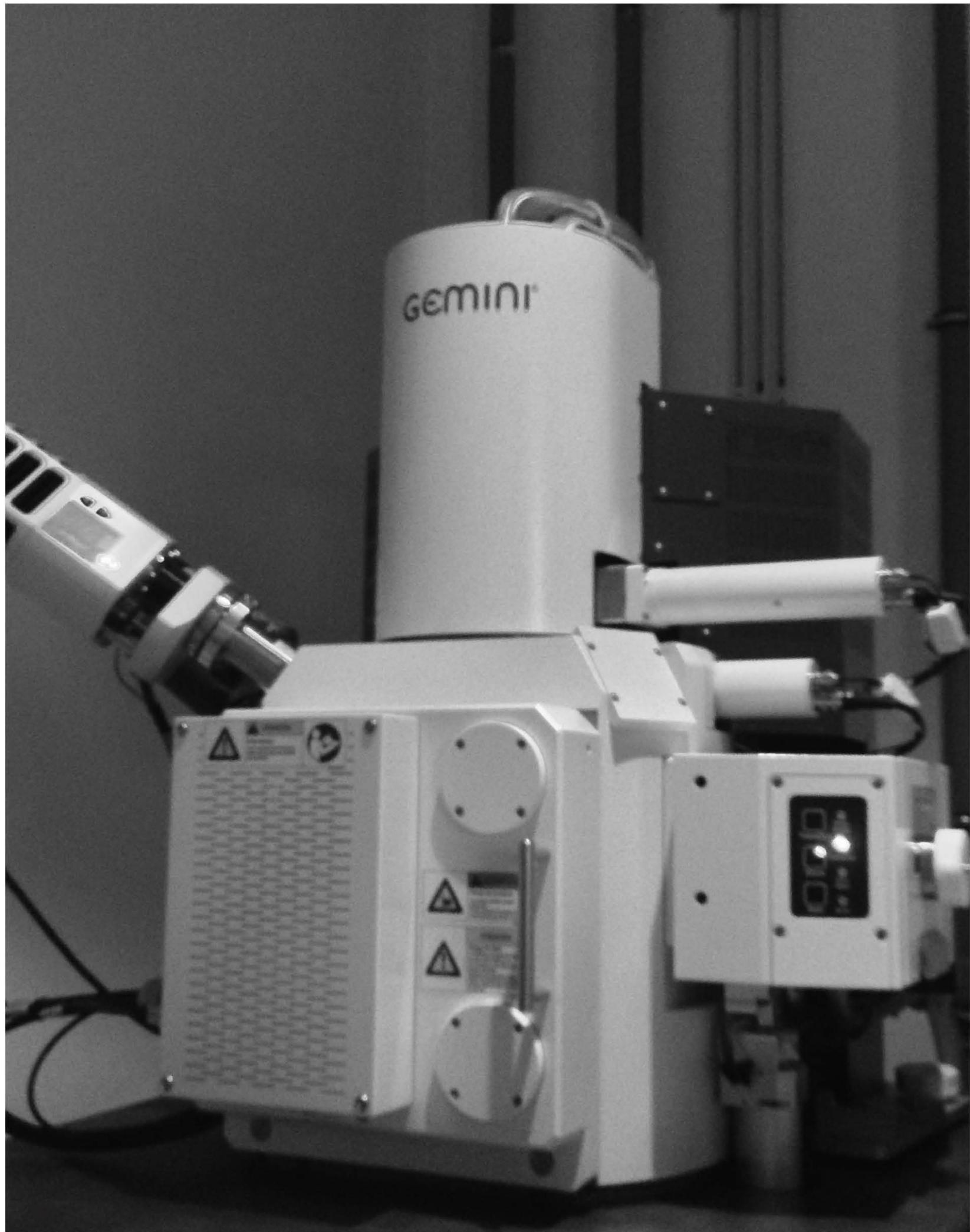
Lupa binocular.

Uno de los equipos empleados para observar la fractura de las probetas ensayadas a impacto ha sido la lupa binocular OLYMPUS modelo SZX7, Figura IV.142.

La lupa binocular es un instrumento óptico que produce una imagen aumentada del objeto que se observa a través de ella. La lupa empleada en este caso forma una imagen de un tamaño entre 8 y 56 veces mayor del objeto observado a simple vista. El aumento que proporciona la lupa es menor que el proporcionado por el microscopio, pero el campo visual de trabajo es mayor. Con la lupa se puede estudiar, de forma detallada, estructuras macroscópicas.

En una lupa binocular se distinguen dos partes diferentes: óptica y mecánica. Los lentes, oculares y objetivo (parte óptica), se encuentran situadas sobre un soporte (parte mecánica) que puede desplazarse verticalmente, gracias al mando de enfoque. De esta forma se puede enfocar las muestras.





FESEM.

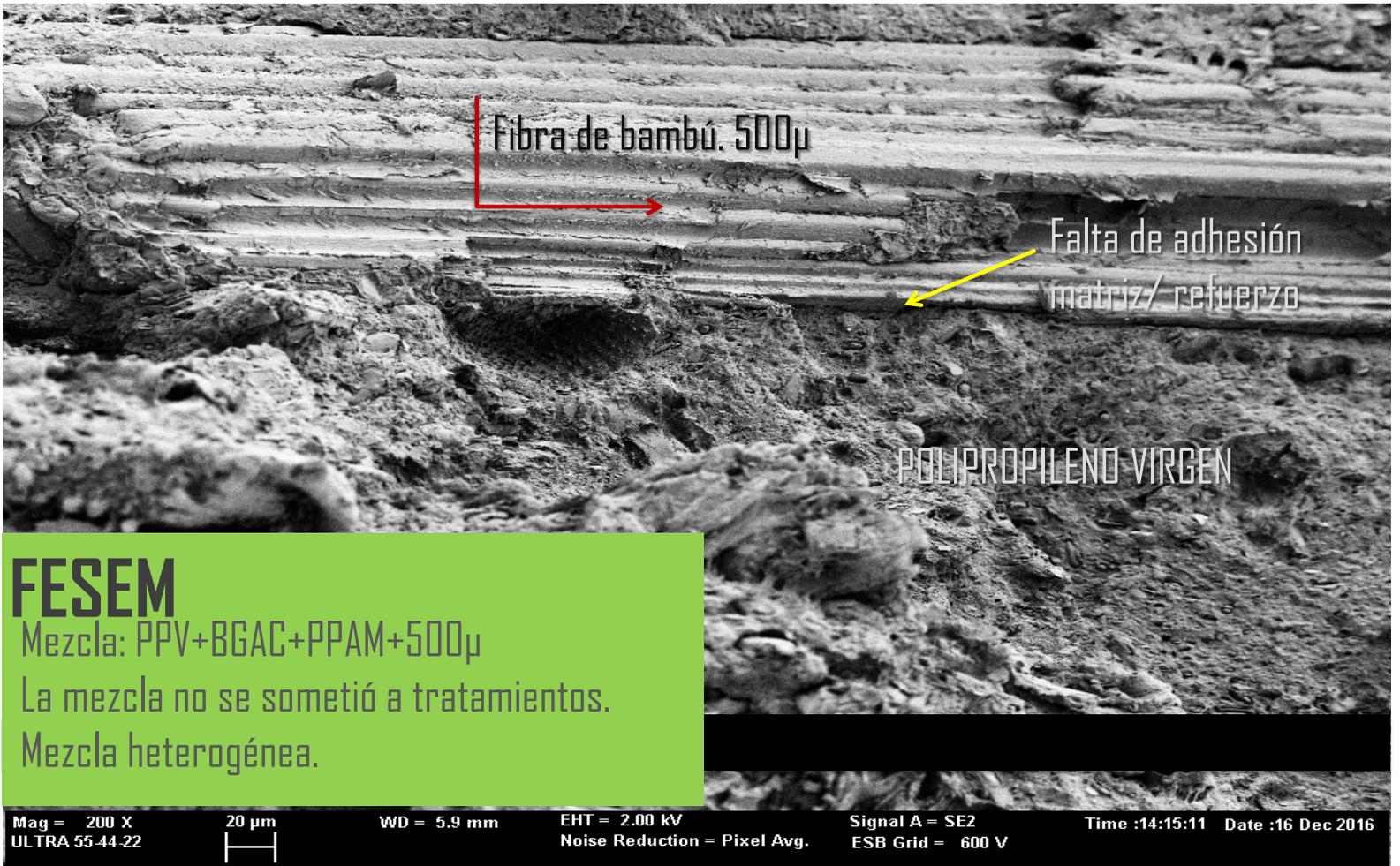
Se realizó un análisis por medio de Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo de cada mezcla, para saber su comportamiento a nivel microscópico y evaluar la homogeneidad de las mismas.

El microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM), es un instrumento que al igual que el SEM es capaz de ofrecer una amplia variedad de información procedente de la superficie de la muestra, pero con mayor resolución y con un rango de energía mucho mayor.

El funcionamiento es igual al de un SEM convencional; se barre un haz de electrones sobre la superficie de la muestra mientras que en un monitor se visualiza la información que nos interesa en función de los detectores disponibles. La mayor diferencia entre un FESEM y un SEM reside en el sistema generación de electrones.

El FESEM utiliza como fuente de electrones un cañón de emisión de campo que proporciona haces de electrones de alta y baja energía muy focalizados, lo que mejora notablemente la resolución espacial y permite trabajar a muy bajos potenciales, (0.02 - 5 kV); esto ayuda a minimizar el efecto de carga en especímenes no conductores y a evitar daños en muestras sensibles al haz electrónico.

Otra característica muy destacable de los FESEM es la utilización de detectores dentro de la lente, (in lens). Estos detectores están optimizados para trabajar a alta resolución y muy bajo potencial de aceleración, por lo que son fundamentales para obtener el máximo rendimiento al equipo.



Fibra de bambú. 500µ

Falta de adhesión
matriz/ refuerzo

POLIPROPILENO VIRGEN

FESEM

Mezcla: PPV+BGAC+PPAM+500µ

La mezcla no se sometió a tratamientos.

Mezcla heterogénea.

Mag = 200 X
ULTRA 55-44-22

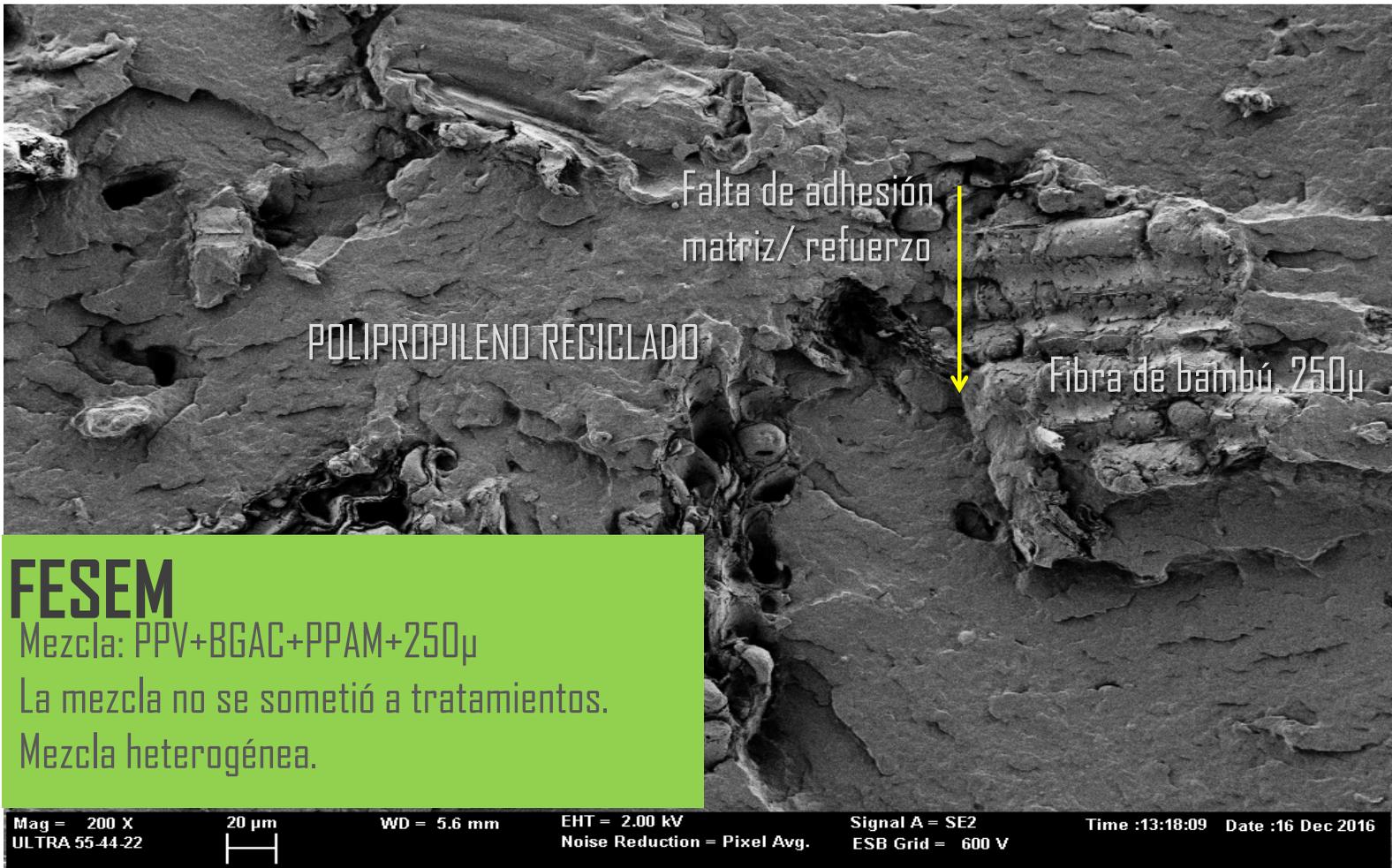
20 µm

WD = 5.9 mm

EHT = 2.00 kV
Noise Reduction = Pixel Avg.

Signal A = SE2
ESB Grid = 600 V

Time :14:15:11 Date :16 Dec 2016



FESEM

Mezcla: PPV+BGAC+PPAM+250µ

La mezcla no se sometió a tratamientos.

Mezcla heterogénea.

Mag = 200 X
ULTRA 55-44-22

20 µm

WD = 5.6 mm

EHT = 2.00 kV
Noise Reduction = Pixel Avg.

Signal A = SE2
ESB Grid = 600 V

Time :13:18:09 Date :16 Dec 2016



SEM

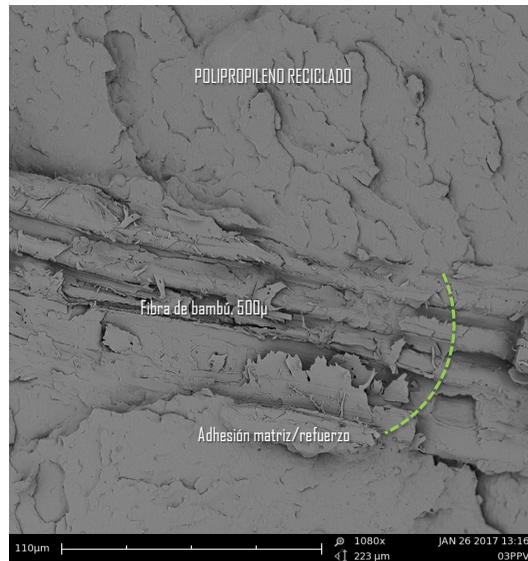
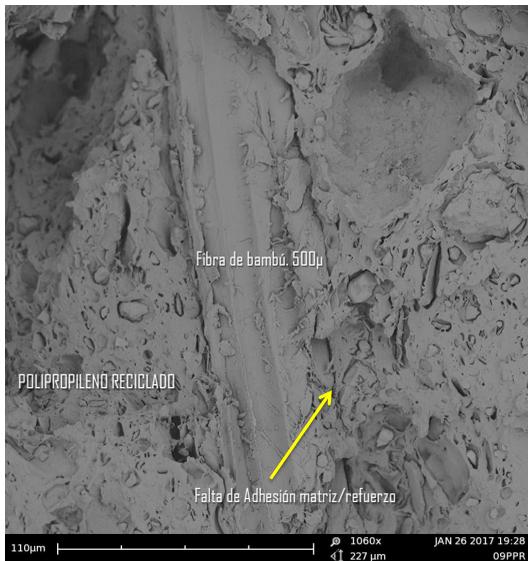
El microscopio electrónico de barrido es aquel que utiliza un haz de electrones en lugar de un haz de luz para formar una imagen. Su funcionamiento se basa en hacer incidir un delgado haz de electrones acelerados, con energías desde unos cientos de eV hasta unas decenas de keV, sobre una muestra gruesa, opaca a los electrones. Este haz se focaliza sobre la superficie de la muestra de forma que realiza un barrido de la misma.

De todas las formas de radiación resultantes de la interacción del haz incidente y la muestra hay dos fundamentales, los electrones secundarios y los electrones retrodispersados. Los primeros son electrones de baja energía (decenas de eV) que resultan de la emisión por parte de los átomos constituyentes de la muestra (los más cercanos a la superficie) debido a la colisión con el haz incidente y son los responsables de que se obtenga una imagen de apariencia tridimensional de la muestra.

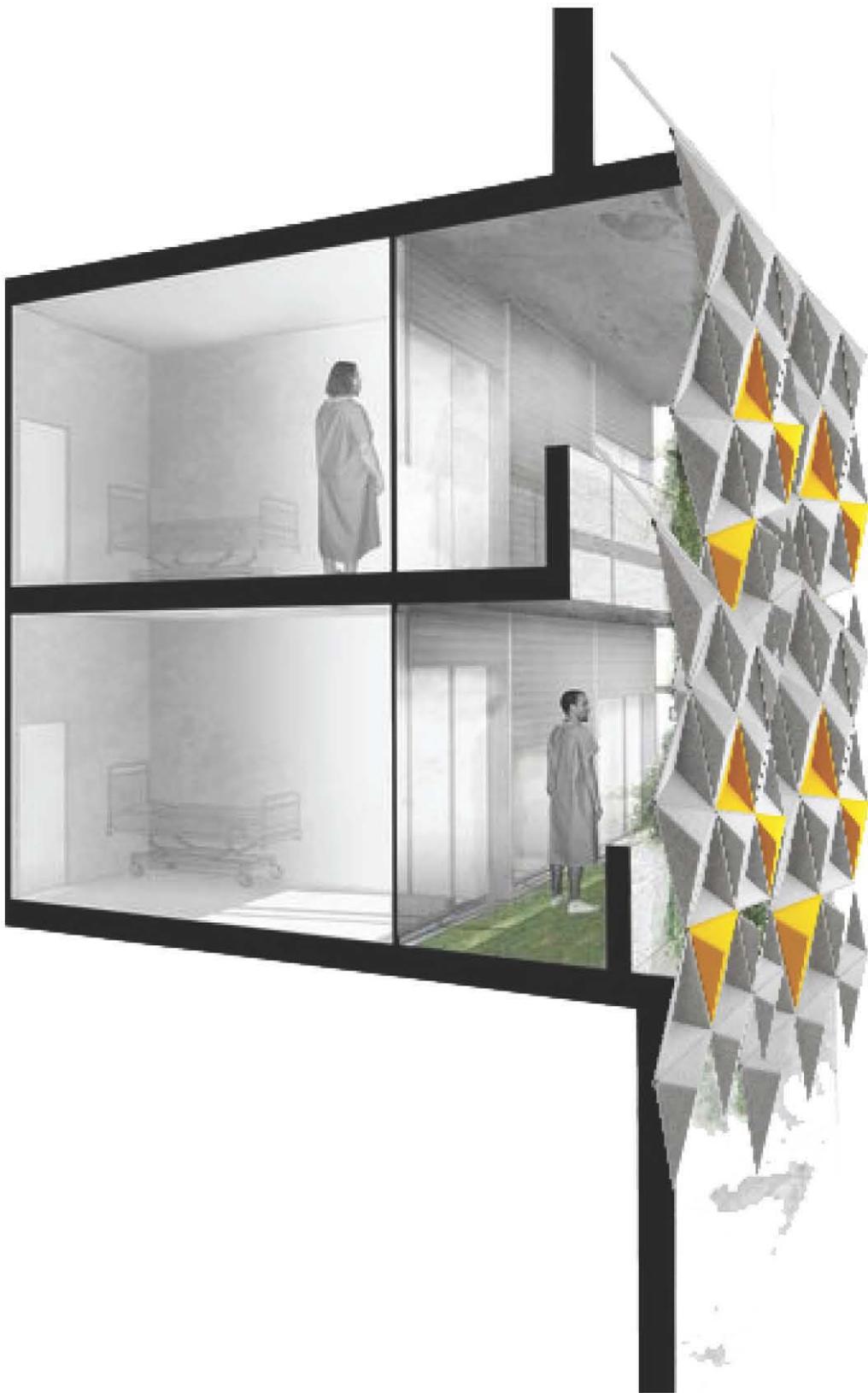
Los electrones retrodispersados sin embargo, son electrones del haz incidente que han interactuado (colisionado) con los átomos de la muestra y han sido reflejados. La intensidad de ambas emisiones varía en función del ángulo que forma el haz incidente con la superficie del material, es decir depende de la topografía de la muestra.

La señal emitida por los electrones y radiación resultantes del impacto se recoge mediante un detector y se amplifica para cada posición de la sonda. El resultado es una imagen topográfica muy ampliada de la muestra. El aumento de la imagen producido por el microscopio de barrido resulta de la relación entre las dimensiones de la imagen final y el área de la muestra que ha sido barrida. Este microscopio tiene un rango de aumentos que varía desde 10 hasta 200.000 aumentos. Tiene una gran profundidad de campo, la cual permite que se enfoque a la vez una gran parte de la muestra. También produce imágenes de alta resolución.

Si la muestra no es buena conductora se acostumbra a recubrirla con una película conductora metálica o de carbono. En este caso como el material de las probetas que han sido caracterizadas mediante SEM no es conductor,



Análisis de microscopía de las fibras tratadas con SOSA CAUSTICA (Hidróxido Sódico). En la imagen 1 y 2 se presentan las imágenes obtenidas en el análisis de microscopía de la fibra de bambú guadua mexicana (BGAMX). En la imagen 1 se muestra la fibra tratada con SOSA, existe sobre toda la superficie de la fibra pequeñas partículas depositadas, a diferencia de la imagen 2, que muestra la fibra sin tratar. Por ello se infiere que existe modificación superficial de la fibra de bambú.



06

[PROTOTIPO DE PANEL DIVISORIO]

Definición del prototipo

PLABOO®

Panel de bioplástico

Características:

- Disminución de residuos en instalación
- Acabado final
- Resistencia contra deformaciones y agrietamientos
- Construcción en seco
- Rápida instalación

Descripción:

Panel realizado de materiales reciclados %100 mexicanos, con matriz polimérica de polipropileno reciclado, refuerzo de fibra natural de bambú, y aditivos con propiedades específicas que agregan mejor desempeño al panel según el caso de aplicación.

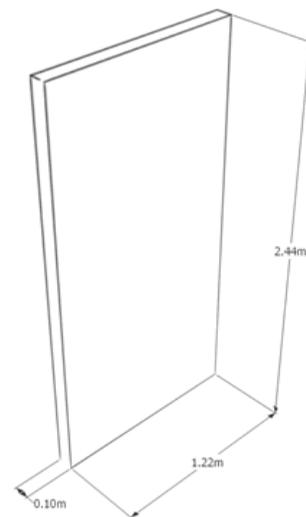
Presentación:

El panel se diseña en medidas estándar de 1.22 x 4) 2.44' x 8') presenta en sus bordes uniones juntas de machimbrado doble para un ensamble sin necesidad de elementos externos y una apariencia uniforme

El panel en su etapa inicial cuenta con medidas similares a las usadas por el panel de yeso de manera comercial, pues se plantea en esta etapa la utilización del sistema constructivo empleado para los paneles de yeso, empleando perfiles

Materiales:

1. Panel de bioplástico
2. Poste 63PM25 G60-
3. CANAL 63CA25 G60-
4. Tornillo framer 7# x 11mm
5. Tornillo tipo S 6# x25.4MM



Conclusiones

MEZCLA PLABOO®

TIPO DE PLÁSTICO

El polipropileno reciclado presentó mejores resultados mecánicos y morfológicos comparándolo con el Polietileno Reciclado. Por lo que la mezcla optima es la que emplea este material.

ADHERENTES

El adherente adecuado para el Polipropileno reciclado es el Polipropileno anhídrido malheico probado en un 2% del total de la mezcla.

TIPO DE BAMBÚ

La especie de bambú utilizada en ambos casos es Guadua Angustifolia, no se observaron diferencias por región de origen, sin embargo falta la realización de la caracterización de cada fibra.

TAMAÑO DE LA FIBRA

Según los resultados en las caracterizaciones mecánicas y morfológicas, el tamaño de fibra con mejor comportamiento es el de 500µ, por tener mucha mas área de contacto con la matriz y un mejor acoplamiento.

TRATAMIENTOS

La mezcla tratada con NAOH y Secada en la estufa a 50°C, es la que mejor homogeneidad presenta, por lo que se recomienda tener una mezcla tratada.

**POLIPROPILENO
RECICLADO**

+

PPAM

+

BGAMX

+

500µ

+

T.S.+ SECADO

Conclusiones

APORTACIÓN

Esta investigación tiene como propósito romper el paradigma del uso del plástico como material de empaque con un periodo de vida corta, y combatir la generación de los RSU's así como aportar a su disminución promoviendo su uso como materia prima.

Al utilizar materia prima considerada desecho, como lo es el polipropileno obtenido de envases, y fibras de bambú producto de procesos de generación de materiales como el piso laminado, no solo disminuimos el porcentaje de residuos dentro del área de impacto, sino que también ponemos en el mercado un producto accesible económicamente y con características eficientes que permitan su uso como muros divisorios.

Al utilizar polipropileno reciclado, tenemos la opción de lograr un material con acabados finales, con diversas presentaciones; una de ellas es un material translucido al emplear polipropileno reciclado natural, sumándole una característica más al material, logrando el paso de la luz natural a espacios interiores.

De igual forma por su fácil pigmentación, y apariencia estética al combinarse con las fibras, se puede disponer de una paleta de colores que amplíen y le faciliten al arquitecto la versatilidad de su aplicación en las edificaciones.

Por sus características como material plástico, es posible por medio de un molde, desarrollar formas que aporten una mayor variedad de opciones de colocación en el espacio.



MEZCLA PLABOO[®]

- Propiedades mecánicas superiores a mezclas sin carga.
- Homogeneidad matriz-refuerzo
- Material 100% reciclado.
- Ahorro del 20% de plástico.
- Ayuda a disminuir los RSU.
- Acabados finales apariencia madera, paleta de colores.
- Proceso corto de fabricación.
- Residuos de fabricación nulos.
- Opción a procesamiento por extrusión e inyección.
- Materiales de fácil obtención.
- Materia prima económica.
- Aplicaciones múltiples.
- Acoplamiento al diseño según proyecto.
- Mezcla patentable.

Referencias

Referencias

Al-Salem, S., Lettieri, P., & Baeyens, J. (2009). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Manag.*

Arbelaéz, A. (1998). La estructura morfológica del culmo de la *Guadua Agistifolia* Kunth. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, 18-3.

Besednjak, A. (2009). *Materiales Compuestos*. UPC Edicions, 15.

Borsain, M. S. (2011). *Materiales Ecológicos, Estrategias, alcances y aplicación de los materiales ecologicos como generadores de Habitats Urbanos Sostenibles*. Barcelona: UPC.

Briassoulis, D., Hiskakis, M., & Babou, E. (2013). Technical specifications for mechanical recycling of agricultural plastic waste. *Waste Manag.*

Carballo Gutiérrez, E. (2008). *El plástico en la Arquitectura*. México: UNAM.

CMIC. (2012). *Plan de manejo de Residuos de la construcción y la demolición*. CMIC, 99-1.

Cortés Rodríguez, G. R. (2011). Bambú: la palabra, los conceptos y el origen. *Bambues de México*, 7-1.

Cuellar, A., & Muñoz, I. (2009). Bamboo fiber reinforcement for polymer matrix. *DYNA*, 6-1.

Cuellar, A., & Muñoz, I. (2009). Fibra de guadua como refuerzo de matrices poliméricas. *Dyna*, 142-137.

Estrada Mejía, M. (2010). Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. Colombia: Universidad de los Andes.

Essentia. (2016). *essentia.co*. Retrieved 12 October 2016, from https://www.esenttia.co/downloadableFiles/technologyServices/informacionPolipropileno/421_Generalidades_con_Logo.pdf

Flores Carranza, C. (2009). *Una Alternativa Constructiva en México*. México, D.F.: Maestría en Arquitectura, UNAM.

Gauzin-Muller, D. (2002). *Arquitectura Ecológica*. Barcelona: Gustavo Gil.

Hernández Guerrero, J. E. (2015). *Plásticos Reciclados como Agregados en Concretos Arquitectónicos*. México: UNAM.

Hernández Guerrero, J. E. (2015). *Plásticos Reciclados como Agregados en Concretos Arquitectónicos*. México: UNAM.

Hibbeler, R. (2006). *Mecánica de Materiales*. México: Pearson Educación.

Kalpakjian, S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson Educación.

Liese, W. (1985). Anatomy and properties of bamboo. *Bamboo Workshop Hangzhou*, 207-196.

Lodoño, X. (2001). La Guadua un Bambú importante en América. *Memorias: primer Seminario, bamboo*, 10-8.

Majewski, T., & Andrzej, B. (2003). Desarrollo y aplicaciones actuales de los plásticos reforzados por fibras naturales. *Memorias de XIX congreso Internacional Anual de SOMIM*.

- Manrique Flores, N., & González, O. (2011). Efectos del tratamiento químico en las propiedades físicas y mecánicas de las fibras naturales como sustitutas de la fibra de vidrio en composites. ESPOL.
- Manriques Flores, N., & González, O. (2011). Efecto del tratamiento químico en las propiedades físicas y mecánicas de las fibras naturales como sustitutas de la fibra de vidrio en composites. ESPOL.
- Masumdar, S. K. (2001). Composites Manufacturing. Materials, Product, and Process Engineering. Taylor & Francis.
- Medina, M. (1999). Reciclaje de desechos sólidos en América Latina. Tijuana: Colegio de la Frontera Norte.
- Mendoza Ramirez, M., Contreras Cristán, A., & Gutiérrez Peña, E. (2014). Análisis de Estadísticas del INEGI sobre residuos sólidos urbanos. Realidad, datos y espacio, 21-19.
- Morán, J. I., Álvarez, V., Cyras, V., & Vasquez, A. (2008). Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers. 159-149.
- Moreno, L. E., Lina, O., & Efraín, T. (2006). Estudio de las propiedades mecánicas de haces de fibra de Guadua Angustifolia. Ingeniería & desarrollo, 9-1.
- Pérez González, R. (2015). Reaprovechamiento del plástico en elementos arquitectónicos. México: Unam.
- Pérez White, T., Mateos Gómez, J. M., & Gómez Sánchez, P. A. (1992). Resistencia de Materiales. Salamanca, España: Ediciones Universidad de Salamanca.
- Ramírez Castillo, M. L., & Cuatutle, T. G. (2013). Tratamiento de Residuos Sólidos Orgánicos ¿Estrategia Sustentable? México: Ciencia y Desarrollo. CONACYT.
- Rathje, W. (1990). The History of Garbage . Arizona.
- Rowell, R. (2008). Natural fibres: types and properties. Cambridge, England: Woodhead Publishing.
- Stupenengo, F. (2011). Materiales Compuestos. Coleccion Encuentro Inet, 27-3.
- Vazquez , M. A. (2015). El reciclaje de los plásticos. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- VIZCAINO, M. (1975). La contaminación en México. México: Fondo de Cultura Económica.
- W, Michaeli. et al. Tecnologia dos Plásticos. São Paulo: Edgar Bluncher, 1995.
- Wuttke, K. (2004). Preparation of raw materials for extrusion process un wood plastic composite industry. 5th Global Wood and Natural Fibre Composites,

TABLA DE IMAGENES

- Imagen 1 Imagen de Microscopía. Copyright ©
- Imagen 2 Imagen de Microscopía. Copyright©
- Imagen 3 Características de vivienda de calidad. Fuente: SEDESOL
- Imagen 4 Gráfica 1. Composición de los RSU, 2008. Fuente: SEMARNAT. Tomada para uso didáctico
- Imagen 5 Reciclaje mecánico de plásticos. Fuente: UAM
- Imagen 6 Producción Mundial de plástico por categoría, 2011. porcentajes. Fuente: PlasticsEurope, Plástico. The facts 2013, Bélgica.
- Imagen 7 Producción Mundial de plástico por región económica, 2012 porcentajes. Fuente: PlasticsEurope, Plásticos. Situación en 2012, Bélgica
- Imagen 8 Producción de plásticos por tipo de uso, 2012, porcentajes. Fuente: PlasticsEurope, Plástico. The facts 2013, Bélgica.
- Imagen 9 Localización Bambú Guadua Angustifolia. México. Fuente: Google earth
- Imagen 10 Bambú Guadua Angustifolia. Colombia. Fuente: Google earth
- Imagen 11 Polipropileno Virgen. Copyright
- Imagen 12 Polipropileno Reciclado. Copyright
- Imagen 13 Tasa de Reciclaje de plásticos en México. Fuente: Arq. Rodrigo Rafael Perez.
- Imagen 14 Consumo por tipo de plástico 2010. IMPI 2011
- Imagen 15 Propiedades de PEADV. Fuente: IGREEN
- Imagen 16 Partes del bambú
- Imagen 17 Culmos de bambú guadua cMexicano. Copyright
- Imagen 18 Culmos de bambú guadua colombiano. Copyright
- Imagen 19 Trituradora 2000 con motor de 9.5HP marca Honda
- Imagen 20 Criba de 16/3"
- Imagen 21 Criba de 8/5"
- Imagen 22 . Proceso de molido de fibra con trituradora marca Honda.
- Imagen 23 Proceso de molido de fibra con criba de 8/5"
- Imagen 24 Proceso de molido de fibra con criba de 8/5", segunda etapa.
- Imagen 25 . Resultado de proceso de molienda

imagenes