

FORMATO DE INFORME FINAL, CARÁTULA

Programa Universitario de Investigación de Ciencias Básicas

(nombre del programa universitario de investigación de la Digi)

Factibilidad de elaboración de tableros de aglomerados utilizando viruta de polietileno tereftalato reciclado con resina de urea formaldehído.

Nombre del proyecto de investigación

DES4CU-2021

Código del proyecto de investigación

Centro Universitario de Quiché

Unidad académica o centro no adscrito a unidad académica avaladora

Coordinador: Ing. Midzar Daniel García Estrada

Investigador: Ing. Leyzer Aurelio López Noriega

Nombre del coordinador del proyecto y equipo de investigación contratado por Digi

Guatemala, 24/01/2022

Lugar y fecha de presentación del informe final dd/mm/año

Contraportada (reverso de la portada)

Autoridades

Dr. Hugo René Pérez Noriega

Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Pérez

Coordinador General de Programas

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Pérez

Coordinador del Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas

Autores

Nombre del coordinador del proyecto: Midzar Daniel García Estrada

Nombre del investigador: Leyzer Aurelio López Noriega

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación (Digi), 2021. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de del código DES4CU en el Programa Universitario de Investigación _____.

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.

Índice general (incluir índice de tablas y figuras)

1.	Índice	3
2.	Resumen y palabras clave	4
3.	Introducción	6
4.	Planteamiento del problema	8
5.	Delimitación en tiempo y espacio	9
6.	Marco Teórico	9
7.	Estado del arte	16
8.	Objetivos (general y específicos)	18
9.	Hipótesis	20
10.	Materiales y métodos	20
	10.1 Enfoque de la investigación	22
	10.2 Método	22
	10.3 Recolección de la investigación	23
	10.4 Técnicas e instrumentos	24
	10.5 Procesamiento y análisis de la información	25
11.	Resultados y discusión	27
	11.1 Resultados	27
	11.2 Discusión de resultados	30
12.	Referencias	36
13.	Apéndice	39
14.	Aspectos éticos	40
15.	Vinculación	40
16.	Estrategia de difusión	41
17.	Aporte de la propuesta a los ODS	42
18.	Orden de pago final	43
19.	Declaración del coordinador del proyecto	44

20.	Aval director	44
21.	Visado de la Dirección General de Investigación	45

1 Resumen y palabras claves

Este proyecto de investigación demostró la factibilidad de elaborar tableros de aglomerados utilizando viruta de plástico en lugar de viruta de madera. La necesidad de desarrollar este tipo de investigación surge por la gran cantidad de materiales plásticos que se acumulan cada año en todos los rincones del planeta, siendo un aproximado de ocho millones de toneladas por año, sólo en los océanos, y la tendencia en lugar de disminuir está cada vez al alza. Definitivamente si no se hace algo para reducir la contaminación ambiental, será prácticamente un desastre de grandes proporciones no sólo para la vida marina sino para toda la vida en la tierra.

Para reducir el impacto de los plásticos sobre ambiente, este proyecto utilizó uno de los plásticos que más se encuentra en el ambiente, el polietileno tereftalato, el cual fue triturado para formar virutas las cuales eran impregnadas con la resina de urea de formaldehído en diferentes proporciones en peso, dando como resultado una proporción idónea la del 60% de resina y un 40% de plástico. A estos tableros fue necesario aplicar presión en un molde de metal, logrando con ello elaborar un material con características que los hacen útiles en muchas aplicaciones, tanto en la industria como en el hogar.

Los tableros elaborados fueron probados en dureza, flexión e inflamabilidad, dando como resultado un excelente producto que no sólo se puede utilizar como material de construcción sino que al estar elaborado con material plástico reciclado, contribuye notablemente en el cuidado del medio ambiente.

Palabras clave: Tablero de aglomerado, resina, viruta de plástico, polietileno tereftalato

Abstract and keyword

This research project demonstrated the feasibility of making chipboard using plastic chips instead of wood chips. The need to develop this type of research arises from the large amount of plastic materials that accumulate every year in all corners of the planet, being an approximate of eight million tons per year, only in the oceans, and the trend instead of decrease is increasing. Definitely if something is not done to reduce environmental pollution, it will be practically a disaster of great proportions not only for marine life but for all life on earth.

To reduce the impact of plastics on the environment, this project used one of the plastics that is most found in the environment, polyethylene terephthalate, which was crushed to form chips which were impregnated with urea formaldehyde resin in different proportions by weight, resulting in an ideal proportion of 60% resin and 40% plastic. To these boards it was necessary to apply pressure in a metal mold, thereby managing to produce a material with characteristics that make them useful in many applications, both in industry and in the home.

The boards made were tested for hardness, flexion and flammability, resulting in an excellent product that not only can be used as a construction material but, as it is made with recycled plastic material, it contributes significantly to caring for the environment.

Keywords: Chipboard, Resin, Plastic Chip, Polyethylene Terephthalate

2 Introducción

Actualmente la contaminación por plásticos es una de las amenazas más grandes que enfrenta la humanidad. Algunos plásticos tardan en degradarse en miles de años, otros lo hacen fragmentándose en pequeñas partículas llamadas microplásticos y otros están relacionados con algunos tipos de cáncer. El presente proyecto de investigación tuvo como principal objetivo estudiar la factibilidad de utilizar virutas de polietileno tereftalato reciclado, aglomerando estas virutas con resina de urea formaldehído para formar tableros de aglomerado. Según Ramos (2012) la utilización de materiales compuestos por PET reciclado se puede utilizar para dar una estructura interna de soporte a objetos que requieren de un material de relleno con características de flexión y resistencia.

Se utilizó resina de urea formaldehído para combinarla con la viruta de plástico y así poder formar una mezcla que se introdujo en un molde de metal donde se podía ejercer presión para darle la forma y grosor deseado. Las propiedades de tableros de aglomerados, tal como lo menciona Rivas (2009) depende principalmente de la proporción adecuada de viruta plástica y de la resina de urea formaldehído en la mezcla. Estas fueron las variables que se controlaron para obtener un producto con las propiedades físicas y químicas adecuadas para pudieran ser utilizados en la elaboración de tableros de aglomerados.

El análisis de factibilidad, se hizo en base a normas internacionales de calidad, por ejemplo, las ASTM. Para este propósito se elaboró tableros de aglomerado de pequeño tamaño, variando las proporciones de viruta plástica, cantidad de resina, esto con el fin de determinar la proporción que otorgue las mejores cualidades a los tableros. Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad de San Carlos de Guatemala, haciendo las pruebas de dureza, flexión e inflamación.

Además de la elaboración de los tableros de aglomerados utilizando viruta plástica, este proyecto de investigación da una solución al problema de la acumulación de plásticos, especialmente el polietileno tereftalato que se conoce en la industria con sus iniciales PET. Según Loening (2003) los plásticos como el PET se degradan en microplásticos, los cuales son

absorbidos por organismos microscópicos y desde este punto se acumulan en toda la cadena alimenticia, llegando al hombre con posibles consecuencias fatales.

Actualmente, según Mansilla (2009) la producción de PET a nivel mundial ronda las 300 millones de toneladas. EN el año 2020 este nivel alcanzó las 387 millones de toneladas. Dejar de producirlo actualmente es imposible, siendo necesarias acciones que mitiguen los daños que está ocasionando en todos los rincones del mundo. Lamentablemente Guatemala no escapa a este problema. La solución que propone este proyecto es dándole otro uso al PET. Al darle otro uso a este plástico, fabricando tableros de aglomerado, se puede reducir la cantidad de este plástico que termina en el ambiente. Además, que la población guatemalteca, al observar que se utilizan desechos plásticos en la elaboración de artículos útiles a la sociedad, podrán tomar conciencia de lo importante que es reciclar, pudiendo colaborar con la recolección de envases y botellas plásticas de PET.

3 Planteamiento del problema

Según el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2018) en Guatemala se ha ido incrementando la cantidad de desechos, esto debido a un crecimiento económico, poblacional e industrial. Cada año aumenta la generación de los residuos y desechos sólidos. Se debe mencionar que la generación per cápita de desechos sólidos comunes es de 0.519 kilogramos por habitante al día, siendo la composición de los desechos sólidos un 9% para los plásticos.

Si se quiere disminuir o eliminar los desperdicios plásticos del ambiente, es obligatorio darle un valor agregado a los desechos o elaborar materiales que sean de utilidad para el hombre. Se necesita realizar investigaciones relacionadas al tema de utilizar plásticos como sustitutos de la madera. Según Miranda (2016) la utilización de desechos plásticos son la solución a los problemas ambientales provocados por la contaminación de plásticos. Es inequívoco que se debe buscar soluciones ambientales a los problemas que hemos, como especie, provocado.

Los tableros de viruta plástica, proveniente de desechos, son un sustituto eficiente, duradero y confiable, que permite no sólo a la población de Guatemala empezar a trazar la ruta del desarrollo sostenible, según los objetivos del milenio, sino que este tipo de proyectos también ayudan a que la humanidad empiece a eliminar del ambiente todos esos desechos que tanto daño le están haciendo al planeta. Por ese motivo se asegura que la solución perfecta consiste en utilizar, en lugar de viruta de madera, viruta de plástico en la elaboración de tableros de aglomerados. Con esto se puede reducir la contaminación, y también la tala de árboles.

Afortunadamente este tipo de proyectos son financiados por instituciones como la Dirección General de Investigación DIGI, apoyando a que la Universidad de San Carlos de Guatemala identifique capital humano para cumplir con el mandato constitucional de proponer soluciones a los problemas de Guatemala.

El tipo de investigación realizada para este proué se necesita es del tipo cuantitativa. Para determinar la mejor proporción de resina de formaldehído que se puede utilizar para la elaboración de material aglomerado y esto debe estar en función del tipo, tamaño y forma que se le quiera dar al aglomerado.

5. Delimitación en tiempo y espacio

5.1 Delimitación en tiempo

Para la presente investigación, se propuso un tiempo de seis meses. En este tiempo, se realizaron las compras de insumos –molino de plásticos, resina, moldes- además de las pruebas tanto físicas como químicas. Este tiempo incluyó un mes de publicidad, para dar a conocer a la población los resultados de la investigación por los medios de comunicación locales. Las pruebas a los tableros de aglomerado se realizaron en la facultad de Ingeniería de la USAC para que puedan ser sometidas a pruebas de dureza (ASTM D143-09), flexión (ASTM D143-09) e inflamabilidad (ASTM 19 29-12), para su evaluación. Para estas pruebas se necesitaron elaborar probetas de 4x4 pulgadas para la dureza, de 4x12 pulgadas para la flexión y probetas de 1 cc para la inflamabilidad

5.2 Delimitación espacial

La investigación se realizó en la cabecera departamental del departamento de El Quiché. Específicamente en el municipio de Santa Cruz del Quiché. Las instalaciones fueron las del Centro Universitario de Quiché. El material de polietileno de tereftalato se adquirió en una empresa que presta el servicio de recolección de basura en la cabecera departamental, ya que esta también selecciona material de desecho.

6. Marco teórico

6.1. Elaboración de aglomerados.

Según Martín, Molina, García y Rodríguez (2000) lo más usual cuando se elaboran tableros de aglomerados, se utilizan normalmente virutas de madera, producto de trabajar en piezas grandes de madera o simplemente triturar madera para producirlas, las cuales posteriormente son encoladas en una proporción de 85% de virutas y 15% de resina. Se fabrican en diferentes tamaños los cuales en el mercado guatemalteco tienen unas dimensiones de 1.22 x 2.44 metros. Por lo general se utilizan maderas suaves, como la de pino, preferiblemente sobre las maderas más duras por facilidad de trabajar con ellas, ya que es más fácil prensar algo suave que maderas duras.

Según Vásquez, López, González y Antorrena (2003), un tablero de aglomerado es un producto del aserrín, proveniente de la madera. Se distinguen tres tipos de tableros, los de madera contrachapada, de partícula y aglomerados. Los tableros aglomerados se elaboran con virutas o partículas de madera, que se obtienen como subproductos de trabajar con la madera, las cuales se pueden combinar con resinas sintéticas y otros tipos de adhesivo. De esta combinación –virutas y resinas- se forman los tableros de aglomerados colocando esta mezcla en moldes y una presión y altas temperatura para lograr el producto deseado. A pesar del vasto mercado de Guatemala, existe ausencia de producto totalmente nacional, en cuanto a tableros se refiere, limitando grandemente las opciones de estos productos.

La utilización de elementos aglomerantes que no provengan de fuentes de madera, se viene investigando desde hace tiempo. La necesidad de esta labor, principalmente se da por economía, temas ambientales y facilidad de obtención de materias primas. Cervantes (2015) por su parte investigó la posibilidad de utilizar residuos de coco en la elaboración de tableros de aglomerados. Los resultados son similares a los obtenidos en este proyecto de investigación. Siendo el principal problema de este tipo de materiales la obtención de cantidades de coco para ser utilizado.

En el caso de la materia prima utilizada en este proyecto de investigación, tal como se mencionó anteriormente, el PET se produce anualmente en cantidades significativas, llegando a las casi 400 millones de toneladas cada año. Lamentablemente la producción de plásticos y especialmente la del PET sigue en aumento y a pesar de estar en tiempos de pandemia, el uso de plásticos se ha incrementado ya que se necesitan recursos envasados que permitan que los alimentos lleguen a los hogares de millones de personas que no pueden salir de sus habitaciones.

El estudio de los investigadores antes mencionados no se limita solamente a materiales orgánicos, ya que se ha estudiado la posibilidad de utilizar materiales de construcción como el zinc, cemento y metales combinándolos para elaborar tableros de aglomerados. En su estudio Bonilla (2018) realiza un estudio cualitativo y cuantitativo de mercado sobre tableros de aglomerado, fabricados de viruta y elementos poliplásticos como sustituto de productos maderables tradicionales. Este estudio demuestra la factibilidad de la producción de tableros utilizando otro tipo de materiales. Tal como se hace mención en este trabajo de investigación, el costo de producción de los tableros de aglomerados utilizando viruta plástica es más económico que los tableros tradicionales.

Definitivamente se deben emplear más recursos a la investigación de la utilización de productos plásticos en la elaboración de tableros de aglomerados. No sólo existen millones de toneladas en el ambiente, sino que eliminan una fuente de contaminación muy peligrosa, tal como los microplásticos.

6.1.1. Separación de partículas por tamaño.

Cervantes, Andrade, Ramírez y Bravo (2015) recomiendan que una vez las virutas estén libres de humedad, sean seleccionadas por sus tamaños, las de menor tamaño normalmente se colocan en los extremos de los tableros de aglomerados y las virutas más grandes se colocan en el interior, esto para dar una mejor presentación de los tableros. Se debe tener cuidado de limpiar las virutas, ya que el polvo puede absorber resina y con esto se pierde resistencia mecánica y propiedades necesarias para hacer de los tableros útiles en la construcción. Este es un paso crucial para obtener un tablero de aglomerado con una mayor resistencia. Estos investigadores utilizaron como partículas del aglomerado, cáscara de cocos.

Los tamaños de las virutas de madera utilizadas en la elaboración de tableros de aglomerados varían desde las de menos de 2 mm hasta las más grandes que no pueden sobrepasar los 20 mm de dimensión. Cevallos (2011) establece que se recomienda que las virutas de tamaño fino, las cuales

son las de menos de 5 mm puedan ir en el exterior de los tableros de aglomerados, dejando las más grandes al centro. Esto principalmente tiene varias funciones.

- Estética, ya que las virutas pequeñas dan al tablero de aglomerados una apariencia más fina y de mejor acabado.
- Las virutas grandes en el centro ahorran espacio, ya que el costo de los tableros principalmente se debe al costo de la resina llegando a representar hasta un 60% del total del tablero ya terminado.
- Costo de producción. Las virutas grandes en el centro ahorran en el proceso de secado y triturado. Las virutas finas se deben obtener triturando y tamizando las virutas pequeñas de las grandes, lo cual representa un costo adicional.

6.2. Resinas utilizadas en aglomerados

En la investigación de Gorrini, Poblete, Hernández y Dunn (2004) Los principales adhesivos o resinas sintéticas que se emplean en la elaboración de los tableros de aglomerados, es la resina de urea-formaldehído y fenol-formaldehído, ya que ambas tienen la propiedad de que son solubles en agua. Anteriormente las resinas de urea formaldehído despedían vapores tóxicos y este fenómeno resultaba molesto y costoso a la hora de emplear este tipo de resina. Actualmente la resina de urea ha sido mejorada con la ayuda de nuevos procesos de síntesis de las resinas de urea formaldehído. Además de la propiedad antes mencionada, las nuevas resinas tienen un tiempo de fraguado o secado con menor tiempo y se necesita una menor temperatura. Los tableros de partículas tienen una mayor resistencia mecánica mientras mayor sea la cantidad de resina que se utilice en su fabricación, sin embargo, por razones económicas no conviene utilizar resina en mayor cantidad que la estrictamente necesaria para la obtención de tableros con las propiedades que se requieren.

Las resinas de urea-formaldehído son una clase de polímeros de condensación que se emplean como resinas sintéticas obtenidas a través de la reacción entre la urea (un cristal sólido que se

obtiene a partir de amoníaco) y del formaldehído (un gas altamente reactivo obtenido a partir de metanol), que suele estar catalizada por cloruro de amonio. Las resinas urea-formaldehído se utilizan principalmente como adhesivos para el encolado de madera contrachapada, tableros de partículas y otros productos de madera estructurada. describir el conjunto de ideas, leyes, metodologías, percepciones, procedimientos o teorías que servirán para fundamentar y respaldar la propuesta de investigación.

6.3 Reciclado del polietileno tereftalato.

6.3.1 Producción del PET.

Según Infante (2019) los procesos que se deben llevar a cabo para producir uno de los plásticos más empleados por la industria, son varios y dependiendo del uso, así se puede modificar una de las variables para producir el polietileno tereftalato, también conocido como tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno, polietilenotereftalato o polietileno tereftalato (más conocido por sus siglas en inglés PET, *polyethylene terephthalate*)

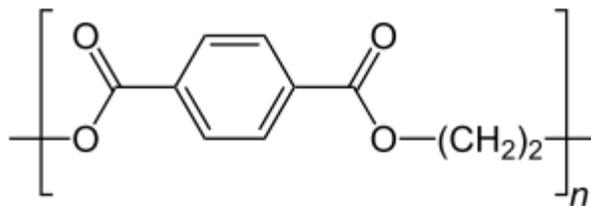


Figura No. 1

Molécula monomérica de PET, esta unidad se repite cientos de veces para formar una cadena.

Es tan común el uso del polietileno tereftalato –PET por sus siglas en inglés- que se piensa que este plástico se obtiene de manera natural. En función del camino que tome la producción

del PET este puede terminar en un envase de bebida gaseosa, un juguete, alguna aplicación como película para recubrir objetos o fibras para elaborar instrumentos.

Los factores más importantes en la elaboración de PET son la manera de sintetizarlo, la polimerización, la velocidad de cristalización, el tamaño del pellet o pélet, también el tiempo y temperatura de polimerización, humedad y otros factores menos importantes pero que dan algunas aplicaciones especiales.

6.3.2 Síntesis del polietileno tereftalato

La síntesis se puede llevar a cabo mediante dos reacciones:

1. Siendo la primera una Trans-esterificación entre el dimetil tereftalato y el etilén glicol. Este proceso es uno de los primeros en usarse, considerado como el método antiguo. Debido a algunos subproductos, casi no se utiliza, excepto en algunos lugares donde las leyes ambientales son menos exigentes. El subproducto que más preocupa en este proceso es el metanol, ya que genera emisiones volátiles que son perjudiciales para la salud.
2. El otro método, que es el que se emplea con mayor cantidad es el de la esterificación directa del ácido tereftálico con el etilén glicol, que tiene como uno de subproductos al agua. Este proceso tiene mayores ventajas sobre el otro método antes mencionado. También se cuenta entre sus ventajas el menor costo actual del ácido Tereftálico, menor tiempo para que se alcance la reacción y uno de los mayores puntos a favor de este es el uso de agua en lugar del metanol.

6.4 Usos más importantes del PET

Entre los usos más importantes que se le dan al polietileno tereftalato se tienen los siguientes según Contreras (2016)

Actúa como barrera para los gases, como el CO₂, humedad y el O₂.

Es transparente y cristalino, aunque admite algunos colorantes.

Liviano, permite que una botella pese 1/20 del peso de su contenido.

Impermeable.

Levemente tóxico

6.5 Degradación del PET

Para realizar la degradación química del PET se deben tomar en cuenta primeramente las propiedades físicas y mecánicas del desecho de PET.

El polietileno tereftalato es considerado un material particularmente resistente a la biodegradación, por lo cual si se deja en el ambiente, tardará varios cientos de años en degradarse, debido a su alta cristalinidad y a la naturaleza aromática de sus moléculas, por lo cual se le considera no biodegradable.

El PET sí puede ser degradado, de una manera considerablemente rápida, tomando en cuenta que tarda varios años en degradarse en el ambiente. Esta alternativa es mediante un proceso químico mediante el cual se modifica su estructura molecular para reutilizar el material para un nuevo producto u obtención de combustibles.

6.6 Reciclaje del PET

Existen actualmente varias formas de reciclar el PET. Como ya se mencionó, el reciclaje mecánico es uno de los más importantes. El reciclado químico tienen el inconveniente de necesitar químicos que a su vez necesitan de otros métodos de reciclaje, por lo cual en algunos casos, la solución tiende a ser un problema. Ya sea que se utilice uno u otro método, el principal objetivo de reciclar es disminuir la cantidad de material utilizado.

- Reciclado mecánico

Este método es uno de los más utilizados, consiste en varios pasos que comienzan con una clasificación de los desechos y posteriormente se limpian los envases o elementos de PET. La cantidad y forma de limpieza se determina si el recipiente de PET será reutilizado completamente.

- Proceso del reciclado mecánico convencional

La selección de envases se realiza por medios mecánicos o manuales, separando color, tamaño y si tienen etiquetas u otro elemento que deba eliminarse primeramente. En algunos casos es necesario quitar las roscas de los empaques

- Triturado

Este fue el método utilizado en este proyecto de investigación. Consiste en reducir los envases de tamaño, usualmente este proceso es realizado en molinos de cuchillas. El tamaño final queda en función del uso que se le va a dar a los envases triturados. Normalmente según Jiménez (2016) el tamaño máximo que se obtiene en este tipo de proceso es de 10 mm. EL lavado de las virutas se puede realizar antes o después de la trituración. Queda siempre a criterio del uso final de las virutas un lavado con agentes químicos y una temperatura especial para realizar un tratamiento térmico a las virutas.

7. Estado del arte

Actualmente los esfuerzos por utilizar sustituyentes en los tableros de aglomerados han llevado a los investigadores a utilizar otros materiales.

En su investigación Contreras, (2016) investigó la posibilidad de desarrollar tableros de contrachapados elaborados con chapas o capas de madera de pino caribe unidos por material reciclado de polietileno –PET- y poliuretano termo fundido, que al ser evaluadas sus uniones con los ensayos de tensión de cortes, del comportamiento al tacto, impacto manual, estética y procesos de manufactura, resultaron tener excelentes propiedades físicas como para ser utilizados en una amplia gama de actividades o usos. Este trabajo demuestra la factibilidad de realizar otras mezclas

de materiales orgánicos y plásticos para la elaboración de múltiples tableros, debido que los materiales empleados, devenidos de procesos de reciclaje y reutilización, implementando el proceso de presión calor, consolidan juntas resistentes a los esfuerzos especialmente en ambientes secos y semi húmedos. Cuando las condiciones de humedad son extremas, requieren aplicarles sustancias aislantes o cobertura total del tablero con plástico transparente termo fundido como acabado superficial. Demostrando la posibilidad de elaborar tableros con materiales plásticos.

También Ortiz, (2015) realizó una investigación para determinar la posibilidad de elaborar madera plástica, elaborada a partir de mezclas de residuos de aserrín con polietilentereftalato reciclado (PET). Para determinar si este tipo de tablero podía ser utilizado en la industria fue necesario realizar varias pruebas entre las que se tienen las normas ASTM. Para su elaboración fue necesario fabricar moldes, con tres formulaciones en diferentes proporciones de cada una de las materias primas, con tres tiempos diferentes de residencia en el horno para cada formulación, a una temperatura de horneado y presión de compresión constante en cada una de las probetas. Las pruebas se realizaron en el laboratorio de materiales de la facultad de Ingeniería de la USAC, con equipo proporcionado por el mismo para el análisis de cada una de las muestras. De esta manera se determinó la calidad de cada una de las formulaciones propuestas siendo la proporción de 60% de PET la que mejor cualidades obtuvo.

También Bonilla (2018) investigó en su trabajo titulado, Estudio cualitativo y cuantitativo de mercado sobre tableros de aglomerado, elaborados de viruta y elementos poliplásticos como sustituto de productos maderables tradicionales, encontrando que es posible elaborar tableros de aglomerado a partir de plástico reciclado. La diferencia entre este estudio es que se utiliza una variedad de plásticos y otro tipo de aglomerantes. Quedando la opción de investigar la posibilidad de utilizar exclusivamente el uso de polietileno tereftalato como material utilizable y la urea de formaldehído como aglomerante.

Otra interesante investigación fue la de Rivas (2014) que en su trabajo de investigación Diseño del proceso para la recolección, acopio y preparación de envases posconsumo de tetrabrik para su utilización en la recolección de paneles menores de aglomerados y su uso en productos industriales en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, determinó la factibilidad de elaborar tableros o paneles de aglomerados utilizando envases de tetrabrick. Una de las limitantes en el desarrollo de esta investigación y de otro tipo de proyecto es la posibilidad de adquirir grandes cantidades de envases de este tipo de material, además que este tipo de envase utiliza una capa o envoltorio de aluminio que debe eliminarse para elaborar tableros de aglomerado.

Otro país que está desarrollando métodos y técnicas para elaborar tableros de aglomerados es Costa Rica. García (2013) propone fabricar madera sintética a manera de paneles de aglomerados utilizando para este propósito paja de trigo. Los resultados muestran que la placa de madera plástica con paja de trigo y matriz polimérica posee propiedades mecánicas como dureza, flexión y otras comparables a las de las maderas comunes de pino. Las muestras demostraron que es posible encontrar sustitutos para la madera, también plantea una alternativa de uso para la paja de trigo, con lo que se ayuda a reducir la contaminación. Los resultados de las propiedades mecánicas permiten concluir que estos materiales compuestos se pueden utilizar en la industria de la construcción o sustituir madera tal como el comprimido de aserrín.

Por su parte, los investigadores Jiménez, Medina, pan, Ruiz y Umlandt (2016) investigaron la factibilidad técnica del uso de residuos de acabado y desbaste en carpinterías para producir tableros de aglomerados. Las virutas utilizadas son las que resultan del cepillado de las maderas de *Prosopis alba* Griseb y *Pinus* sp. y fueron adquiridas en carpinterías de la localidad. Se fabricaron tres tipos de aglomerados: algarrobo puro, pino puro y mezcla de 50 % de ambas. Este ensayo se planificó así para obtener el efecto aislado de las partículas por provenir de diferentes especies. Las virutas fueron encoladas con resina de urea-formaldehído.

Un trabajo que utiliza plásticos en el aglomerado es el de Paredes, Leao, Simbaña y Tapia (2009) en el cual utiliza una mezcla de residuos lignocelulósicos (de madera) formando una mezcla de polímeros (plásticos) termoestables. Se utilizó un diseño experimental factorial a dos niveles, para analizar cuatro variables, la primera el tipo de residuo lignocelulósico, tipo de resina, porcentajes de resina (%) y densidad del tablero. Fueron utilizadas resinas termoestables urea-formaldehído (UF) y fenol-formaldehído (PF) a dos niveles 4% y 10%, en relación de masa seca, en mezcla con dos de los más abundantes residuos de madera, caña de azúcar y Cascarilla de Arroz. Se evaluó la resistencia de los tableros a la tracción perpendicular, resistencia a la flexión estática (módulos de ruptura) y también el hinchamiento en espesor por absorción de agua después de dos horas y 24 horas de inmersión. De manera general, los mejores resultados se presentaron en las mezclas a base de bagazo de caña de azúcar y resinas fenol-formaldehído.

También se cuenta con la investigación de Domínguez y Gómez (2010) donde se busca una mejora integral del manejo de desechos sólidos urbanos, reciclando envases de tetra brik para fabricar un panel que lo hiciera aplicable a la construcción como una alternativa al panel de yeso y el de aglomerado de madera. Los resultados de esta investigación son excelentes ya que permite elaborar tableros a partir de envases y pueden ser utilizados en la construcción de artículos que pueden utilizarse en la casa. Donde presentó problemas este tipo de paneles, fue en la resistencia mecánica a la cortadura, por lo que se sugiere más investigación para determinar el tipo de componentes que deben acompañarse o agregarse a este material para que sea funcional en la industria y aplicaciones donde se requiera de mayor resistencia.

8. Objetivos (generales y específicos aprobados en la propuesta)

Objetivo general

Definir la factibilidad de la elaboración de tableros de aglomerados utilizando viruta plástica de polietileno de tereftalato como sustituto de la viruta de madera, utilizando para ello resina aglomerante de urea de formaldehído.

Objetivos específicos

Especificar el tamaño y proporción de la viruta de polietileno de tereftalato reciclado que se debe mezclar con resina de urea de formaldehído en la elaboración de tableros de aglomerados.

Determinar que existe una proporción óptima entre la viruta de plástico de polietileno de tereftalato y la urea de formaldehído que proporcione las mejores propiedades físicas a los tableros de aglomerado para su uso en la construcción.

Demostrar que los tableros de aglomerado elaborados a partir de viruta de PET reciclado poseen excelentes cualidades como dureza, resistencia a la ruptura y baja inflamabilidad.

9. Hipótesis (si aplica)

Hipótesis nula (H₀)

No existe diferencia entre los tableros de aglomerado utilizando viruta plástica de PET reciclado y los tableros elaborados con viruta de madera que se venden comercialmente, específicamente en las medias de las pruebas de dureza, ruptura e inflamabilidad.

Hipótesis alterna (H_a)

Existe una diferencia entre los tableros de aglomerado hechos de viruta de madera y los elaborados de viruta plástica de PET reciclado.

10 Materiales y métodos

10.1 Enfoque de la investigación

Para lograr alcanzar los objetivos de este proyecto de investigación, fue necesario elegir un enfoque que se ajustara a los requerimientos y objetivos del mismo proyecto. En vista de la necesidad de deducir la relación entre las variables propuestas, se necesita un enfoque cuantitativo.

Según Walpole, (2007) señala que, bajo la perspectiva cuantitativa, la recolección y análisis de datos tienen exactamente la función de una medición. Esta medición equivale a la tarea de asignarle un número a los datos obtenidos, que en este caso se trata de buscar la relación entre la proporción de viruta de PET con la resina de urea de formaldehído en la elaboración de tableros de aglomerados.

10.2 Método

Para obtener la información que permita establecer si es factible elaborar tableros de aglomerados fue necesario fabricar muestras de tableros con dimensiones de 4x4 pulgadas para la prueba de dureza, probetas de 4x12 pulgadas para la prueba de flexión y unas probetas de 1 cc para la prueba de inflamabilidad. Fueron necesarias tres probetas por cada proporción de resina. En total se necesitaron 45 probetas. 15 para cada prueba.

Entre los pasos que se siguieron para la elaboración de los tableros se tienen los siguientes.

No	Procedimiento	Tiempo (h)
----	---------------	------------

1	Recolección de envases de PET (ver fotografía No. 2) se recolectaron 1000 libras	36
2	Clasificación de envases por color, se trabajó solamente con envases de PET transparentes	24
3	Eliminación de etiquetas, roscas, taparoscas, seguros o cualquier elemento que no fuera de PET	18
4	Trituración de envases en el molino de plástico. La velocidad de trituración era de 4 libras en 10 minutos. Luego de la trituración se hacía un tamizado para eliminar virutas grandes. El tamaño del tamiz era de 5.0 mm lo cual permitió establecer el tamaño de la viruta óptima para elaborar los tableros de aglomerados.	12
5	Lavado de virutas de polietileno tereftalato. Estas virutas fueron lavadas en agua de tal manera que los envases de refrescos, perdieran restos de los líquidos que guardaban. Se evitó utilizar agentes químicos como jabones o lejías, para que no tuvieran ninguna reacción con la resina de urea formaldehído.	6
6	Preparación de la resina. A la resina de urea formaldehído pura, se le agregaba un 30% en peso de una solución al 10% en peso de cloruro de amonio. Este químico actúa como acelerador o catalizador de la reacción de secado de la resina de urea formaldehído.	2
7	La mezcla de resina de urea formaldehído y la viruta de polietileno tereftalato se preparaba en proporción en peso de viruta plástica. La primera de los tableros elaborados constaba de un 10% de resina y 90% de virutas de plástico. Se agregaba una cantidad para que el	3

molde se llenara a 3.1 mm de altura y luego se comprimía con una presión de 60 PSI

- | | | |
|---|---|---|
| 8 | Secado. Esta etapa era una de las más complejas, ya que se necesita agregar calor, aproximadamente 80 grdos Celsius por 15 minutos. Este calor se obtenía colocando el molde de metal con la mezcla resina-viruta en un horno de gas. | 1 |
| 9 | Corte. Los prototipos se sacaban del horno y se dejaban secar por media hora. Luego se cortaban en las especificaciones para obtener las pruebas | 2 |
-

La viruta de PET se obtendrá de envases vacíos reciclados de PET, triturados en el molino de plástico, el cual permite dependiendo del tiempo en el molino, variar el tamaño de la viruta. Por el tipo y diseño de investigación sólo se necesitan de dos personas para realizar las corridas y muestras.

Se realizaron cinco formulaciones por cada variable a estudiar, que son dureza, flexión e inflamación. Variando de 10% cada muestra con relación a la cantidad de resina de urea formaldehído a utilizar.

En el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala se realizaron las pruebas, específicamente en el laboratorio de Tecnología de la Madera.

10.3 Recolección de información

Para investigación cuantitativa: definir la muestra en términos numéricos, si se hace un cálculo estadístico se debe informar sobre los parámetros que se usan para el cálculo. Si la muestra es por intención o por conveniencia, debe justificarse plenamente.

Recolección de información: Las pruebas de dureza, flexión e inflamabilidad serán realizadas en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la USAC.

Se realizaron nueve formulaciones por cada variable a estudiar, que son dureza, flexión e inflamación. Variando de 10% cada muestra con relación a la cantidad de resina de urea formaldehído a utilizar. Teniendo un tamaño de viruta de 0.05 cm² de área superficial. En otra corrida se hicieron las mismas formulaciones.

Pruebas físicas: Con todas las planchas de aglomerado plástico, se realizarán las siguientes pruebas.

Dureza, flexión e Inflamabilidad.

En el laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala., etc.).

10.4 Técnicas e instrumentos

Análisis de datos: Los datos que fueron obtenidos se analizaron con la prueba de análisis de varianza, ANOVA. Para determinar si existe relación entre las variables estudiadas.

Se debe mencionar que las proporciones de 10 al 40 % en masa de resina de urea de formaldehído, no tuvieron una resistencia aceptable, por lo cual solamente se analizaron los prototipos con 50, 60, 70, 80 y 90% de resina.

TRATAMIENTO	VALORES DE LABORATORIO
50%	
60%	
70%	
80%	



10.5 Procesamiento y análisis de la información

Para el procesamiento de datos fue necesario utilizar el método ANOVA conocido también como análisis de varianzas.

ANOVA PARA FLEXIÓN TABLEROS DE AGLOMERADOS

TRATAMIENTO	VALORES			Sn	S ² n	S1 ² /n
50%	300	300	350	950	302500	300833.333
60%	300	300	300	900	270000	270000
70%	300	200	200	700	170000	163333.333
80%	200	300	200	700	170000	163333.333
90%	200	200	200	600	120000	120000
				3850	1032500	1017500

$$Fn = \frac{Sn^2}{N}$$

988166.67

44333.3333

$$Fm = \sum \sum n^2$$

1032500

$$F1 = Fm - Fn$$

29333.3333

$$F2 = Fo - Fn$$

$$Fo = \sum \frac{St^2}{n}$$

1017500

$$Ferror = F1 - F2$$

15000

°GL

4

Error = N-k

11

$$F3 = F2 / °GL \quad 7333.33333$$

$$F4 = Fe / (N - k)$$

1363.63636

Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

$$F_{total} = F_3/F_4$$

5.37777778

F_{tabla}

3.3567

Conclusión 5.3777 > 3.3567

Rechazar
H₀

ANOVA PARA DUREZA TABLEROS DE AGLOMERADOS

TRATAMIENTO	VALORES			Sn	S ² n	S1 ² /n
50%	2500	2200	2400	7100	16850000	16803333.3
60%	2800	2500	2800	8100	21930000	21870000
70%	3000	3200	2800	9000	27080000	27000000
80%	3400	3200	3200	9800	32040000	32013333.3
90%	2400	2000	2600	7000	16520000	16333333.3
				41000	114420000	114020000

$$F_n = \frac{Sn^2}{N}$$

112066667

2353333.33

$$F_m = \sum \sum n^2$$

114420000

$$F_1 = F_m - F_n$$

1953333.33

$$F_2 = F_o - F_n$$

$$F_o = \sum \frac{St^2}{n}$$

114020000

$$F_{error} = F_1 - F_2$$

400000

°GL

4

Error = N-k

11

$$F_3 = F_2 / °GL \quad 488333.333$$

36363.6364

$$F_4 = F_e / (N - k)$$

13.4291667

F_{tabla}

3.3567

$$F_{total} = F_3/F_4$$

Conclusión 13.4291 > 3.3567

Rechazar
H₀

11. Resultados y discusión

11.1 Resultados:

Los resultados obtenidos de las probetas analizadas en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala son los siguientes.

Se debe explicar que según el diseño y elaboración de los prototipos, los tableros con formulaciones de 10, 20, 30 y 40 por ciento en peso de resina no poseen características idóneas para ser utilizados como material de construcción o poder darle otro uso, ya que presentaban poca rigidez y la resina antes de fraguar, se acumulaba en la parte inferior de los tableros, dando como resultado una parte con una acumulación de resina y otra parte con desprendimiento de viruta lo que hace que no se puedan trabajar estos tableros.

Dureza

La dureza se determinó con el método JANKA, que es un ensayo por indentación por el cual, con el uso de una máquina calibrada, llamada durómetro, se fuerza una bola fabricada de un acero templado extraduro de un diámetro (D) determinado (función del espesor de la probeta a ensayar), y bajo unas condiciones específicas, contra la superficie del material que se quiere calcular su dureza, mediante la aplicación de una fuerza (P) durante un tiempo (t) dado.

Se puede apreciar que el porcentaje que ofrece la mayor dureza es el 80% para luego caer al mismo nivel de los otros porcentajes. Definitivamente la dureza está relacionada a la cantidad de resina. Como se explicó en la metodología, la viruta fue seleccionada de acuerdo a su tamaño, con un máximo de 5 mm con lo cual se establece que este es el tamaño que proporciona los resultados obtenidos en la tabla No. 1. Así de esta manera también se establece la presión en los tableros de 60 PSI para obtener estos resultados.

PORCENTAJE DE RESINA	DUREZA (lb)			PROMEDIO
50	2500	2200	2400	2367
60	2800	2500	2800	2700
70	3000	3200	2800	3000
80	3400	3200	3200	3266
90	2400	2000	2600	2333

Tabla No.1

Resultados de dureza sobre los tableros de aglomerados con resina de urea formaldehído utilizando viruta de polietileno tereftalato reciclado, realizado por el Laboratorio de Tecnología de la Madera del Centro de Investigación de Ingeniería de la USAC. Año 2021

Flexión

Es el esfuerzo o trabajo obtenido cuando un material descansando sobre sus apoyos es sometido a fuerzas de compresión sobre su sección central o centro de carga. Cuando las fuerzas de compresión se aplican en dirección perpendicular a la superficie, las fibras del material o espécimen de prueba tienden a flexionarse hasta su deformación.

Los resultados de la flexión en los tableros de aglomerados, demuestran que a una carga promedio de 316 lb f los tableros con una concentración de resina del 50% obtienen la carga máxima.

% DE RESINA	FLEXIÓN (lb)			PROMEDIO
50	300	300	350	316
60	300	300	300	300
70	300	200	200	233
80	200	300	200	233
90	200	200	200	200

Tabla No.2

Resultados de flexión sobre los tableros de aglomerados con resina de urea formaldehído utilizando viruta de polietileno tereftalato reciclado, realizado por el Laboratorio de Tecnología de la Madera del Centro de Investigación de Ingeniería de la USAC. Año 2021

Inflamabilidad

Método de ensayo para punto de inflamación y llama por medio de la copa abierta de Cleveland. ASTM D-92. Este ensayo de punto de inflamación y de llama es un método dinámico y depende de razones definidas de incrementos de temperatura para controlar la precisión del método. Este también es usado para determinar el punto de llama que es una temperatura arriba del punto de inflamación en la que la muestra a ensayar soportará la combustión por un mínimo de 5s

% DE RESINA	INFLAMABILIDAD °C			PROMEDIO
50	No tiene	No tiene	No tiene	
60	No tiene	No tiene	No tiene	
70	No tiene	No tiene	No tiene	
80	No tiene	No tiene	No tiene	
90	No tiene	No tiene	No tiene	

Tabla No.3

Resultados de inflamabilidad, sobre los tableros de aglomerados con resina de urea formaldehído utilizando viruta de polietileno tereftalato reciclado, realizado por el Laboratorio de Tecnología de la Madera del Centro de Investigación de Ingeniería de la USAC. Año 2021

Según el Laboratorio de Tecnología de la Madera, los prototipos se degradan a una temperatura de 170 °C, no inflamando sino que emiten humo.

Resultados ANOVA

Los resultados obtenidos de los coeficientes F con un nivel de significancia del 0.025 a una cola se resumen en la siguiente tabla.

No.	Prueba	F calculado	F Tabla	Hipótesis Ho
1	Dureza	13.4295	3.3537	Rechazada
2	Flexión	5.3777	3.3537	Rechazada
3	Inflamabilidad	-	-	No concluyente

.Tabla No. 4. Resultados de Anova

En este caso, al ser la F calculada mayor que la F de la tabla, se rechaza la hipótesis nula. Por consiguiente los supuestos de que las medias eran iguales no pueden ser aceptados, por consiguiente existen resultados de las pruebas que no son iguales y se puede considerar que los resultados donde se obtienen las mayores lecturas de dureza, flexión e inflamabilidad son los mayores.

11.2 Discusión de resultados:

Los tableros de aglomerados con resina de urea formaldehído y virutas de polietileno tereftalato reciclado elaborados en este proyecto de investigación, fueron fabricados con diferentes proporciones en peso de resina y virutas plásticas de PET. Estas proporciones son las que permiten realizar una evaluación fisicoquímica de los tableros antes mencionados y así determinar la factibilidad de los mismos.

Los tableros mencionados, utilizados para realizar pruebas de dureza, flexión e inflamabilidad, tenían unas dimensiones de 0.30 x 0.30 x 0.0254 metros. Aproximando se puede decir que poseían unas dimensiones de 12x12x1 pulgadas, equivalentes a un pie cuadrado por una pulgada de espesor.

Realizado el análisis de varianza, también conocido como el método ANOVA, para la prueba de flexión, se encuentra el factor calculado de 5.3777, siendo mayor que el factor de la tabla de Distribución F con un valor de significancia del 0.025 con una cola por la derecha. Por lo tanto según Triola (2009) cuando el factor F calculado es mayor que el factor F de la tabla de distribución, se rechaza la hipótesis nula.

De acuerdo a lo establecido en el anteproyecto de este trabajo de investigación, se estableció que la hipótesis nula era aquella donde las medias de los resultados obtenidos por cada una de las proporciones de urea formaldehído utilizadas en la elaboración de tableros de aglomerado con virutas de polietileno tereftalato recicladas, eran iguales entre ellas mismas. Es decir, no debería existir una diferencia en los promedios de los resultados, veáse la Tabla No. 1, donde por cada proporción de urea formaldehído utilizado se tienen tres

resultados, estos resultados obtenidos por el Laboratorio de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII- de la Universidad de San Carlos de Guatemala –USAC- por lo que se puede apreciar a simple vista que los resultados no son los mismos para cada uno de los tableros de aglomerados elaborados, pero a simple vista no se puede concluir absolutamente nada.

Por lo tanto, según el análisis ANOVA elaborado para los resultados de la prueba de dureza, se afirma que la hipótesis nula H_0 se rechaza. El significado de esto es muy importante ya que evidencia claramente que efectivamente los efectos de la dureza en los tableros de aglomerados elaborados en este proyecto de investigación están en función de la proporción de resina de urea formaldehído y de la proporción en peso de la cantidad de virutas de polietileno tereftalato –PET- utilizados en este proyecto. Quedando la proporción de 50% en peso de resina de urea de formaldehído la que mejor dureza proporciona a los tableros.

Esto es muy importante ya que los tableros se pueden elaborar con una proporción que se ajuste a las necesidades de construcción. Siendo posible la manipulación de las variables de manera tal que se pueda elaborar tableros con características de dureza de acuerdo al tipo de proyecto que se desea elaborar, ya que no siempre se necesitan tableros muy duros y en ocasiones se necesitan tableros que se puedan romper a determinadas presiones o fuerzas para ajustar parámetros según la necesidad de la construcción.

De acuerdo al análisis ANOVA realizado a los resultados de la prueba de dureza, se aprecia un factor calculado de 13.4291 siendo por su parte el factor F de la tabla de distribución F con un nivel de significancia de 0.25 con una cola por la derecha de 3.3567. El factor de la tabla es el mismo, ya que se tienen los mismos grados de libertad y también se tienen la misma cantidad de datos, puesto que según la Tabla No. 2 la cantidad n de datos es de 15 tanto para las pruebas de dureza, flexión e inflamabilidad.

Al igual que en el análisis anterior, se puede observar que el factor calculado es mayor al factor de la tabla del factor F con 0.025 de significancia. Realizando el mismo análisis se procede en base al resultado del análisis ANOVA a rechazar la hipótesis nula H_0 , por lo tanto las medias o promedios de resultados no son los mismos para cada uno de los tableros de

aglomerados elaborados en este proyecto de investigación. Si las medias no son las mismas, se concluye que efectivamente el tablero con una proporción de resina de urea de formaldehído con un 80% posee la mayor flexibilidad. Este dato también es muy importante, ya que permite graduar la flexión de los tableros de acuerdo a las necesidades de los proyectos de construcción donde se desee utilizar estos tableros de aglomerados elaborados con viruta de polietileno tereftalato reciclado.

Para el caso de la prueba de inflamabilidad, los resultados son los mismos para cada una de las proporciones de resina de urea de formaldehído. El punto de inflamabilidad no pudo ser alcanzado, ya que a una temperatura de 170 Celsius los tableros empezaban a emitir una especie de humo blanco y espeso, según comentarios de los resultados elaborados por el Laboratorio de Tecnología de la Madera. Esto indica que los tableros no son inflamables, por lo que se evitan riesgos de incendios y de propagación de fuego en caso de tener construcciones elaboradas con este tipo de tablero de aglomerado con virutas

En el caso de los resultados de la prueba de dureza, a medida que la cantidad de resina de urea de formaldehído aumenta, la dureza de los tableros también aumenta. Confirmando el resultado del análisis ANOVA ya que las medias no son las mismas y con este resultado de comprueba la correlación entre la cantidad de resina y la dureza. Según los resultados, cuando se alcanza un 80% de resina se obtiene un punto de inflexión, alcanzando el máximo valor de 3266 libras. Se debe aclarar que el método utilizado para determinar la dureza fue el método JANKA. Este método que permite determinar la dureza, especialmente para las maderas fue adoptado por los Estados Unidos de Norteamérica con el código D 143-83 (Standard methods of testing. Small clear specimens of timber) y consiste en calcular la fuerza necesaria que permite penetrar en la madera. Esto se logra con una esfera de acero hasta un plano diametral de 11,28 mm de diámetro hasta la mitad de su profundidad.

Realizando una comparación de la dureza de la madera con los resultados obtenidos en los prototipos de tableros de aglomerados, se aprecia que los tableros elaborados en este proyecto de investigación tienen una consideración semejante a una madera blanda.

Comparación de resultados obtenidos de este proyecto de investigación con otros proyectos donde se utilizan prototipos de aglomerados y algunas maderas seleccionadas.

DUREZA en LBf			
Este proyecto	evaluación de uniones en tableros de contrachapados de madera de pino caribe unidos por material reciclado de polietileno y poliuretano termo fundido	Elaboración de paneles ligeros a base de bagazo de Caña de Azúcar Aglomerado con Cemento Pórtland	Fabricación y evaluación de paneles aplicables a la industria de la construcción a partir del reciclaje de envases multicapa (tetra brik)
3200	2750	7800	2900

Ejemplos de maderas blandas en nuestro medio tenemos al falso ciprés, al abeto, la madera de bálsamo, las cuales a pesar de su blandura, se emplean en decoración y elaboración de muebles que no requieran mucho esfuerzo. Definitivamente los tableros de aglomerados pueden ser empleados en la fabricación y elaboración de separadores, tableros de pupitres en escuelas, lo cual fue realizado como proyecto de difusión de esta investigación.

En el caso de la flexión, se afirma que los resultados son comparables a los que se obtienen en muchas maderas, por ejemplo los mismos ejemplos de maderas blandas que se encuentran en Guatemala, tienen una carga de ruptura de 150 a 250 libras fuerza por pulgada cuadrada. En el caso de los tableros de aglomerados elaborados en este proyecto de

investigación, se tiene una carga de ruptura máxima en una proporción de 50% de resina de urea formaldehído.

Se aprecia por lo tanto que en el caso de la dureza la proporción que da los mejores resultados es la del 50% de resina, mientras que la flexión máxima se alcanza alrededor del 80% de proporción de resina. En el caso de la inflamabilidad, se mencionó que era la misma para todas las proporciones. Se concluye que una combinación de dureza y flexión para los tableros de aglomerados con viruta plástica de polietileno tereftalato y resina de urea formaldehído es aquella con una proporción del 65% de resina de urea formaldehído y 35% de viruta plástica.

En el caso de los costos de producción se tiene el siguiente análisis.

Item	Materiales	Costo (Q)
1	3 libras de viruta plástica a Q0.70/libra de envases	2.10
2	2.5 minutos de electricidad a Q2.30/minuto de generador	5.75
3	Resina de urea formaldehído a Q4.23/kg se necesitan 0.94 kg	3.97
4	Cloruro de amonio, se prepara una solución al 10% en peso que se mezcla con la resina en proporción de 65 de resina y 35 de solución de CINH4	0.25
5	17 mL de alcohol para calentar los prototipos	0.75
TOTAL		Q12.82

Tabla No. 4 Costos para elaborar un pie cuadrado de tablero de aglomerado con viruta plástica de PET reciclado y resina de urea de formaldehído.

Actualmente el precio de un tablero de 1 pulgada de playwood con dimensiones de 1.22x2.44 metros, equivalente a 31.95 pies cuadrados es de Q480.00 con un precio aproximado de 15.22 Quetzales por pie cuadrado. Según se aprecia en la tabla No.4 el costo de producción de un pie cuadrado de tableros de aglomerados utilizando viruta plástica de polietileno tereftalato reciclado con resina de urea formaldehído es de Q12.82 con lo cual el costo de producción es menor a los tableros tradicionales de aglomerados con viruta de madera.

12. Referencias

- Bonilla Sandoval, L. D. (2018). Estudio cualitativo y cuantitativo de mercado sobre tableros de aglomerado, elaborados de viruta y elementos poliplásticos como sustituto de productos maderables tradicionales (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).
- Contreras Miranda, W., & Rondon Sulbaran, M. T. (2016). evaluación de uniones en tableros contrachapados de madera de pino caribe unidos por material reciclado de polietileno y poliuretano termo fundido. *La Revista Forestal Venezolana*, 60(1), 17+.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación* (5ta ed.). México D.F.: McGraw-Hill Interamericana
- Cervantes Valdez, X. E., Andrade Ortega, J. Á., Ramírez Barragán, C. A., & Bravo García, L. R. (2015). Durabilidad natural de tableros aglomerados de cocotero. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(28), 188-201.
- Domínguez Lepe, J. A., & Guemez Pacheco, D. (2010). Fabricación y evaluación de paneles aplicables a la industria de la construcción a partir del reciclaje de envases multicapa (tetra brik). *Ingeniería*, 14(3).
- Infante-Alcalde, J., & Valderrama-Ulloa, C. (2019). Análisis Técnico, Económico y Medioambiental de la Fabricación de Bloques de Hormigón con Polietileno Tereftalato Reciclado (PET). *Información tecnológica*, 30(5), 25-36.
- Jiménez, P. V., Medina, J. C., Pan, E. M., Ruiz, A. P., & Umlandt, M. (2016). Uso de residuos de carpintería de la especie *Prosopis alba* y *Pinus sp.* en la elaboración de paneles aglomerados. *Quebracho-Revista de Ciencias Forestales*, 24(1-2).

Loening, L. J., & Markussen, M. (2003). Pobreza, deforestación y sus eventuales implicaciones para la biodiversidad en Guatemala. *Economía, Sociedad y Territorio*, 4(14).

Mansilla-Pérez, L., & Ruiz-Ruiz, M. (2009). Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster. *Ingeniería industrial*, (027), 123-137.

Martín, M. H. C., Molina, O. A., García, M. A., & Rodríguez, L. E. S. (2000). Tableros de madera de partículas. *Red Ingeniería Revista Académica*.

Ramos, J. J. O., Rangel, E. R., Romero, M., Torres, A. A., & García, E. R. (2012). Caracterización de materiales compuestos a base de PET reciclado reforzado con 5 y 40% en peso de partículas de zinc. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(1), 11-20.

Rivas, R. (2014). Diseño del proceso para la recolección, acopio y preparación de envases posconsumo de tetrabrik para su utilización en la recolección de paneles menores de aglomerados y su uso en productos industriales en el Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC.

Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2007). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (No. TA340. P76 2007.). México: Pearson Educación.

13. Apéndice

Fotografías

Fotografía No. 1



<https://drive.google.com/file/d/1rSimQbWn8vAiD6ZE-Yozaokrm9nkoSsc/view?usp=sharing>

Recolección de botellas y envases de polietileno tereftalato o PET en el predio de basura de la empresa que vendió el material. Se encuentra en el municipio de San Antonio Ilotenango

Fotografía No. 2



<https://drive.google.com/file/d/17069YL2WkNenwxfvIs8pHhkOxqO9OApW/view?usp=sharing>

Prensa hidráulica comprada con fondos DIGI la cual se utilizó para ejercer una presión de 100 PSI

Fotografía No. 3



<https://drive.google.com/file/d/1zfIoF792QGzApeZAEo20VomoSiFQyvWA/view?usp=sharing>

Molde de metal para comprimir los prototipos de aglomerados

14. Aspectos éticos y legales (si aplica)

Para este proyecto de investigación no fue necesario la opinión favorable de un comité de bioética debidamente constituido en la Usac, ni permisos, ni registros o licencias de instituciones del Estado.

15. Vinculación

Industria que elabora aglomerados nacional.

QSL S.A.

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales MARN.

Ministerio de Educación. MINEDEUC

Laboratorio de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala

16. Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual

Se pagó un mes de publicidad en medios de televisión local para hacer público los aportes de este proyecto de investigación al pueblo de Guatemala. Esta pauta en televisión local se hizo en canal cuatro y consta de un minuto de un spot donde se agradece a la Dirección General de Investigación DIGI por el apoyo al proyecto de investigación. Investigación, se identifica el nombre del proyecto así como su código.

También se solicita a la población de la cabecera departamental a ayudar con la recolección de material plástico reciclado a fin de tener una fuente de materia prima para elaborar paletas de pupitres de escritorio y reparar con estos tableros, escritorios de escuelas públicas del área de Santa Cruz del Quiché.

17. Aporte de la propuesta de investigación a los ODS:

Este proyecto de investigación se acopla perfectamente a uno de los objetivos de desarrollo sostenible, específicamente al de la Industria, innovación e infraestructura. Esto es posible ya que, por el tipo de proyecto de investigación, el cual es de desarrollo experimental, se pretende crear procesos y objetos que mitiguen la contaminación en el ambiente. Esto es posible debido a que, al utilizar material de desecho, especialmente cloruro de polivinilo PVC, se contribuye a reducir la contaminación ambiental. Además, con la utilización de este material reciclado, se pretende elaborar tableros de aglomerados, que son materiales ampliamente utilizados en la infraestructura de viviendas y objetos de uso cotidiano.

Por las razones antes expuestas, se confirma que este proyecto de investigación promueve la innovación, siendo esta uno de los mejores estímulos al crecimiento económico de cualquier sociedad

Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

18. Orden de pago final

Nombres y apellidos	Categoría (investigador /auxiliar)	Registro de personal	Procede pago de mes (Sí / No)	Firma
Midzar Daniel García Estrada	Coordinador	20121206	Sí	
Leyzer Aurelio López Noriega	Investigador	20141546	Sí	

19. Declaración del coordinador(a) del proyecto de investigación

El coordinador de proyecto de investigación con base en el *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación*, artículos 13 y 20, deja constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordina ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

Midzar Daniel García Estrada Nombre del coordinador del proyecto de investigación	Firma
Fecha: 05/11/2021	

20. Aval del director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 13 y 19 del *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación* otorgo el aval al presente informe mensual de las actividades realizadas en el proyecto (escriba el nombre del proyecto de investigación) en mi calidad de (indique: Director del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario), mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

Vo.Bo. Ing. Porfirio Alejandro Marroquín Quiñonez	Firma
Fecha: 05/11/2021	

21. Visado de la Dirección General de Investigación

Vo.Bo. Nombre Coordinador(a) del Programa Universitario de Investigación	Firma
Fecha: dd/mm/año	

Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Vo.Bo. Nombre Coordinador General de Programas Universitarios de Investigación	Firma
Fecha: dd/mm/año	