

Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas
(nombre del programa universitario de investigación de la Digi)

Factibilidad de elaboración de tableros de fibras de densidad media
-MDF- utilizando pélets de cloruro de polivinilo -PVC- reciclado.
nombre del proyecto de investigación

DES7CU-2022

código del proyecto de investigación

CUSACQ

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, 15 de Febrero de 2023

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

Contraportada (reverso de la portada)

Autoridades

Dra. Alice Burgos Paniagua
Directora General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador Programa Universitario de Investigación
en Ciencias Básicas

Autores

Nombre del coordinador del proyecto
Coordinador: Ing. Midzar Daniel García Estrada

Nombre del investigador(a)
Investigador: Ing. Leyzer Aurelio López Noriega

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación (Digi), 2022.
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 DES7CU-2022 en el Programa Universitario de Investigación de Ciencias Básicas

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

FORMATO DE INFORME FINAL

1 Índice general (incluir índice de tablas y figuras)

1	Índice general	03
2	Resumen	04
3	Introducción	05
4	Planteamiento del problema.....	06
5	Delimitación en tiempo y espacio	06
5.1	Delimitación en tiempo	07
5.2	Delimitación espacial	07
6	Marco teórico	08
7	Estado del arte	15
8	Objetivos	18
9	Hipótesis	19
10	Materiales y métodos	19
10.1	Enfoque de la investigación.....	19
10.2	Método	19
10.3	Recolección de información	21
10.4	Técnicas e instrumentos	21
10.5	Procesamiento y análisis de la información	24
10.6	Procesamiento y análisis de la información	19
11	Resultados y discusión	27
11.2	Discusión de resultados	32
11.3	Conclusiones	37
12	Referencias	38
13	Apéndice	41
14	Aspectos éticos y legales (si aplica).....	43
15	Vinculación	43
16	Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual	43
17	Aporte de la propuesta de investigación a los ODS.....	44
18	Orden de pago final	44
19	Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación.....	45
20	Aval del Director(a) del instituto	46
21	Visado de la Dirección General de Investigación	46

2. Resumen y palabras claves

Actualmente la contaminación ambiental es un problema a nivel global que puede ocasionar estragos en los servicios ecosistémicos y sociedades. Entre toda la problemática ambiental, la contaminación por plásticos amenaza la extinción de varias especies que los ingieren involuntariamente en forma de micro y nano plásticos.

La reutilización de plásticos, especialmente el cloruro de polivinilo (PVC) fue el tema principal de este proyecto de investigación. Este material debe ser eliminado del medio ambiente, ya que este se encuentra en muchos juguetes, envases, envolturas y artículos de un solo uso, lo cual provoca contaminación. La forma más eficiente de reciclar este material es convertirlo en otro artículo que pueda cumplir con otras funciones.

Este proyecto de investigación comprobó la factibilidad de utilizar PVC reciclado para convertirlo en tableros de densidad media los cuales pueden ser utilizados como materiales de construcción. Para ello fue necesario utilizar PVC en forma de pellets y mezclarlos con resina de urea de formaldehído en diferentes proporciones y obtener la mezcla que diera los mejores resultados en densidad, dureza y flexión.

Para este proyecto se tomó como hipótesis experimental que el tamaño de los pélets de PVC reciclado y la proporción de resina afectaban las variables de estudio, que en este caso eran la dureza, flexión y densidad. Para descartar o aprobar la hipótesis se utilizó el método ANOVA con dos variables y se correlacionaron para determinar que efectivamente el tamaño de los pélets y la proporción de resina influyen en las propiedades de los tableros de densidad media utilizando PVC reciclado y peletizado.

Palabras clave: Tableros de densidad media, resina, pélets de plástico, cloruro de polivinilo

Abstract and keyword

Environmental pollution is currently a global problem that can wreak havoc on ecosystem services and societies. Among all the environmental problems, plastic pollution threatens the extinction of several species that involuntarily ingest them in the form of micro and nano plastics.

The reuse of plastics, especially polyvinyl chloride (PVC) was the main topic of this research project. This material must be removed from the environment, as it is found in many toys, containers, wrappers, and single-use items, causing contamination. The most efficient way to recycle this material is to turn it into another item that can fulfill other functions.

This research project verified the feasibility of using recycled PVC to convert it into medium density boards which can be used as construction materials. For this, it was necessary to use PVC in the form of pellets and mix them with urea formaldehyde resin in different proportions and obtain the mixture that gave the best results in density, hardness and bending.

For this project, it was taken as an experimental hypothesis that the size of the recycled PVC pellets and the proportion of resin affected the study variables, which in this case were hardness, bending and density. To rule out or approve the hypothesis, the ANOVA method was used with two variables and they were correlated to determine that indeed the size of the pellets and the proportion of resin influence the properties of medium density boards using recycled and pelletized PVC..

Keywords: MDF, resin, plastic pellets, polyvinyl chloride

2 Introducción

Este proyecto de investigación, financiado por la Dirección General de Investigación (DIGI) de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) estudió la posibilidad de utilizar pélets de cloruro de polivinilo, de aquí en adelante llamado también como PVC por sus siglas en inglés - *PolyVinyl Chloride*- mezclado con resina de urea formaldehído en diferentes proporciones.

Normalmente los tableros de aglomerados y los tableros de densidad media – También se pueden nombrar como MDF por sus siglas en inglés *Medium Density Boards*- se elaboran a partir de viruta de madera finamente triturada y mezclada con resinas especiales. Para este proyecto se tomó la misma idea de elaboración de estos materiales de construcción, pero en lugar de utilizar madera triturada, se utilizó PVC reciclado triturado y peletizado para elaborar los tableros de densidad media.

Según Bollaín y Vicente (2020) muchos tipos de plásticos que se utilizan cotidianamente en artículos principalmente de un solo uso, no se degradan molecularmente, sino que sufren un proceso de fragmentación que provoca que estos plásticos se conviertan en micro plásticos, que a su vez se van incorporando por ingestión en casi todas las especies superiores y el hombre no es la excepción.

Este es uno de los temas que más preocupan a los científicos de muchas ramas de las ciencias cuando se habla de los microplásticos. Según Castañeta y colaboradores (2020):

Al día de hoy, los efectos de los micro plásticos sobre los humanos son desconocidos a cabalidad, lo que sí se sabe es que estos materiales producen infertilidad, malformaciones congénitas y otros padecimientos en animales de laboratorio, faltando tiempo para que se sepa los estragos que van a provocar en humanos, Por este motivo surge la necesidad de evitar que estos padecimientos y complicaciones se puedan desarrollar, siendo la única forma viable actualmente, que materiales plásticos tales como el cloruro de polivinilo se degraden en el ambiente y que este tipo de material pueda ser reutilizado en materiales que no sean de un solo uso. Si esto fuera posible, se estaría contribuyendo significativamente al desarrollo sostenible. (p.111)

En este proyecto se peletizó - peletizar es el proceso de comprimir o moldear un material en la forma de una bolita- el cloruro de polivinilo para ser utilizado como materia prima en la elaboración de los tableros de densidad media MDF. Utilizando este

plástico se evita la posibilidad de que se formen los peligrosos micro plásticos. El PVC en forma de pélets, se mezcló con la resina de urea de formaldehído para elaborar planchas o tableros de aglomerados de manera que pudieran ser utilizados como materiales de construcción. Con estos tableros elaborados se pudo demostrar la posibilidad de generar un sinfín de productos que pueden ser utilizados en el hogar, agregando un valor agregado a lo que muchos consideran basura. Evidentemente en este proceso, se benefician todas las partes, ya que se genera empleo y se reduce la permanencia de este material plástico en vertederos.

Las características físicas de los tableros de aglomerado, como quedó demostrado, dependen de la proporción adecuada de la resina de urea formaldehído y del tamaño del pelet. Estas son las variables que se tomaron en cuenta para obtener un producto con las propiedades físicas y químicas adecuadas para ser utilizadas en la elaboración de paneles o tableros para la construcción. Otra variable tomada en cuenta fue el tamaño del pelet de PCV ya que este le otorga al material producido según Elgegren (2012) la consistencia para que la resina se pueda adherir al material de relleno. Fue necesario considerar dos tamaños del pelet para el estudio de este proyecto para verificar el efecto del tamaño de las partículas de los tableros para ser considerado el efecto del tamaño sobre la dureza, la flexión y la densidad de los tableros MDF.

3 Planteamiento del problema

En la actualidad, según Romano (2014) el uso que se le da al PVC principalmente es en la agricultura, ya que con este material se elaboran mangueras, recipientes, herramientas y artículos que se utilizan intensamente en este sector industrial. Además, tiene uso muy extendido en la fabricación de envolturas, tubos de conducción de agua y recubrimientos industriales y amplios usos en el hogar. Se fabrican unas 36.5 millones de toneladas de este producto cada año y su uso se sigue incrementando a pesar de existir acuerdos internacionales que prometen reducir el uso de este organoclorado tóxico.

A pesar de que el PVC es considerado un material contaminante, poco se hace para reutilizar este material. Actualmente en Guatemala, ya se cuentan con estudios que indican que el ambiente guatemalteco no ha escapado de la contaminación por los plásticos y especialmente a la contaminación por microplásticos. Según el estudio de Tejada (2019) sobre este tipo de contaminación en el lago de Petén Itzá, los microplásticos se encuentran en diferentes proporciones y concentraciones en todos los afluentes donde existe actividad humana. Con esto se demuestra que es la humanidad la que contribuye a la contaminación del ambiente y debe ser esta misma especie la que al provocar el problema debe ser la que le dé solución a este grave problema que pone en riesgo la vida no sólo de especies de animales, sino que a la misma existencia de la humanidad.

De acuerdo a Zamora (2016) debido a la gran demanda que tiene la madera como materia prima en diversas aplicaciones, provocó que el periodo del 2000 al 2015 se deforestara en Guatemala un promedio de 90 mil hectáreas por año, mientras que la reforestación es de 30 mil hectáreas por año, significando evidentemente que se ha tenido una pérdida neta de 60 mil hectáreas de bosque cada año, lo cual es de lamentar,

ya que no sólo se pierde área boscosa sino que mucha flora y fauna que habita en los bosques se ve desplazada o simplemente se extingue sin tener datos reales. Muchos de estos recursos forestales son para la elaboración de artículos de diversos usos y en segundo lugar para cocinar. Al ritmo actual de consumo y deforestación, para el 2030 casi todos los bosques naturales del planeta se habrán extinguido, quedando solamente los bosques que el hombre a desarrollado por medio de la reforestación. Por tales motivos es imperativo desarrollar productos que sustituyan a la madera y que la población empiece a aceptar. Con este tipo de productos se reduciría la deforestación y el segundo problema que se podría resolver sería la contaminación por plásticos. De ahí la importancia de este proyecto, que pretende darles una solución a estos problemas.

Con la cantidad de plástico que se produce cada año y que va a parar a los vertederos de todo el país, es posible reciclar y elaborar materiales que sustituyan no solo a la madera sino a otros recursos naturales.

Este proyecto de investigación estudia la factibilidad de encontrar una solución factible a la contaminación por el uso del PVC desarrollando un procedimiento que permita reutilizar esta sustancia elaborando paneles para la construcción. Los paneles estarán elaborados con pelet de PVC mezclados en la proporción correcta con resina de urea formaldehído lo cual permitirá aglomerar al PVC y que pueda ser utilizado en la elaboración de paredes, divisiones, cielos falsos y cualquier tipo de material que requiera la utilización de paneles o tableros.

4 Delimitación en tiempo y espacio

5.1 Delimitación en tiempo

La duración programada para este proyecto fue de ocho meses, siendo necesario solicitar una ampliación del tiempo debido al cierre de los laboratorios de Tecnología de la Madera de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Durante el tiempo de ejecución se compraron equipo para elaborar moldes de metal, equipo para triturar y peletizar PVC reciclado y la resina de urea de formaldehído. También era necesario elaborar los tableros de aglomerados y realizar las pruebas necesarias para determinar entre otras propiedades la dureza (ASTM D143-09), flexión (ASTM D143-09) y densidad, para su evaluación. Luego de los resultados, se analizaron utilizando el método de ANOVA para dos variables y se realizó una campaña de información a la población ya que se pueden ejecutar interesantes proyectos de extensión como por ejemplo la construcción de casas para personas de escasos recursos.

5.2 Delimitación espacial

Este proyecto de investigación fue realizado en la cabecera departamental del departamento de El Quiché. Especialmente en el municipio de Santa Cruz del Quiché, lugar donde se encuentra el Centro Universitario de Quiché. El PVC reciclado se compró en empresas recicladoras y se tuvo previsto una campaña de concientización a la población de la cabecera departamental para que lleven material reciclado a un centro de acopio que fue creado en el Centro Universitario de Quiché, para que la población lleve material reciclado, lo cual es una forma de llamado al cambio de hábitos de consumo.

5 Marco teórico

6.1 Cloruro de polivinilo (PVC)

6.1.1 Producción de cloruro de polivinilo (PVC)

Según Sadat-Shojai y Bakhshandeh (2011) el cloruro de polivinilo, también llamado PVC, tiene una fórmula molecular de $(C_2H_3Cl)_n$ y es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo. Este material se puede elaborar por cuatro métodos diferentes, esto hace que el PVC sea uno de los plásticos más utilizados actualmente en muchas aplicaciones.

El cloruro de polivinilo, normalmente es un material blanco, con un punto de ablandamiento térmico cercano a los 80 °C y con una temperatura denominada de descomposición cercana a los 140 °C. El PVC químicamente es un polímero, siendo a su vez también una resina que se forma del proceso de polimerización del cloruro de vinilo. Entre sus propiedades que lo hacen ideal para recubrimiento de alambre conductor de electricidad está la alta resistencia a la llama y el calor.

Como se mencionó en el párrafo anterior, el PVC es un polímero y este se forma cuando un átomo de cloro se enlaza a un par de átomos de carbono. Esta característica le confiere al polímero -cloruro de polivinilo- propiedades de índole amorfo, impidiendo su re cristalización, también por la temperatura de moldeado, este se usa ampliamente en la industria alimentaria, como envase de alimentos que necesitan refrigeración. Otra propiedad de este material es que es fácilmente extruido, es decir que se puede utilizar en objetos a partir de la extrusión de este material. También el PVC puede ser mezclado con colorantes, otros plásticos y sustancias que le confieren características únicas y por este motivo es que se utiliza en muchos procesos.

6.1.2 Tipos de PVC

En el mercado, según Elegregen (2012) existen varios tipos de PVC, siendo estos los siguientes.

Rígidos: Principalmente se utiliza en envases, ventanas, tuberías para aguas residuales y agua potable, sustituyendo la tubería de metal que tiene el inconveniente de ser mucho más cara y susceptible a ser corroída, juguetes resistentes.

Flexibles: Recubrimientos para cables eléctricos, legos y muñecas, también se utiliza en la fabricación de ciertos tipos de calzado, pavimentos, recubrimientos para paredes, techos y muchos artículos más.

6.1.3 Reciclado del PVC

No fue hasta la segunda mitad del siglo pasado, cuando la utilización de los diferentes tipos de plásticos, empezaron a marcar una tendencia al uso de estas sustancias que han ido creciendo a través de los años. El hombre desde sus orígenes ha tenido la necesidad de utilizar materiales, que van desde herramientas, hasta artículos de adorno corporal.

También de acuerdo a Braun (2002).

El reciclaje de PVC usado requiere una caracterización cuidadosa de los residuos de PVC. El análisis de la chatarra, especialmente con respecto a la estabilidad térmica y el peso molecular, es útil antes del reprocesamiento. Se puede lograr una estabilización adicional del PVC usado con hasta un 10 % en peso de rellenos, por ejemplo, tiza, que no cambia las propiedades mecánicas. Se proporciona un estudio de la literatura sobre los conceptos y métodos propuestos para el reciclaje químico y de materiales del PVC. (p.07)

Según Castañeta y colaboradores (2020) uno de los primeros científicos en producir plásticos fue el danés Leo Baekeland, cuando sintetizó la baquelita, material que más tarde llegó a conocerse como plástico BK. Actualmente la producción de plásticos a nivel mundial sobrepasa la cantidad de 400 millones de toneladas al año, siendo uno de los materiales que más producción tienen y que tienen un sinfín de aplicaciones tanto en el hogar como en el desarrollo de la tecnología. Se debe recordar que los plásticos, en su gran mayoría, no se encuentran en la naturaleza, por lo tanto, no se pueden degradar y si lo hacen a veces forman los peligrosos microplásticos.

Desde esa fecha, hasta estos días, se han desarrollado una cantidad grande de plásticos, siendo un material que está presente en casi todos los artículos que se utilizan en la vida moderna y sin estos prácticamente sería muy difícil poseer muchas de las comodidades que se gozan en estos días. Lamentablemente este avance, en el desarrollo de los plásticos, ha tenido efectos devastadores, ya que los plásticos son los responsables de buena parte de la contaminación actual,

En el trabajo de Elgegren y colaboradores (2012) se estudia la forma de reciclar los plásticos. El crecimiento a veces sin medida en la producción de plásticos, provocado por el también sin medida nivel de consumo actual, provocan que en la actualidad los materiales plásticos estén presentes en cada rincón del planeta. Llevando a situaciones que puede provocar un estrago a nivel de ecosistemas, generando que muchas especies puedan extinguirse debido a las deformaciones que provocan los plásticos cuando son ingeridos por algunos animales, esto a nivel de laboratorio, pero no se está lejos de empezar a ver estas anomalías en la vida silvestre. En el trabajo de los investigadores arriba mencionados, se utilizan químicos para convertir algunos plásticos de uso común en otros con un valor económico mayor. El problema con estas técnicas es que se utilizan químicos que de alguna u otra manera pueden ir a parar al medio ambiente, convirtiendo la solución al problema de los plásticos, en algo donde el remedio resulte más peligroso que la enfermedad, por decirlo de otra manera.

Actualmente la mayoría de plásticos que generan contaminación son los que se utilizan en empaques y envases de un solo uso. El plástico de los envases es en su mayoría PET ya sea de baja o de alta densidad. En la mayoría de envases, las etiquetas están elaboradas de cloruro de polivinilo PVC y el tiempo que tarda en degradarse este material es según Migallón (1996) de unos 100 hasta unos 1000 años. Siendo el PVC uno de los plásticos que más tiempo permanecen en el ambiente y su degradación dependerá de condiciones como acidez, temperatura, humedad entre otros. Nuevamente surge la necesidad de encontrar la manera de reutilizar este material y evitar que llegue a los basureros donde casi no reciben tratamiento y pueden seguir contaminando por, literalmente miles de años.

6.2 Los microplásticos en Guatemala.

Según Ortiz (2021) la presencia de microplásticos en diferentes especies de peces de Guatemala es una situación a la cual ya no se puede ignorar o pensar que sólo sucede en otras regiones del mundo y que en estas latitudes no se corran estos riesgos de contaminación. Los microplásticos según este estudio, se encuentran ya en concentraciones bajas, pero significativas en algunas especies marinas. Esto quiere decir que en diferentes especies de peces que son consumidas por los humanos, la presencia de plásticos en forma de pequeñas partículas ya está afectando los ecosistemas y se debe lo más pronto posible empezar a encontrar formas de reducir, reutilizar y aprovechar el reciclado del plástico, especialmente el cloruro de polivinilo. Las acciones que los guatemaltecos han ido realizando en contra del ambiente, ya se están pagando y por estas mismas razones es que debe ser imperativo que se realicen acciones que prevengan que más de estos microplásticos lleguen a las especies marinas que son la base alimentaria de muchas familias.

Los microplásticos, también conocidos como MPs, se encuentran en la naturaleza de muchas formas, las más comunes de encontrar son esferas, viruta, pellets, espuma y fibras de forma de pequeños hilos. La manera en que se forman los microplásticos depende en gran medida del tipo de plástico del cual provengan y de la forma original del artículo primario. También depende de la degradación y condiciones por las cuales se generaron los microplásticos.

Para la mayoría de investigadores, los microplásticos se clasifican por su tamaño, empezando con un diámetro menor a los 5 milímetros y un diámetro mayor a un micrómetro, que equivale a la millonésima parte de un metro. Como se puede apreciar, el prefijo micro no necesariamente significa que los microplásticos no puedan observarse a simple vista, sino que es un rango de tamaños. Por debajo del límite mínimo de los microplásticos, se denomina nano plásticos a estas sustancias y por arriba del tamaño de 5 mm se denominan a estas partículas meso plásticos.

6.3 Tableros de fibras de densidad Media.

6.3.1 Elaboración de los tableros de densidad media MDF

La madera MDF, según Zambrano y colaboradores (2013) conocida por sus siglas en Inglés de *-medium density Fibreboard-* que significa literalmente tableros de fibras de densidad media, es un tipo de madera que se utiliza para ser empleada en todo trabajo que necesite madera natural pero que por cuestiones de área de trabajo, la madera natural no pueda ser utilizada. Es un material sumamente resistente, que cuenta con varias opciones de terminado.

A la madera a la cual previamente se le debe eliminar la lignina, debe ser mezclada con resinas mediante fuerte presión y calor, en seco, hasta alcanzar una densidad media. Los tableros de densidad media MDF presentan una estructura uniforme y homogénea, además de poseer una estructura fina que le dan a estos tableros un acabado muy elegante. Estos tableros de fibras de densidad media, se les puede trabajar de la misma manera de cómo se trabaja la madera. Siendo posible trabajarla con barreno eléctrico, sierras de mano y eléctricas, con torno, con fresa mecánica y de todas las mismas formas con las cuales se puede trabajar la madera.

Según Dávila (2010) normalmente los tableros MDF se forman con fibras lignocelulósicas cuya unión se consigue mediante resina de urea formaldehído y un proceso de prensado en caliente. Al ser un producto constituido por fibras unidad con resinas, presentan superficies lisas y libres de defectos en ambos lados, siendo una de las principales características de este tipo de material de construcción. El rango de densidades del tablero MDF está normalmente comprendido entre 600 y 900 kg/m³.

De acuerdo a Madueño y colaboradores (2023) el proceso se inicia con la trituración de la materia, que son trozos de diferentes tamaños de pino, mediante unas astilladoras de cuchillas. Las astillas deben estar limpias para ser pasadas por diferentes procesos que van a reducir el tamaño de estas partículas. Por este motivo en algunos lados se les conoce a los tableros MDF como tableros de partículas. Cuando las astillas están limpias son calentadas a una temperatura de 80-85 °C y pasan al digestor donde se someten a una temperatura de 160-170 °C, durante 1 a 3 min.

A diferencia de los tableros de aglomerados, donde las astillas de madera pueden tener tamaños que van de las décimas de milímetros hasta un tamaño de 30 mm, los tableros MDF esta constituido por partículas de tamaño homogéneo, lo cual le da propiedades muy diferentes a los tableros de aglomerados. Una propiedad que distingue a los tableros MDF es la densidad media en todo el tablero, lo que le proporciona rigidez y flexión en cada una de las partes del tablero.

6.3.2 Aplicaciones de los tableros de densidad media MDF

Los usos que tienen los tableros de densidad media son muy variados. Los usos dependen de buena medida en algunos casos de los recubrimientos que se les apliquen. En cuanto a las propiedades físicas de estos tableros son en el caso de la densidad, esta debe ser superior a 450 kg/m³. El contenido de humedad se suministrará con un contenido de humedad comprendido entre el 4 y el 10%.

Según Martínez-Espinoza y colaboradores (2002) los tableros de densidad media mantienen el carácter higroscópico de la madera, lo que hace que su contenido de humedad tienda a permanecer en equilibrio con las condiciones higrótérmicas del medio. En otras palabras los tableros MDF a pesar de tener un área superficial de varios metros cuadrados, sus características se mantienen en todo el tablero. Esta propiedad hace que en algunos casos, hablando de estructura, los tableros sean mejores incluso que la madera natural.

En la industria, las propiedades antes mencionadas, hacen que los tableros MDF se utilicen en artículos como repisas, muebles de oficina, paredes, cielos falsos y muchos otros objetos donde la madera sería la única forma eficiente de sustituirlos. Hay que aclarar, que los tableros convencionales de fibras de densidad media MDF no dejan de ser madera desde un punto de vista, siendo la diferencia que los tableros llevan una considerable cantidad de energía para ser elaborados. Con la sustitución de tableros MDF por madera, realmente no se elimina por completo el problema de la deforestación, esto se debe a que se sigue utilizando madera proveniente de bosques para elaborarlos. Entonces la solución sería fabricar tableros de fibras de densidad media pero en lugar de utilizar astillas de madera, se deberá utilizar sustancias que provoquen problemas para la humanidad, siendo uno de estos productos, los plásticos.

7.4 Elaboración de pélets

Según Sánchez (2015) el término pellet, también siendo posible encontrar el término pélet, hace referencias a diminutas piezas formadas a partir de presión sobre diversos materiales. Estos materiales pueden ser por ejemplo la madera, para fabricar pélets para estufas especiales. Cereales, para fabricar alimento para animales. Plásticos, normalmente siendo utilizado para su transporte y fabricación de objetos mediante el proceso de extrusión o inflado. La forma más común de estos pélets es la esférica o también se puede encontrar de forma cilíndrica. Algunos estudiosos aseveran que la palabra pélet proviene del latín y en Español esta palabra dio origen a la palabra pelota.

El tamaño de los pélets puede variar de 0.01 mm hasta 5 mm y el tamaño dependerá de la función que se le desee dar.

Los métodos más comunes en la industria para elaborar pélets de plástico reciclado son por extrusión, por moldeo por inyección, moldeo de espuma estructural, moldeo por soplado, moldeo rotativo, termoformado y moldeo por compresión.

6.4 Métodos para control de calidad de tableros MDF

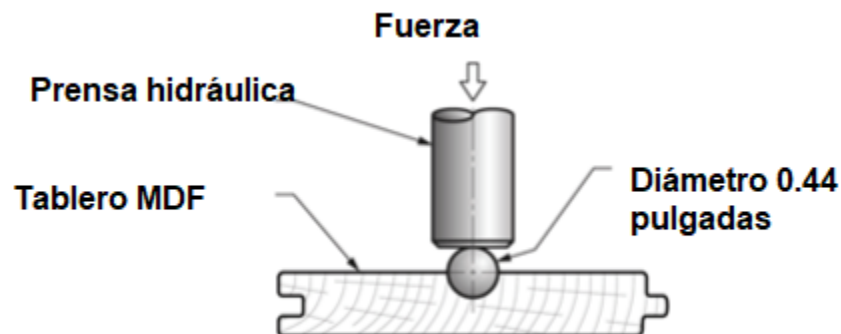
6.4.1 Método de dureza Janka

Debido a la diferencia de dureza entre los distintos materiales, existen una gran variedad de ensayos de dureza. Estos ensayos pueden agruparse básicamente en tres grupos: por rayado, por penetración, y por rebote. En el caso de la madera el ensayo más recomendado es el ensayo por penetración. Dentro de este grupo existen diferentes ensayos dependiendo de la forma del indentador (cabezal de contacto) y valores empleados para las mediciones. Algunos de ellos son: Brinell, Rockwell, Vickers, Knoop, Janka, Monnin o Chalais Meudon.

De acuerdo a Zambrano (2014) Es el método adoptado por la norma estadounidense D143-83 “Standard methods of testing. Small clear specimens of timber”. Consiste en determinar la fuerza necesaria para hacer penetrar en la madera una esfera de acero hasta su plano diametral, con un diámetro de 11,28 mm. Se utilizan probetas de 50x50x150cm. En este ensayo la dureza se expresa en unidades de fuerza (libras, Newtons o kilopondios).

Figura 1

Representación del procedimiento del método Janka



Nota: Elaboración propia con base en Mescco Quispe, B., y Quispe Pimentel, Y. M. (2018)

6.4.2 Densidad

Según Matos (2006) un factor determinante y como el mismo nombre lo indica, los tableros de densidad media MDF se clasifican de acuerdo a la densidad, existiendo tres tipos.

MDF alta densidad: con densidades máximas de 900 kg/m³

MDF densidad media: entre rangos de 600 a 850 kg/m³

MDF de baja densidad: con densidades menores de 600 kg/m³

Para determinar la densidad de los tableros MDF, en condiciones normales, se utiliza probetas con un determinado tamaño, calculando el volumen como la multiplicación de altura, anchura y longitud de cada probeta, con los cuales se obtiene el volumen. Luego se determina la masa con una balanza analítica.

$$\rho = \frac{P}{A*B*C}$$

Donde:

ρ = densidad (g/cm³)

A = altura (cm)

B = anchura (cm)

C = longitud (cm)

P = peso (g)

6.4.3 Flexión

6 Estado del arte

Actualmente la reutilización de plásticos se ha convertido en algo imperante para no seguir contaminando al planeta.

Según Zambrano y Moreno (2013) en su trabajo denominado Tableros de partículas fabricados con residuos industriales de madera de *Pinus patula*. Se pretende sustituir la utilización de la madera en la elaboración de tableros de densidad media pero utilizando material de desecho de la industria maderera. Como se sabe, los tableros MDF son fabricados a partir de madera en trozos y siendo procesada eliminando la lignina y aplicando resina de urea formaldehído con altas temperaturas y altas presiones. El impacto de la utilización de madera en la fabricación de estos tableros, definitivamente tiene un impacto sobre el medio ambiente y es necesario encontrar sustitutos a la madera. En este caso sigue siendo madera, pero proviene de una fuente de desechos industriales lo cual es lo que el mundo necesita actualmente. Para el caso de esta investigación, este trabajo demuestra que es posible utilizar otro tipo de materiales para elaborar tableros de densidad media.

Otro trabajo interesante es el de Galdos (2008) titulado Aptitud del bambú *Guadua angustifolia* Kunth en la elaboración de tableros de partículas de densidad media. En este trabajo de investigación se estudió la posibilidad de utilizar materiales que no son los convencionales para elaborar los tableros de densidad media. Para este trabajo se utilizó bambú, que fue triturado hasta obtener un tamaño de partícula homogéneo y fue necesario utilizar resina de urea formaldehído para lograr la elaboración de este tipo de material. El resultado fue un tablero con condiciones de densidad de 793 kg/m³ lo cual es una cifra excelente. Las propiedades de fractura y tensión de ruptura son similares a las que se obtienen de los tableros de densidad media con madera tradicional. Demostrando en este caso que es posible utilizar materiales no convencionales para obtener los tableros MDF con un buen potencial de comercio y producción a gran escala.

En el trabajo de López (2015) en su trabajo titulado Análisis microeconómico para la producción y venta de tableros de aglomerado de plástico, como sustituto directo de paneles de madera MDF, se analiza la posibilidad de la fabricación de tableros de plástico como sustituto de los paneles MDF tradicionales. Debido al bajo precio del plástico reciclado y a la gran cantidad de material que se encuentra en casi todos los rincones de Guatemala, la posibilidad de utilizar plásticos para ser utilizados es completamente factible. Con esta investigación se demuestra que se puede utilizar plástico reciclado y que sea económicamente posible que los tableros fabricados a partir de estos materiales puedan ser sustitutos a la madera. Ahora más que nunca se debe evitar seguir talando bosques y menos que sea para fabricar artículos altamente procesados ya que no sólo talan los árboles sino que en su fabricación se gastan cantidades significativas de energía.

Según Delgado (2006) en su trabajo titulado Elaboración de tableros de partículas de densidad media con residuos de tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Ducke) proveniente de la plantación de Jenaro Herrera. Este estudio fue realizado en Perú y analizó la posibilidad de utilizar otro tipo de material en la fabricación de tableros de densidad media. El material estudiado fueron especies de un árbol llamado tornillo, a diferentes edades de madurez de las plantaciones. En este caso se utilizó el mismo procedimiento para realizar tableros de densidad media, pero con la diferencia que en lugar de madera de pino, que es la más utilizado a nivel mundial, se utilizó la mencionada madera de tornillo. Los resultados demuestran que es necesario realizar más estudios, ya que la consistencia de los tableros MDF depende en gran medida de la calidad de las partículas que le van a dar propiedades mecánicas necesarias para que puedan ser utilizadas en la elaboración de artículos o como material de construcción.

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, Dávila (2010) en su trabajo de investigación titulado el desempeño de superficies en tableros MDF a base de mezclas de madera de pino y de eucalipto, demostró que es posible mezclar otro tipo de sustancias en los tableros de fibras de densidad media. Este estudio es importante para este proyecto de investigación, ya que puede ser posible elaborar MDF con elementos que no son los tradicionales, al decir tradicionales se debe entender que la sustancia que se utiliza de manera universal es la madera de pino, ya que es una de las más abundantes y además que es posible de una forma relativamente sencilla eliminar la lignina. En el trabajo de investigación se realizaron mezclas de madera de pino y de eucalipto, variando con un 5% para cada una de las especies y se prosiguió aumentando la proporción, es decir, en la siguiente fase del experimento se aumentó a un 60% de madera de pino y un 40% de madera de eucalipto. Los resultados de esta investigación demuestra que las variaciones en cuanto a la densidad, rugosidad de los tableros son aceptables para ser producidos a nivel industrial.

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 por su parte Sánchez (2015) en su proyecto de investigación titulado Estudio de factibilidad de una empresa de elaboración de pellet a partir de material reciclado, investigación realizada en Chile, se comprueba la factibilidad de elaborar pélets a partir de material de desecho, demostrando con este proyecto que es posible elaborar el material que se va a utilizar en este proyecto de investigación. El tamaño del pélet puede variar de 0.1 mm hasta unos 5 mm. Para este proyecto de investigación se trabajarán con tres tamaños

diferentes, el de 0.1, 1 mm y 5mm para que las muestras sean representativas. El tamaño puede conferir diferentes propiedades a los tableros de fibras de densidad media y para este caso es que se van a necesitar tres tamaños de los pélets. El proceso más adecuado para elaborar pélets de PVC es por el método de termoformado.

7 Objetivos

8.1 Objetivo general

8.1.1 Demostrar la factibilidad de utilizar pélets de cloruro de polivinilo reciclado para elaborar tableros de densidad media MDF con resina de urea formaldehído.

8.2 Objetivos específicos

8.2.1 Definir el diámetro del pelet de PVC reciclado que se debe de emplear en la elaboración de tableros de densidad media MDF.

8.2.2 Precisar la proporción correcta de resina de urea formaldehído en porcentaje en masa que se debe utilizar con pélets de PVC reciclado en la elaboración de tableros de densidad media MDF.

8.2.3 Determinar que los tableros de densidad media MDF elaborados a partir de pélets de cloruro de polivinilo reciclado poseen una excelente dureza, flexión y densidad.

8 Hipótesis (si aplica)

Hipótesis nula (H_0)

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_n$$

No existe una diferencia entre los tableros de densidad media MDF elaborados con cloruro de polivinilo PVC reciclado y peletizado en relación al tamaño de las partículas utilizadas y a la proporción de resina empleada para su elaboración.

Hipótesis alterna (H_a)

Existe una diferencia entre los tableros de densidad media MDF elaborados con cloruro de polivinilo PVC reciclado y peletizado en relación al tamaño de las partículas utilizadas y a la proporción de resina empleada para su elaboración.

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_n$$

9 Materiales y métodos

Para lograr los objetivos de esta investigación fue necesario deducir la relación entre las variables propuestas.

Según Gómez (2006) 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 pélets de PVC con la resina de urea de formaldehído en la elaboración de tableros de aglomerados.

10.1 Enfoque de la investigación

Esta investigación por los datos obtenidos y por su análisis fue de tipo cuantitativa experimental.

10.2 Método

Para obtener la información que permitiera establecer si es factible elaborar tableros de densidad media MDF a partir de cloruro de polivinilo reciclado y peletizado fue necesario fabricar muestras de tableros MDF con dimensiones de 12*12*1 pulgadas. Fueron necesarios 81 muestras.

Para realizar la presente investigación fue necesario seguir la siguiente metodología.

Tabla 1

Procedimiento para elaborar todos los tableros de densidad media MDF

No	Procedimiento	Tiempo (h)
1	Recolección de envases y material de PVC se recolectaron 500 libras	36
2	Limpeza del material reciclado con agua potable del grifo	24

3	Eliminación de etiquetas, roscas, taparoscas, seguros o cualquier elemento que no fuera de PVC	10
4	Trituración del material de PVC en el molino de plástico marca YUDO de 6 cuchillas. Luego de la trituración se realizaba un tamizado para clasificar los pélets por tamaños. El tamaño del tamiz era de 2.0 a 5.0 mm y el otro fue de menos de 1.0 mm lo cual permitió establecer el tamaño de los pélets para elaborar los tableros de densidad media MDF	30
5	Lavado de los pélets de PVC. Los pélets obtenidos se lavaban con agua y eran secados al sol. Se evitó utilizar agentes químicos como jabones o lejías, para evitar contaminación.	20
6	Preparación de la resina. A la resina de urea formaldehído pura, se le agregaba un 10% 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.	8
7	La mezcla de resina de urea formaldehído y los pélets se preparaban en proporción en peso. Utilizando una báscula marca TECNIPESA modelo AD-100 con capacidad mínima de 20 g. El primer tablero MDF constaba de un 10% de resina y 90% de pélets. Se agregaba una cantidad para que el molde se llenara a 3.1 mm de altura y luego se comprimía con una presión de 60 PSI en una prensa hidráulica marca BBT de 30 toneladas.	15
8	Fraguado de resina. Se colocaba el molde de acero con la resina y los pélets en un horno a 90° C por 10 minutos	20

9	Corte. Los prototipos se cortaban con una sierra eléctrica en tres partes iguales para realizar las pruebas de dureza, flexión y densidad	2
10	Las pruebas fueron realizadas en el laboratorio de Investigación del Centro Universitario del Quiché	

10.3 Recolección de información

Para este trabajo de investigación, se utilizó 500 lb de cloruro de polivinilo reciclado, el cual fue adquirido en la empresa QSL S.A. la cual se encarga de recolectar desechos en la cabecera departamental del departamento de El Quiché.

10.4 Técnicas e instrumentos

PÉLETS: Para la realización de este trabajo de investigación, fue necesario tener dos diámetros del pelet de PVC reciclado. Como se ha demostrado teóricamente, el tamaño de las partículas en los tableros de densidad media MDF le proporciona características especiales a estos tableros. Para este caso, se necesitan dos diámetros, que son los que corresponden a los que normalmente se utilizan en la elaboración de los tableros. Estos diámetros son 1.00 mm y otro que oscile entre 3.0 a 5.0 mm.

Los pélets se elaboraron en un molino peletizador marca YUDO de 220 V trifásico de 6 cuchillas a 2500 RPM.

RESINA: Para preparar la resina de urea formaldehído era necesario preparar antes una solución de cloruro de amonio al 10%. Esta solución de cloruro de amonio se debe mezclarse con la resina de urea de formaldehído como el secante de la resina. Se pesaba la resina en la báscula marca TECNIPESA modelo AD-100 y se agregaba la solución de cloruro de amonio de tal modo que quedara un 10% de la solución de cloruro de amonio en la mezcla de resina y el secante.

TABLEROS DE DENSIDAD MEDIA: Para la proporción de la resina de urea de formaldehído, se utilizó el porcentaje en masa. Se mezclaron diferentes proporciones de resina con el PVC reciclado. Las proporciones se cambiaron de 10% hasta un 90% con variaciones de 10 en 10. Para el primer tablero se utilizó, por ejemplo, PVC reciclado en un 10% en peso y de resina de urea de formaldehído en un 90% en peso. Así sucesivamente se elaboraron todos los tableros MDF.

PARA OBTENER LA DUREZA.

Los materiales necesarios para obtener la dureza fueron

- Prensa hidráulica marca BBT de 30 toneladas

- Bola de acero de 11.28 mm de diámetro
- 54 muestras de los tableros de densidad media MDF, tres para cada concentración de resina y para cada uno de los tamaños de pélets utilizados.

Se utilizó una prensa hidráulica graduada, la cual permitía establecer la fuerza necesaria para perforar los tableros elaborados, utilizando una bola de acero con 0.444 pulgadas de diámetro, equivalente a 11.28 mm de diámetro. Hasta lograr una perforación en la cual el eje diametral entrara en la superficie de los tableros.

Como la prensa hidráulica posee un manómetro, era posible determinar hasta que fuerza era necesario ejercer sobre los tableros de densidad media para que la bola de acero perforara a las muestras.

Esta prueba fue realizada en el Laboratorio de Investigación del Centro Universitario del Quiché. La temperatura ambiente era de 17.4 °C.

PARA OBTENER LA FLEXIÓN.

Los materiales necesarios para obtener la dureza fueron

- Prensa hidráulica marca BBT de 30 toneladas
- 2 placas de acero de 1*3*6 pulgadas
- 54 muestras de los tableros de densidad media MDF, tres para cada concentración de resina y para cada uno de los tamaños de pélets utilizados.

Se utilizó una prensa hidráulica la cual tenía una escala la cual permitía observar el punto de ruptura de los tableros de densidad media.

Se colocaban las muestras de los tableros MDF sobre las dos placas de acero. Se debe recordar que las muestras para determinar la flexión tenían un tamaño de 1*3*12 pulgadas y estas se colocaban de tal modo que una tercera parte quedara sobre la placa de acero y una tercera parte era la que quedaba justo debajo de la extensión de la prensa hidráulica.

Esta prueba fue realizada en el Laboratorio de Investigación del Centro Universitario del Quiché. La temperatura ambiente era de 22.6 °C.

PARA OBTENER LA DENSIDAD

Los materiales y equipo utilizado fueron los siguientes

- Balanza analítica marca ECS modelo SF-400A de 5000 x 0.1 g
- Probeta graduada marca Kimax de 100 mL de 0.5 mL incerteza.
- Agua
- 54 muestras de los tableros de densidad media MDF, tres para cada concentración de resina y otros tres para cada uno de los tamaños de pélets utilizados

Para determinar la densidad era necesario determinar el volumen de la muestra, para ello se colocaba un trozo de los tableros de aglomerado en una probeta graduada y se agregaba 50 ml de agua. En una probeta graduada se introducía un trozo de más o menos 1 cc de los

tableros MDF, seguidamente se agregaba agua a fin de calcular el volumen de agua desplazado por los trozos de material. Determinando el volumen del material.

Previo a este procedimiento se pesaban las muestras en una balanza analítica para determinar la masa de las muestras.

La densidad se obtenía dividiendo la masa del material entre el volumen.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

ρ = densidad

m = masa en g

V = volumen en cc

Esta prueba fue realizada en el Laboratorio de Investigación del Centro Universitario del Quiché. La temperatura ambiente era de 23.8 °C.

10.5 Procesamiento y análisis de la información

Análisis de datos:

Los datos serán obtenidos se analizarán con la prueba de análisis de varianza, ANOVA para dos variables. Según Triola (2004) el análisis de varianzas o por sus siglas en inglés de -ANalysis Of VAriance- se utiliza principalmente para el análisis de experimentos donde lo que se desea es analizar el efecto de las variables independientes sobre las variables dependientes. En el caso de este proyecto de investigación, se analizaron dos variables independientes, las cuales son el tamaño del pélets que se va a utilizar en la elaboración de tableros de densidad media MDF y la otra variable es la de la proporción de resina que se va a mezclar con los pélets los cuales tendrán un efecto sobre las propiedades de dureza, flexión y densidad de los tableros MDF.

El análisis para verificar la posibilidad de elaborar tableros de aglomerados pélets de PVC reciclado es un análisis de varianza ANOVA con dos factores. Esto es para determinar cuán dispersos son los resultados y cuantificar si existe variación de las propiedades de los tableros de densidad media MDF al ir cambiando la proporción de resina.

Se realizará un análisis con un nivel de confianza del 95% o de un 5% de significancia para este trabajo. Las variables a correlacionar para esta investigación experimental son las siguientes.

Dureza (ASTM D143-09)

Flexión (ASTM D143-10)

Densidad (ASTM 138)

Para los resultados de la dureza, aplicando el método de análisis de varianza ANOVA con dos factores se obtiene el siguiente resultado.

10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	Σs	Σs^2
1500	1600	1600	1700	2000	2500	2600	2500	2300	18300	38810000
1600	1800	1900	1900	2200	2700	2700	2600	2400	19800	44960000
3100	3400	3500	3600	4200	5200	5300	5100	4700	38100	83770000

Variación	Valor	Grados Libertad	Fc	
N	18	17	F0	83770000
B	2	1	F1	3125000
Exp	9	8	F2	80770000
Error		8	F3	125000
			F4	83625000

F5	2980000
Fe	20000
F6	183823.5294
F7	125000
F8	372500
F9	2500
F10	50
FT	50

Donde:

$$F_c = \frac{(\sum s)^2}{N}$$

N = Número total de datos

$$F_o = \sum s^2$$

$$F_1 = F_o - F_c$$

$$F_2 = \sum \left(+ \dots \frac{s_9^2}{n_9} \right)$$

$$F_3 = F_2 - F_c$$

$$F_4 = \sum \left(+ \dots \frac{n_9^2}{m_9} \right)$$

m = Número de experimentos por cada porcentaje de resina

$$F_5 = F_4 - F_c$$

$$F_6 = \frac{F_1}{\text{Gradosdelibertadttotal}}$$

$$F7 = \frac{F3}{\text{Gradosdelibertadbloques}}$$

$$F8 = \frac{F5}{\text{Gradosdelibertadexperimentos}}$$

$$F9 = \frac{Fe}{\text{Gradosdelibertadbloques*experimentos}}$$

$$FT = \frac{F7}{F9}$$

Para este caso, el factor F total o $FT = 50.00$

Prueba de hipótesis:

Se planteó que H_0 es igual a asegurar que las medias de las corridas realizadas de dureza a cada tablero MDF son iguales o que no existe diferencia entre la dureza obtenida para cada tablero MDF.

H_0 : Rechazar si $FT > F_{tabla}$

Ver figura 1 en el apéndice para obtener F_{tabla}

Para los bloques:

Numerador, Grados de libertad de los bloques, en este caso 1

Denominador, Grados de libertad del error, en este caso 8

Valor de figura 1 para numerador 1 y denominador 8.

$F_{tabla} = 7.5709$

Prueba:

$50.00 > 7.5709$

Resultado:

Se rechaza la H_0 ya que se cumple la desigualdad.

Por lo tanto se afirma que los tamaños de los pélets influye en las propiedades de la dureza de los tableros MDF.

Para los experimentos:

Numerador, Grados de libertad de los experimentos, en este caso 8

Denominador, Grados de libertad del error, en este caso 8

Valor de figura 1 para numerador 8 y denominador 8.

$F_{tabla} = 4.4333$

Prueba:

$50.00 > 4.4333$

Resultado:

Se rechaza la H_0 ya que se cumple la desigualdad.

Por lo tanto se afirma que las medias no son iguales y por lo tanto existe una media que es diferente

10 Resultados y discusión

11.1 Resultados:

DUREZA

Se elaboraron 18 tableros. 9 de ellos utilizando los pélets de 1.0 mm y los otros 9 tableros MDF con pélets de 3.0 – 5.0 mm. Con estos tableros de densidad media se obtuvieron tres muestras, cortando cada uno de ellos en tres partes iguales, longitudinalmente.

Tabla 2

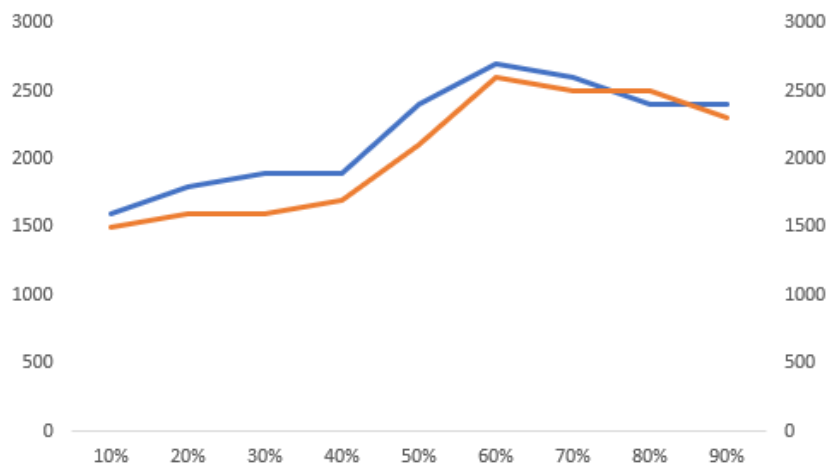
Dureza en Lb obtenida para cada bloque y experimento de los tableros MDF

% Resina	Pélets de menos de 1.0 mm			Promedio	Pélets de 3.0 a 5.0 mm			Promedio
10	1600	1600	1600	1600	1500	1500	1500	1500
20	1750	1850	1800	1800	1600	1600	1600	1600

30	1900	1900	1900	1900	1600	1600	1600	1600
40	1900	1900	1900	1900	1800	1600	1700	1700
50	2300	2400	2500	2400	2000	2100	2100	2100
60	2700	2700	2700	2700	2600	2600	2600	2600
70	2700	2700	2700	2600	2500	2500	2500	2500
80	2400	2400	2500	2400	2400	2400	2700	2500
90	2400	2400	2400	2400	2300	2300	2300	2300

Gráfica 1

Gráfica de la dureza de los tableros vrs la concentración de la resina y tamaño



Nota. el color azul representa el tamaño del pelet de menos de 1.0 mm y el color naranja el del pelet de 3.0 a 5.0 mm. También las concentraciones de resina para cada uno de los tableros MDF en el eje x

Tabla 3

Arreglo en bloques y experimentos para análisis ANOVA con dos factores

		Proporción de resina de urea formaldehído								
Tamaño pélet		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
3.0 a 5.0 mm		1500	1600	1600	1700	2000	2500	2600	2500	2300

Menor a 1.0 mm	1600	1800	1900	1900	2200	2700	2700	2600	2400
-------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

FLEXIÓN

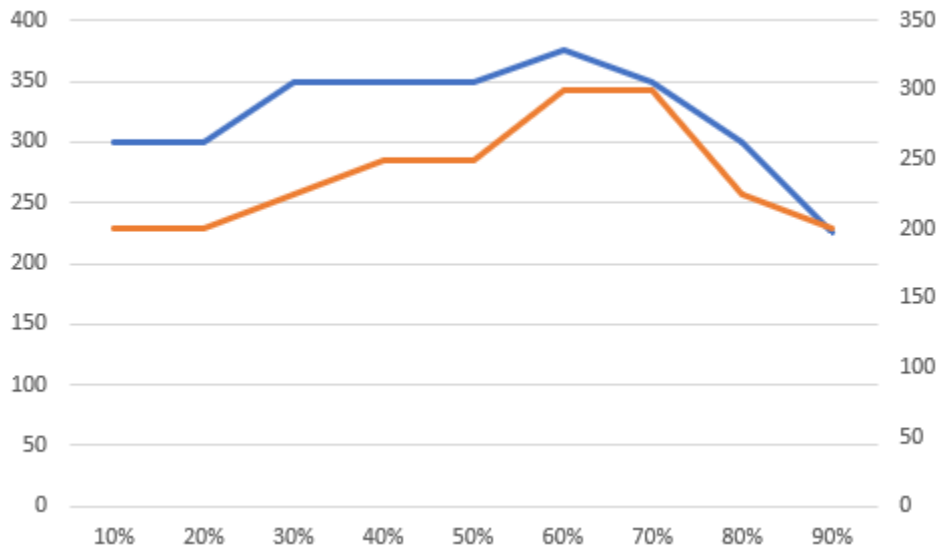
Tabla 4

Flexión en Lb obtenida para cada bloque y experimento de los tableros MDF

% Resina	Pélets de menos de 1.0 mm			Promedio	Pélets de 3.0 a 5.0 mm			Promedio
10	300	300	300	300	200	200	200	200
20	300	300	300	300	200	200	200	200
30	350	350	350	350	220	200	245	225
40	350	350	350	350	250	250	250	250
50	350	350	350	350	250	250	250	250
60	375	380	370	375	300	300	300	300
70	350	350	350	350	300	300	300	300
80	300	300	300	300	250	250	175	225
90	225	225	225	225	200	200	200	200

Gráfica 2

Gráfica de la flexión de los tableros vrs la concentración de la resina y tamaño



Nota: el color azul representa el tamaño de los pélets de menos de 1.0 mm y el color naranja el del pelet de 3.0 a 5.0 mm. También las concentraciones de resina para cada uno de los tableros MDF en el eje x

Tabla 5

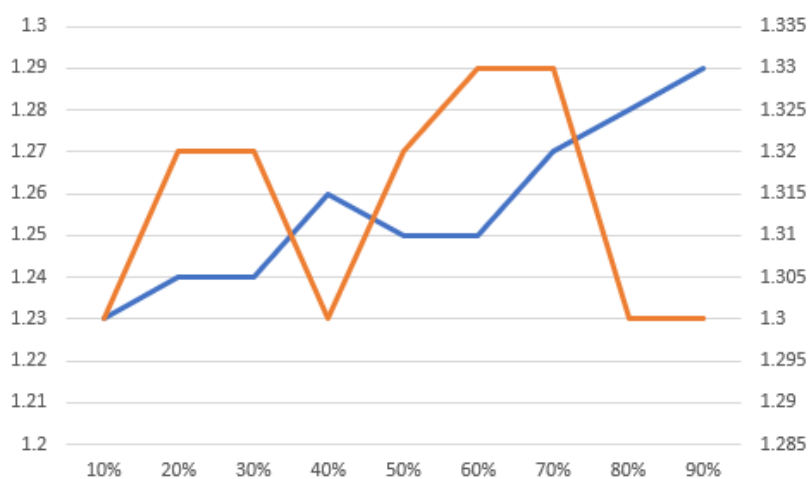
Arreglo en bloques y experimentos para análisis ANOVA con dos factores para la flexión

		Proporción de resina de urea formaldehído								
Tamaño pélet		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
3.0 a 5.0 mm		200	200	225	250	250	300	300	225	200
Menor a 1.0 mm		300	300	350	350	350	375	350	300	225

DENSIDAD

Tabla 6*Densidad en g/cm³ obtenida para cada bloque y experimento de los tableros MDF*

% Resina	Pélets de menos de 1.0 mm			Promedio	Pélets de 3.0 a 5.0 mm			Promedio
10	1.23	1.22	1.25	1.23	1.40	1500	1500	1.30
20	1.22	1.24	1.27	1.24	1.42	1.42	1.40	1.32
30	1.22	1.24	1.27	1.24	1.45	1.45	1.44	1.32
40	1.30	1.20	1.26	1.26	1.50	1.50	1.50	1.30
50	1.25	1.25	1.25	1.25	1.50	1.52	1.52	1.32
60	1.25	1.25	1.25	1.25	1.57	1.57	1.53	1.33
70	1.27	1.27	1.28	1.27	1.53	1.50	1.55	1.33
80	1.26	1.28	1.30	1.28	1.50	1.50	1.55	1.30
90	1.30	1.29	1.29	1.29	1.50	1.50	1.50	1.30

Gráfica 3*Comportamiento de la densidad*

Nota. el color azul representa el tamaño de los pélets de menos de 1.0 mm y el color naranja el del pelet de 3.0 a 5.0 mm.

Tabla 7*Arreglo en bloques y experimentos para análisis ANOVA con dos factores para la densidad*

Tamaño pélet	Proporción de resina de urea formaldehído								
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
3.0 a 5.0 mm	1.40	1.42	1.45	1.50	1.52	1.56	1.53	1.55	1.60
Menor a 1.0 mm	1.23	1.24	1.24	1.26	1.25	1.25	1.27	1.28	1.29

Tabla 8*F calculados para cada variable independiente*

Variable	F calculada	F tabla/bloque	F Tabla/experimento
Dureza	50.00	5.3177	3.4381
Flexión	66.66	5.3177	3.4381
Densidad	0.00013	5.3177	3.4381

11.2 Discusión de resultados:

Los resultados obtenidos demuestran claramente una correlación entre el tamaño de los pélets y la concentración de resina de urea formaldehído utilizados en este proyecto de investigación.

Los factores F para la prueba de Análisis de Varianzas para dos factores demuestran que la hipótesis nula, la que decía que las medias obtenidas en los resultados eran iguales debe ser rechazada, por lo tanto se aprueba la hipótesis alternativa, aquella que dice que las medias no son iguales y que por lo tanto existe al menos una variable, que en este caso es el tamaño de los pélets y la concentración de la resina que otorgue a los tableros de densidad media MDF elaborados a partir de pélets de PVC reciclado, características únicas y que marcan la diferencia.

Para la dureza:

Se analiza a continuación el efecto del tamaño de los pélets. Para el caso de cada uno de los bloques, es decir, los factores del tamaño de los pélets y de acuerdo a la tabla 8, el factor F

calculado a partir de los promedios obtenidos para cada uno de los tableros elaborados, se determina que se debe rechazar la hipótesis nula, aquella que dice que las medias o promedios para cada uno de los experimentos son iguales.

Se rechaza la hipótesis nula, debido a que la prueba de hipótesis indica que si la F calculada es mayor que la F de la tabla -ver figura 1- y en el caso particular de la prueba de dureza, queda un resultado de $50.00 > 5.3177$ donde se debe rechazar la hipótesis de que las medias para cada tablero de MDF elaborado son iguales. De los tableros, de los nueve que se tenían, uno para cada tamaño de pélets, las medias de los resultados indican que se tiene efectivamente un tamaño que proporciona mejores características físicas.

Para el caso de la concentración de resina. Siendo una forma confiable de asegurar que efectivamente la mayor dureza se alcanza con esta concentración de resina, es analizar las medias obtenidas aplicando un análisis de varianzas o ANOVA. Con este procedimiento se puede asegurar que, al ser las medias no iguales, aceptando la hipótesis alternativa, esta concentración de resina da mejores resultados. Para este caso se tiene que la concentración de resina de urea formaldehído que proporciona la mayor dureza es del 60% de resina y 40% de pélets de PVC

Otro aspecto importante es que los resultados son coherentes con la teoría, ya que a medida que el tamaño de los pélets se hacen más pequeños, la dureza aumenta.

De acuerdo a Matos Delgado (2006) los tableros de densidad media son elaborados con madera finamente triturada, no se utilizan virutas ni astillas de madera, sino que se emplean partículas de menos de 0.8 mm. Para este proyecto, el pelet más pequeño, fue de 1.00 mm, lo cual se encuentra fuera de lo que pide la teoría, pero se justifica el procedimiento ya que al utilizar dos tamaños de pélets, y comprobar que a medida que el tamaño disminuye, se afecta la dureza, se comprueba lo que la teoría dice.

La teoría indica que los tableros de MDF al ser elaborados con partículas de madera más pequeñas que los tableros de aglomerados tradicionales -como el caso del playwood- la dureza aumenta.

La elección de no triturar completamente el PVC y dejarlo a tal punto que se considerare un polvo, fue que en este proceso se pueden crear partículas muy pequeñas, a tal punto que se pudiera poner en peligro la salud de los investigadores de este proyecto. Por tal motivo no se optó por triturar completamente al PVC reciclado, para evitar la formación de polvo y microplásticos, puesto que este era uno de los objetivos del proyecto y sería risible crear microplásticos para elaborar tableros de densidad media MDF que lo que buscan es evitar que lleguen al medio ambiente.

Para el caso de la concentración de la resina, se observa que la hipótesis nula se rechaza, indicando claramente que también existe una relación directa entre la proporción de resina y la dureza de los tableros de densidad media.

También se observa que la F calculada, 3.4381, es mayor a el factor F de la figura 1, donde para ocho grados de libertad en el numerador y ocho en el denominador se obtiene que $3.4381 > 50.00$ lo cual no se cumple, aprobando la hipótesis alternativa, que indicaba que las medias no eran iguales y por consiguiente se puede argumentar que la concentración de

resina efectivamente influye en la dureza de los tableros de densidad media MDF elaborados en este proyecto de investigación.

Flexión

De acuerdo a Martínez-Espinosa (2002) la flexión de los tableros de densidad media elaborados con materiales reciclados aumenta a medida que el tamaño disminuye. Nuevamente los resultados son afines con la teoría. Se analiza el efecto del tamaño de los pélets sobre esta propiedad. De acuerdo a la gráfica 2, se observa un efecto mayor a la flexión en los tableros MDF elaborados con pélets de 1.0 mm. Para comprobar si efectivamente se tiene evidencia que el tamaño de los pélets influye en la flexión de los tableros, se asumió que todas las medias eran iguales, como hipótesis nula y la hipótesis alternativa fue diseñada argumentando que las medias en los tableros no iban a ser iguales.

El factor F calculado para este experimento dio como resultado un valor de 66.66 y de acuerdo a la teoría, según Triola (2014) se rechaza la hipótesis nula cuando la desigualdad $F > F_{\text{tabla}}$. El factor F tabla se obtiene de la figura 1, con un denominador de los bloques de 1 y como denominador igual a ocho grados de libertad. Como resultado

$$66.66 > 5.3177$$

Rechazando la hipótesis nula. Al realizar esta operación, se puede afirmar que los promedios obtenidos en la prueba de flexión, al considerarse que no son iguales, determinan que existe uno o varios resultados que pueden considerarse diferentes y por lo tanto analizarlos independientemente.

Para un tamaño de pélets de 1.0 mm se observa en la gráfica 2 que la concentración de 60% de resina alcanza un máximo de 375 lb en el punto de ruptura. Mientras que para el tamaño de 3.0 a 5.0 mm se alcanza un máximo de 300 lb.

Por lo tanto, tanto el tamaño de los pélets como la concentración de resina influyen de manera significativa en la flexión de los tableros de densidad media MDF elaborados con pélets de PVC reciclado.

Densidad:

La densidad en los tableros de densidad media es una variable que permite determinar la calidad de los tableros. En el mercado, de acuerdo a Zambrano (2013) existen tres tipos de tableros MDF, los de alta densidad, densidad media y baja densidad, los cuales se obtienen

de acuerdo al tratamiento que reciba la madera antes de triturarla o después de realizar este proceso. Normalmente el proceso que más se emplea en la industria de los tableros de MDF es la eliminación de lignina de la madera por métodos químicos. También influye en la densidad de los tableros de MDF el tipo de madera, pero lo habitual es emplear madera de pino, por ser una de las especies más abundantes.

Análisis del tamaño y concentración de la resina. Tanto para los tamaños de 1.0 mm y los tamaños de los pélets de 3.0 a 5.0 mm se aprecia en la gráfica 3 que las variaciones para concentraciones de resina de urea formaldehído es de 1.23 g/cm³ hasta 1.33 g/cm³ para el tamaño de 1.0 y una variación máxima desde 1.23 g/cm³ hasta 1.3 g/cm³ para los tableros elaborados con pélets de 3.0 a 5.0 mm.

A simple vista se aprecia que la densidad no tiene variaciones significativas, en promedio tienen una variación de 0.7 g/cm³.

Realizando el análisis de varianzas ANOVA para estos dos factores, en el caso de la concentración de resina, el factor F calculado es de 0.00013 5.3177 3.4381

Realizando el análisis de varianzas ANOVA para estos dos factores, en el caso de la concentración de resina, el factor F calculado es de 0.00013 y el F tabla -Ver figura 1- para un numerador con 1 grado de libertad y ocho grados de libertad en el denominador se obtiene

$$0.00013 > 5.3177$$

De acuerdo a este procedimiento de prueba de hipótesis, se rechaza la prueba de hipótesis cuando

$$F \text{ calculado} > F \text{ tabla}$$

Debido a que no se cumple la desigualdad, no se rechaza la prueba de hipótesis, quedando la H₀ aprobada y de acuerdo a la hipótesis de este proyecto, dice que las medias son iguales y se obtiene que la densidad de los tableros de densidad media MDF no presentan variaciones significativas.

El mismo procedimiento de análisis se realiza para el factor de la concentración de resina, donde de acuerdo a la desigualdad de prueba de hipótesis

$$3.4381 > 5.3177$$

Obteniendo el mismo resultado, no existe variación significativa de cambios en la densidad de los tableros de densidad media MDF elaborados con pélets de PVC reciclado.

Análisis comparativo

Para la realización de este análisis, se toman en cuenta los aspectos considerados en este trabajo de investigación, los cuales fueron la dureza del material, la flexión y la densidad.

Se tomaron en cuenta para la comparación, datos de tableros de densidad media MDF y madera de pino.

Se utilizó la madera de pino como referencia comparativa, ya que es una de las maderas más utilizadas en el medio, tanto para muebles, como material de construcción y utensilios de cocina.

La madera de pino está clasificada como una madera blanda, de acuerdo con López (2015) aunque existen varios tipos de pino, incluso, se pueden hacer tratamientos térmicos que mejoren sus características, se analiza únicamente el pino blanco.

Tabla 9

Comparación de dureza, flexión y densidad con otros materiales

Propiedad	Este proyecto 1.0 mm	Este proyecto 3.0 a 5.0 mm	Tableros MDF	Madera de pino
Dureza en Lb	2700	2600	12000	14000
Flexión en Lb	375 lb	300	668	800
Densidad en g/cm ³	1.27	1.33	0.9	0.85

Fuente: Datos del proyecto propios, datos comparativos, Martínez-Espinosa, M., Calil Jr, C., & Fiorelli, J. (2002). Resistencia mecánica de los tableros de densidad media.

Se analizan únicamente los valores máximos para cada uno de los experimentos realizados, es decir, propiedades obtenidas de dureza para aquellos tableros que presentan la mayor dureza para las concentraciones que dan como resultado los valores más altos. En este caso los valores para un 60% de resina.

Se debe señalar que, en el caso de las densidades, a pesar de no obtener conclusiones que permitan mencionar que hay una diferencia significativa, se tomó en cuenta el valor mayor para la densidad para aquellos tableros elaborados con concentraciones de resina de urea formaldehído con 70- 80 %.

De acuerdo a la tabla 9, según la dureza, los tableros de densidad media MDF elaborados con pélets de PVC reciclado, tienen una propiedad que los cataloga como tableros con una dureza blanda, tal como se observa la madera de pino y el MDF industrial poseen una dureza varias veces superior a los tableros MDF de este proyecto. Como ventaja se puede mencionar que los tableros de este proyecto no se ven afectados por el agua y la humedad.

Esta característica se debe a que no contiene madera o derivados, lo cual si sucede con el MDF industrial. Este MDF contiene hasta un 85% de madera y lo hace susceptible a la humedad a tal punto que se debe tener especial cuidado con este factor. La madera de pino tiene los mismos problemas, no a corto plazo pero si a largo plazo.

En el caso de la flexión, también se observan mejores propiedades en el MDF industrial y a la madera de pino, pero se debe señalar que los tableros elaborados en este proyecto poseen una flexión que si bien no es alta, lo hace apto para trabajos donde no se requiera, por ejemplo, cargas o movimiento.

Por lo tanto, se recomienda el uso de este tipo de tableros como material de construcción donde puedan estar en una posición estática, como por ejemplo, divisiones de paredes, cielos falsos y otro tipo de aplicaciones similares ya que tendrán un excelente desempeño.

Para la densidad, claramente se observa que la densidad es mayor, es obvio puesto que la densidad del PVC es 1.38 g/cm^3 y los tableros elaborados en este proyecto de investigación, en lugar de madera utilizaron PVC reciclado y peletizado.

11.3 Conclusiones

Es factible elaborar tableros de densidad media para uso en la construcción utilizando pélets de cloruro de polivinilo reciclado mezclándolo con resina de urea formaldehído

El tamaño de los pélets que proporcionan mejores cualidades en los tableros de densidad media MDF es de menos de 1.00 mm de diámetro.

La proporción de resina que otorga las mejores prestaciones a los tableros de densidad media es un 60% de resina y 40% de pélets de PVC.

Los tableros de densidad media elaborados con pélets de cloruro de polivinilo -PVC- reciclado son aptos para ser utilizados en la construcción ya que poseen cualidades de dureza, flexión y densidad semejantes a los tableros MDF tradicionales.

11 Referencias

- Bollaín Pastor, C., & Vicente Agulló, D. (2020). Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. *Revista Española de Salud Pública*, 93, e201908064.
- Elgegren, M., Tiravanti, G. J., Ortiz, B. A., Otero, M. E., Wagner, F., Cerrón, D. A., & Nakamatsu, J. (2012). Reciclaje químico de desechos plásticos. *Revista de la sociedad química del Perú*, 78(2), 105-119.
- Zambrano, L., Moreno, P., Muñoz, F., Durán, J., Garay, D., & Valero, S. (2013). Tableros de partículas fabricados con residuos industriales de madera de *Pinus patula*. *Madera y bosques*, 19(3), 65-80.
- Martínez-Espinosa, M., Calil Jr, C., & Fiorelli, J. (2002). Resistencia mecánica de los tableros de densidad media: Parte 1: Resistencia a la tracción paralela a la superficie. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 4(2), 179-185.
- Castañeta, G., Gutiérrez, A. F., Nacaratte, F., & Manzano, C. A. (2020). Microplásticos: un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición. *Revista Boliviana de Química*, 37(3), 142-157.
- 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]
- Braun, D. (2002). Reciclaje de PVC. *Progreso en la ciencia de los polímeros*, 27(10), 2171-2195.
- De Tejada, M. S. A. (2016). Contaminación por microplástico en un lago endorreico de tierras bajas: El caso de Petén Itzá. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA, 4, 82.

- Galdos Vandervelde, J. A. (2008). Aptitud del bambú *Guadua angustifolia* Kunth en la elaboración de tableros de partículas de densidad media.
- Gómez, M. M. (2006). Introducción a la metodología de la investigación científica. Editorial Brujas.
- DÁVILA, F. I. C. (2010). Desempeño de superficies en tableros MDF a base de mezclas de *Pinus radiata* y *Eucaliptus nitens*.
- López Alvarado, J. A. (2015). Análisis microeconómico para la producción y venta de tableros de aglomerado de plástico, como sustituto directo de paneles de madera MDF. [Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala]
- Madueño, F., Choque, L., & Clemente, L. (2023). Ladrillo reciclado para elaboración de pavimento permeable para parqueaderos. *Novasinerгия*, 6(1), 19-35.
- Matos Delgado, D. F. (2006). Elaboración de tableros de partículas de densidad media con residuos de tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Ducke) proveniente de la plantación de Jenaro Herrera.
- Martínez-Espinosa, M., Calil Jr, C., & Fiorelli, J. (2002). Resistencia mecánica de los tableros de densidad media: Parte 1: Resistencia a la tracción paralela a la superficie. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 4(2), 179-185.
- Migallón, A. J. (1996). Características de la degradación térmica de los plastisoles vinílicos [Doctoral dissertation, Universitat d'Alacant-Universidad de Alicante]
- Ortíz, (2020) C. H. M. Evaluación de la contaminación por microplásticos en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.
- Sánchez Gallo, E. G. (2015). Estudio de factibilidad de una empresa de elaboración de

pellets a partir de plástico reciclado [Bachelor's thesis]

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.

Romano, D. (2014). Medio ambiente, construcción y PVC. Boletín CF+ S, (5).

Sadat-Shojai, M. y Bakhshandeh, GR (2011). Reciclaje de residuos de PVC. *Degradación y estabilidad del polímero*, 96(4), 404-415.

Triola, M. F. (2004). *Probabilidad y estadística*. Pearson educación.

12 Apéndice

Figura 1

Distribución F

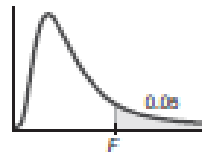


TABLA A-5 (continuación) Distribución F ($\alpha = 0.05$ en la cola derecha)

		Grados de libertad en el numerador (df ₁)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Grados de libertad en el denominador (df ₂)	1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.68	240.54	
	2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.330	19.353	19.371	19.385	
	3	10.128	9.5521	9.2703	9.1172	9.0135	8.9406	8.8867	8.8452	8.8123	
	4	7.7086	6.9443	6.5914	6.3882	6.2561	6.1631	6.0942	6.0410	6.9988	
	5	6.6079	5.7861	5.4096	5.1922	5.0503	4.9503	4.8759	4.8183	4.7725	
	6	5.9874	5.1433	4.7571	4.5337	4.3874	4.2839	4.2067	4.1468	4.0960	
	7	5.5914	4.7374	4.3468	4.1203	3.9715	3.8630	3.7870	3.7257	3.6767	
	8	5.3177	4.4560	4.0622	3.8379	3.6875	3.5806	3.5005	3.4381	3.3881	
	9	5.1174	4.2505	3.8525	3.6231	3.4617	3.3536	3.2737	3.2106	3.1609	
	10	4.9646	4.1028	3.7003	3.4780	3.3158	3.2077	3.1279	3.0648	3.0154	
	11	4.8443	3.9823	3.5874	3.3687	3.2059	3.0978	3.0180	2.9549	2.9057	
	12	4.7472	3.8853	3.4863	3.2682	3.1050	2.9969	2.9171	2.8540	2.8049	
	13	4.6672	3.8056	3.4105	3.1931	3.0295	2.9214	2.8416	2.7785	2.7295	
	14	4.6001	3.7389	3.3439	3.1272	2.9632	2.8551	2.7753	2.7122	2.6632	
	15	4.5431	3.6823	3.2874	3.0713	2.9069	2.7988	2.7190	2.6559	2.6069	
	16	4.4940	3.6337	3.2389	3.0233	2.8585	2.7504	2.6706	2.6075	2.5585	
	17	4.4513	3.5915	3.1938	2.9783	2.8135	2.7054	2.6256	2.5625	2.5135	
	18	4.4139	3.5546	3.1599	2.9447	2.7795	2.6714	2.5916	2.5285	2.4795	
	19	4.3807	3.5219	3.1274	2.9131	2.7475	2.6394	2.5596	2.4965	2.4475	
	20	4.3512	3.4928	3.0984	2.8861	2.7201	2.6120	2.5322	2.4691	2.4201	
	21	4.3248	3.4668	3.0725	2.8601	2.6938	2.5857	2.5059	2.4428	2.3938	
	22	4.3009	3.4434	3.0491	2.8367	2.6699	2.5618	2.4820	2.4189	2.3699	
	23	4.2793	3.4221	3.0280	2.8155	2.6480	2.5399	2.4601	2.3970	2.3480	
	24	4.2597	3.4028	3.0088	2.7963	2.6287	2.5206	2.4408	2.3777	2.3287	
	25	4.2417	3.3852	2.9912	2.7787	2.6103	2.5022	2.4224	2.3593	2.3103	
	26	4.2252	3.3690	2.9752	2.7626	2.5938	2.4857	2.4059	2.3428	2.2938	
	27	4.2100	3.3541	2.9604	2.7478	2.5779	2.4698	2.3900	2.3269	2.2779	
	28	4.1960	3.3404	2.9467	2.7341	2.5631	2.4550	2.3752	2.3121	2.2631	
	29	4.1830	3.3277	2.9340	2.7214	2.5484	2.4403	2.3605	2.2974	2.2484	
	30	4.1709	3.3158	2.9223	2.7096	2.5336	2.4255	2.3457	2.2826	2.2336	
40	4.0847	3.2517	2.8387	2.6393	2.4495	2.3398	2.2600	2.1969	2.1479		
60	4.0012	3.1504	2.7581	2.5552	2.3683	2.2586	2.1788	2.1157	2.0667		
120	3.9201	3.0718	2.6802	2.4472	2.2603	2.1506	2.0708	2.0077	1.9587		
	3.8415	2.9957	2.6046	2.3719	2.2141	2.0944	2.0146	1.9515	1.9025		

(continúa)

Fotografía 1



Pélets de PVC reciclado de 3.0 a 5.0 mm

Fotografía 2



Equipo de investigación mostrando un tablero de densidad media MDF elaborado con PVC reciclado

Fotografía 3



Resina de urea formaldehído antes de ser mezclada con pélets de PVC reciclado

13 Aspectos éticos y legales (si aplica)

No aplica

14 Vinculación

Q.S.L.S.A. Empresa recolectora de desechos del municipio de Santa Cruz del Quiché, ya que han aportado material para seguir investigando y poder así darle un uso adicional a los desechos, en especial los plásticos.

15 Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual

NOTA: La difusión y divulgación, por cualquier medio, de los resultados de las investigaciones tiene que incluir los créditos a la Digi y unidad avaladora.

Los resultados de esta investigación fueron publicados en el canal de cable departamental, Knal4 S.A. el cual llega en promedio a más de medio millón de vistas al día en las diferentes plataformas digitales donde tiene alcance y publicidad esta empresa.

Lo que apareció en el anuncio publicitario fue lo siguiente.

Nombre del proyecto, avalado, aprobado y cofinanciado por el Fondo de Investigación de la Dirección General de Investigación, el nombre de la unidad avaladora de la Universidad de San Carlos de Guatemala, fecha, y código del proyecto de investigación”.

16 Aporte de la propuesta de investigación a los ODS:

Los Objetivos para el Desarrollo Sostenible ODS es una agenda internacional que pretende que los países firmantes de este acuerdo, puedan desarrollar estrategias que permitan alcanzar un desarrollo sostenible para antes del 2030.

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 densidad media MDF, 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

17 Orden de pago final

Nombres y apellidos	Categoría (investigador /auxiliar)	Registro de personal	Procede pago de mes (Sí / No)	Firma
Leyzer Aurelio López Noriega	Investigador	2014-1366	Sí	


18 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.

Ing. Qco. Midzar Daniel García Estrada	Firma
Fecha: 15/02/2023	


19 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. Msc. Gregorio Lol Hernández Director del Centro Universitario de Quiché	
Fecha: 15/02/2023	

20 Visado de la Dirección General de Investigación

<p>Vo.Bo. Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Coordinador(a) del Programa Universitario de Investigación</p>	<p> Firma Ing. MARN Julio Rufino Salazar Pérez Coordinador General de Programas de Investigación, Digi-Usac</p>
<p>Fecha: 15/02/2023</p>	

<p>Vo.Bo. Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Coordinador General de Programas Universitarios de Investigación</p>	<p> Firma Ing. MARN Julio Rufino Salazar Pérez Coordinador General de Programas de Investigación, Digi-Usac</p>
<p>Fecha: 15/02/2023</p>	