



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍA DE LA MADERA

DIVISIÓN DE POSGRADOS



MAESTRIA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE LA MADERA

Elaboración y evaluación de un tacón para tarimas a
base de residuos de madera.

TESIS

Para obtener el grado de

Maestro en ciencias y Tecnología de la Madera

Presenta:

Martin Parra Alcaraz

Director de Tesis:

Dr. Raúl Espinoza Herrera

Morelia, Michoacán, Febrero 2019.

Agradecimientos

Quiero expresar agradecimiento al Dr. Raúl Espinosa Herrera, por haberme brindado una oportunidad de trabajar con él, por su tiempo y conocimientos que se transmitieron de manera ordenada y oportuna de tal forma que me permitió desarrollo presente trabajo.

Do y gracias a mi esposa Georgina Bermúdez Jaimés y mis hijos Alberto, Rosa Isela y José Martín por su apoyo incondicional y motivación para logro de mi desarrollo académico y profesional.

Agradezco a los sinodales encargados de revisar y corregir la presente tesis, Dr. Enrique Ambríz Parra, Dr. Gildardo Cruz de León, M.C. Marco Antonio Herrera Ferreira, M.C. y Roberto Calderón Muños.

Agradezco al Dr. Alfredo Jiménez Marín por su tiempo y conocimientos compartidos en el área de manufactura de adhesivos.

A CONACYT por la beca que me proporcionaron, sin este apoyo, no sería posible mi estancia en este proyecto de investigación

A la facultad de Ingeniería en Tecnología de la madera y a UMSNH, por la oportunidad de desarrollarme como Tecnólogo de la Madera, que me otorgo conocimientos tan bastos para el desarrollo profesional e investigación de distintas áreas en la Industria: forestal, madera sólida, papelera, extractiva, energética, etc.,

Agradezco la oportunidad de cursar la Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera, por el apoyo incondicional de sus docentes, administrativos, técnicos y compañeros, que superaron mis expectativas de manera extraordinaria en mi desarrollo académico y profesional.

ÍNDICE GENERAL

1.-INTRODUCCIÓN	1
2.-ANTECEDENTES	3
2.1.- Tarima	3
2.2.-Aspectos Fitosanitarios de las tarimas de madera	4
2.4.-Clasificación de tarimas	5
2.5.-Ensayos en tacones (bloques) a base de compuestos de madera	6
2.6.-Elementos de unión	7
2.7.-Proceso de fabricación de tarima de madera sólida	8
2.8.- Proceso de aglomerado	10
2.9.-Factores que influyen en las propiedades físicas y mecánicas de los tacones aglomerados 11	
2.10.-Conductividad térmica	13
3.-JUSTIFICACION	14
4.-OBJETIVOS	14
5.-HIPOTESIS	14
6.-MATERIALES Y MÉTODOS	15
6.1.-Desarrollo experimental	15
6.2.- Elaboración del tacón de aglomerado con desperdicios de madera.	15
6.3.- Evaluación física de los tacones: Densidad, absorción de agua e hinchamiento	19
6.4.-Evaluación mecánica de los tacones: Ensayo de impacto lateral, de inserción de clavos y extracción de clavos	20
7.-ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
7.1.-Densidad de los tacones	23
7.2.- Absorción de agua	24
7.3.-Hinchamiento (longitud, ancho, altura)	25
7.4.- Contenido de humedad del tacón de aglomerado por inmersión a 24 h	27
7.5.-Impacto lateral de tacón	29
7.1.5.-Resistencia a la inserción de clavos	30
7.6.-Resistencia a la extracción de clavos	31
7.7.-Resistencia de la inserción de clavos en relación a la densidad	32
8.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
9.-BIBLIOGRAFÍA	35

10.-ANEXO	37
10.1.-terminología y definiciones de tarimas.....	37
10.2.-Definiciones de equipos y procesos de aglomerado	38
10.3.-Definiciones de resinas.....	40
10.4- Plano de dispositivo simulador de horquilla según NWPCA.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Embalaje controlado	1
Figura 2. Componentes de una tarima de tacón	2
Figura 3. Desperdicio de madera con corteza	2
Figura 4. Desperdicio en aserrín.	2
Figura 5. Tarima sometida a diferentes esfuerzos.....	3
Figura 6. Componentes principales de la tarima de largueros y tarima de tacones.....	6
Figura 7. Elementos de unión impulsados para tarimas.....	7
Figura 8. Madera en rollo.....	9
Figura 9. Aserrío	9
Figura 10. Sierra cinta	9
Figura 11. Corte de laterales	9
Figura 12. Tacón de madera sólida	9
Figura 13. Tratamiento de la madera con boratos	9
Figura 14. Armado de tarima	9
Figura 15. tratamiento térmico y secado de las tarimas	9
Figura 16. Embarque de las tarimas	9
Figura 17. Prensa hidráulica para prensado en plano	10
Figura 18. Prensa hidráulica para extrusión de aglomerado	10
Figura 19. Esquema de transferencia térmica	13
Figura 20. Desperdicio con corteza.....	16
Figura 21. Desprendimiento de corteza en forma manual	16
Figura 22. Madera solida sin corteza	16
Figura 23. Elaboración de astilla.....	16
Figura 24. Cribado de Astilla	16
Figura 25. Astilla húmeda	16
Figura 26. Desperdicio de aserrín	16
Figura 27. Secado de astillas	16
Figura 28. Reactor del adhesivo.....	17
Figura 29. Equipo utilizado para la fabricación de tacones	18
Figura 30. Equipo para determinar densidad	20
Figura 31. Equipo para ensayo de inmersión de agua.....	20
Figura 32. Tacones después de inmersión a 24 h.....	20
Figura 33. Secado en horno para determinar CH.....	20
Figura 34. Dispositivo para carga lateral del tacón.....	22
Figura 35. Equipo y accesorios para inserción de clavos.....	22
Figura 36. Muestras con clavos insertados.....	22
Figura 37. Accesorios para prueba de extracción de clavos.....	22
Figura 38. Absorción de agua a 24 h del tacón	24
Figura 39. Cambio de longitud de agua a 24 h del tacón	25
Figura 40. Representación gráfica del cambio de longitud de agua a 24 h.....	26

Figura 41. Cambio de altura de agua a 24 h del tacón	27
Figura 42. Contenido de humedad de los tacones	28
Figura 43. Fuerza de inserción de clavos en tacones	30
Figura 44. Fuerza de extracción de clavos en tacones	31
Figura 45. Tacón con 80% de astilla, 20 %aserrín y 20% de adhesivo.....	33
Figura 46. Tacón con 80% astilla, 20% aserrín y 30% de adhesivo	33
Figura 47. Tacón con 80% de astilla, 20 %aserrín y 40% de adhesivo.....	33
Figura 48.Tacón con 90% astilla, 10% aserrín y 20% de adhesivo	33
Figura 49. Tacón con 90% de astilla, 10 % aserrín y 30% de adhesivo.....	33
Figura 50. Tacón con 90% astilla, 10% aserrín y 40% de adhesivo	33
Figura 51. Medidas de dispositivo de ataque lateral	42

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tiempos y concentraciones de bromuro de metilo para tratamiento de madera	4
Cuadro 2. Ensayos y parámetros del tacón a base de partículas de madera, según NWPCA	6
Cuadro 3. Descripción de tratamientos para el diseño experimental	15
Cuadro 4. Resultados de la densidad y análisis estadístico Duncan	23
Cuadro 5. Resultados de absorción de agua y Análisis estadístico Duncan	24
Cuadro 6. Cambio de longitud del tacón de aglomerado y análisis estadístico Duncan	25
Cuadro 7. Resultados de cambio de ancho y Análisis estadístico Duncan	26
Cuadro 8. Resultados de cambio de altura y análisis estadístico Duncan	26
Cuadro 9. Resultados de contenido de humedad y Análisis estadístico Duncan	27
Cuadro 10. Impacto lateral en tacones secos y después de inmersión en agua por 24 h	29
Cuadro 11. Resultados de inserción de clavos y Análisis estadístico Duncan	30
Cuadro 12. Resultados de extracción de clavos y análisis estadístico Duncan	31

RESUMEN

La tarima es un producto que nos permite mover y transportar productos de la fábrica al consumidor. La tarima de madera es la de mayor demanda por sus ventajas sobre otros materiales, en cuanto a resistencia, peso y costo. Sin embargo, en la fabricación de la tarima se utiliza hasta un 20% de madera sólida en la elaboración del tacón. Lo cual, genera un daño ambiental, provocando dificultades en el abastecimiento y produciendo altos costos de fabricación. Una alternativa, es el aprovechamiento de los residuos madereros en la fabricación de los tacones. Por lo que en el presente estudio, se elaboraron tacones a base de residuos de madera aglomeradas con un adhesivo a base de resinas con rango de 20% a 40%, con una densidad de acuerdo a la norma NWPCA (Asociación Nacional de Tarimas de Madera y Contenedores de Estados Unidos). Los tacones fueron evaluados en absorción de agua e hinchamiento, impacto lateral, extracción e inserción de clavos.

Los tacones elaborados presentaron buenas características para facilitar la inserción de clavo. Sin embargo, se detectaron deficiencias del adhesivo en cuanto a resistencia al agua y en cuanto a la resistencia de extracción de clavos.

Con el análisis estadístico se observó, que a mayor porcentaje de adhesivo, la resistencia al impacto lateral, la fuerza de inserción y extracción de clavos aumento; por otro lado, la absorción de agua y el hinchamiento disminuyo. Y Al aumentar el porcentaje de partículas grandes, disminuyo la absorción de agua y el cambio dimensional.

Palabras claves: tacón de tarima, residuos de madera; aglomerado, clavos, propiedades físico-mecánicas

ABSTRACT

The pallet is a product that allows us to move and transport products from the factory to the consumer. The wood-based pallet is the most demanded by its advantages over other materials, in terms of strength, weight and cost. However, in the manufacture of the block is used up to 20% of solid wood. Which generates environmental damage, causing difficulties in the supply and producing high manufacturing costs. An alternative is the use of wood waste in the manufacture of blocks. So in the present study, blocks were made from agglomerated wood waste with a resin-based adhesive with a range of 20% to 40%, with a density according to the NWPCA standard (National Wooden Pallet and Container Association). The blocks were evaluated in water absorption and dimensional change, lateral impact, extraction and insertion of nails. The elaborated blocks presented good characteristics to facilitate the insertion of nails. However, deficiencies in adhesion were detected in terms of water resistance and in terms of the strength of nail extraction. In the statistical analysis it was observed, that a higher percentage of adhesive higher is the lateral impact resistance, the insertion force and nail extraction; on the other hand, the water absorption and dimensional change decreased. And at increases the percentage of large particles, the water absorption and the dimensional change decrease

Keywords: blocks of pallet, waste wood, agglomerate, nails, physical-mechanical properties

1.-INTRODUCCIÓN

Con la necesidad creciente de transportar, mover, apilar, almacenar materias primas y productos de manera segura, se utiliza el embalaje, que además puede servir para proporcionar información sobre la carga (Figura 1).



Figura 1.Embalaje controlado

El embalaje primario consiste en un envase o envoltura que protege, sostiene y conserva la mercancía. Este embalaje primario está en contacto directo con el producto, por ejemplo, cajas, botellas, frascos, bolsas y sobres. El embalaje secundario, sirve para empaquetar o envasar los embalajes primarios individuales, que suelen ser cajas o bolsas de diversos modelos, muy resistentes. El embalaje terciario es el que está destinado a soportar grandes cantidades de embalajes secundarios a fin de que estos no se dañen o deterioren en el proceso de transporte, almacenamiento entre la fábrica y el consumidor final, se denomina embalaje de madera o productos de madera (excluyendo los productos de papel) principalmente la tarima (NIMF N°15, 2002).

Las tarimas de madera, están elaboradas completamente de madera sólida que están regidas por normas fitosanitarias (NOM-EM-144, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT). Sin embargo aquellas elaboradas a base de madera tales como el contrachapado, los tableros de partículas, los tableros de fibra orientada o las hojas de chapa que se han producido utilizando pegamento, calor y presión o una combinación de los mismos, no entran en estas debido a su proceso de fabricación.

La industria de tarimas tiene una capacidad instalada por 14 millones de tarimas por/mes (SEMARNAT, 2013).

La tarima de madera está compuesta de tabletas para la parte superior e inferior, así como tacones (blocks) o largueros según su modelo (Figura 2).



Figura 2.Componentes de una tarima de tacón

La materia prima principal en la fabricación de tarimas de madera es el pino. El proceso de aserrío, corte de tabletas y sus laterales, así como el corte de polines para obtención de tacón consume un 20% de madera. Dentro del procesamiento primario de la madera se produce alrededor de 45% de desperdicios (fuente: Planta Industria forestal Delta S.A. de C.V.). Estos desperdicios son principalmente aserrín, madera sólida con corteza (figura 3 y 4).



Figura 3.Desperdicio de madera con corteza



Figura 4.Desperdicio en aserrín.

Una alternativa para el aprovechamiento de los residuos madereros es su utilización en la fabricación de tacones de partículas aglomeradas para tarimas. Por lo que el objetivo del presente trabajo es elaborar y evaluar las propiedades físicas y mecánicas de un tacón hecho con desperdicios de madera, en forma de partículas, astillas y aserrín, para tarima.

2.-ANTECEDENTES.

2.1.- Tarima

Para un buen desempeño de la tarima se debe de tomar en cuenta los siguientes puntos: tensiones mecánicas, tensiones climáticas, tensiones biológicas y tensiones químicas. La tarima o contenedor puede viajar por aire, tierra o mar, y deberá llegar a su destino en las mismas condiciones en las que fue embarcado desde su origen sin importar el tiempo. El embalaje debe resistir los cambios de clima y transbordo, durante todo el proceso de transporte (Bloch, 2012).

La tarima proporciona resistencia al maltrato y daños accidentales, debe de sostener la carga sin flexionarse demasiado para resistir el manipuleo y el almacenamiento (Keil, 2009). Su peso debe ser tal que permita manipularla en forma manual y la relación peso/resistencia no debe ser tan alta que implique que se dañe seriamente en caso de caerse. Sus dimensiones deben de ser precisas y estandarizadas para permitir la utilización de montacargas y maquinaria de manipuleo automático (figura 5).



Figura 5. Tarima sometida a diferentes esfuerzos

2.2.-Aspectos Fitosanitarios de las tarimas de madera

De acuerdo a Normas Internacionales para Medidas Fitosanitarias (NIMF n° 15), la madera sólida que se utiliza con frecuencia para el embalaje de madera. Pudiera no estar sometida suficientemente a un procesamiento que elimine plagas, convirtiéndola en una vía para la introducción y dispersión de las mismas.

Las tarimas derivadas de la madera tales como el contrachapado, los tableros de partículas, los tableros de fibra orientada o las hojas de chapa que se han producido utilizando pegamento, calor y presión o una combinación de los mismos, deberá considerarse lo suficientemente procesado para haber eliminado el riesgo relacionado con la madera en bruto. Quizás estas tarimas no constituyan vías de introducción de plagas cuarentenarias y no deberían reglamentarse, a menos que se cuente con una justificación técnica para ello.

Un proceso que se le da a las tarimas de madera es el Tratamiento térmico (HT, por sus siglas inglés) en el cual, la tarima deberá someterse a un calentamiento donde alcance una temperatura mínima de 56°C al centro de la madera, durante un período mínimo de 30 minutos.

El secado en estufa, la impregnación química a presión y la fumigación, son otros procesos utilizados para el tratamiento fitosanitario de la madera. En la fumigación con bromuro de metilo (MB, por siglas en inglés) la tarima se somete a diferentes tiempos y concentraciones de bromuro que son presentados en el cuadro 1.

Cuadro 1. Tiempos y concentraciones de bromuro de metilo para tratamiento de madera

Registros mínimos de concentración (g/m³) para:

Temperatura	Dosis g/m ³	2h	4h	12 h	24h
21°C o mayor	48	36	31	31	24
16°C o mayor	56	42	36	36	28
10°C o mayor	64	48	42	42	32

La temperatura mínima no deberá ser inferior a los 10°C y el tiempo de exposición mínimo deberá ser 24 horas. La concentración deberá medirse como mínimo tras 2, 4 y 24 horas.

2.3.-Estudios en tarimas y contenedores

En 1998 la asociación nacional de tarimas de madera y contenedores de Estados Unidos (NWPCA, por sus siglas en inglés) investigaron adhesivos para tarima. En 2001 se realizó la contribución de un módulo del sistema de diseño de tarimas (PDS, por siglas en inglés) para evaluar tarimas y tarimas construidas con piezas recicladas. En 2004 se investigó un material compuesto a base de madera, con el objetivo de desarrollar un material de madera ligero y rentable, que no estuviera sujeto a la convención internacional de protección fitosanitaria (CIOF por sus siglas en inglés). En 2006, se realizó una investigación para la mejora de las propiedades de los envases de madera. En 2009, se realizaron pruebas de laboratorio en Virginia Tech para mejorar el análisis estructural y la durabilidad de las tarimas.

En México se cuenta con la Asociación Mexicana de Envase y Embalaje (AC AMEE), Cámara Nacional de Industria Forestal (CNIF), Instituto Nacional de Investigadores Forestales, Agrícolas y Pecuaria (INIFAP), Instituto Mexicano de profesionales de envases y embalajes SC, para la regulación y control de las tarimas.

2.4.-Clasificación de tarimas

Las tarimas pueden clasificarse de acuerdo a diferentes factores, por tipo de soporte, tenemos las tarimas de largueros y de tacón (figura 6); por tipo de uso, tanto reusable como desechables; por los el número de entradas para maniobra, de dos, cuatro entradas parciales y cuatro entradas; por el número de caras, una cara, doble cara no reversible y doble cara reversible; por tipo de construcción de plataforma inferior y superior, tanto de madera sólida como de madera compuesta, y el arreglo de las tablas para las plataformas; y por último, por medidas, cada tarima puede ser encontrada en muchos tamaños y diseños. Sin embargo, el tamaño y diseño deben ser de acuerdo a especificaciones de la asociación nacional de tarimas de madera y contenedores.

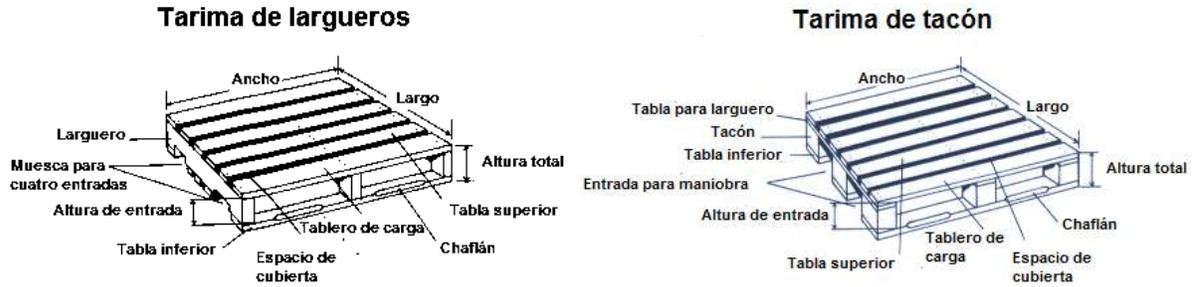


Figura 6. Componentes principales de la tarima de largueros y tarima de tacones

2.5.-Ensayos en tacones (bloques) a base de compuestos de madera

Los tacones deben ser resistentes a la humedad, deberán cumplir algunos criterios como, una densidad de 591 a 675 kg/m³, y el adhesivo deberá cumplir con la estabilidad del tacón, sometida a los ensayos del cuadro 2.

Cuadro 2. Ensayos y parámetros del tacón a base de partículas de madera, según NWPCA

Ensayo de inmersión en agua de 24 h.	
• Absorción de agua	≤ 25% de incremento
• Cambio de longitud	≤ 2% de incremento
• Cambio de ancho	≤ 2% de incremento
• Cambio de altura	≤ 6% de incremento
Ensayo de impacto lateral del tacón.	Mínimo 635 kg a 38.1 mm/min
Ensayo de inserción de clavos.	Máximo 227 kg a 38.1 mm/min
Ensayo de extracción de clavos	Mínimo 136 kg a 38.1 mm/min

2.6.-Elementos de unión

De acuerdo a NWPCA existen clavos, grapas, pernos, tornillos para madera, y tornillos de tracción. Estos elementos de unión pueden afectar las propiedades y el rendimiento de la tarima. Cabe mencionar que los clavos y grapas pueden ser impulsados por medio de medios neumáticos como las pistolas. El clavo puede clasificarse de espiga lisa, helicoidalmente roscado, anularmente roscado, estriado o trenzado de alambre cuadrado. Las grapas pueden ser de alambre redondo o cuadrado. En la figura 7, se presentan las partes de los elementos de unión impulsados neumáticamente.

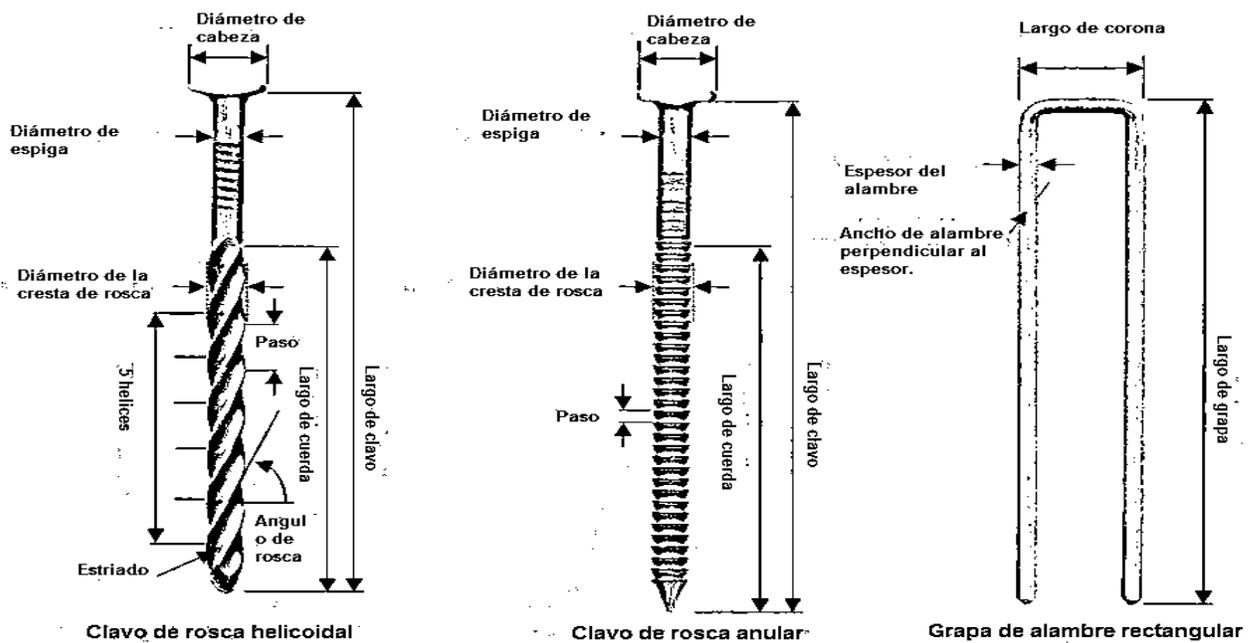


Figura 7. Elementos de unión impulsados para tarimas

El largo elemento de unión debe ser suficiente para proporcionar una penetración mínima de 32 mm en el larguero o tacón, y una penetración mínima de 25 mm para tablas de 13mm o menos. La resistencia de los elementos de unión no debe ser menor a 690 MPa.

2.7.-Proceso de fabricación de tarima de madera sólida

El proceso de fabricación de tarima en Industria Forestal Delta S.A de C.V. se presenta de las figuras 8 a la 16. En la figura 8, se presenta la recepción de la madera en troco (fuste), se inspecciona la calidad de la madera de manera visual y se cubica. En la figura 9, se presenta el aserrío en medidas que puedan ser utilizadas en una sierra cinta. En la figura 10, se presenta el corte de tabla y polines. En la figura 11, se presenta el corte de laterales de tabla. En la figura 12, se presenta el tacón elaborado de madera sólida. En la figura 13, se presenta el tratamiento por inmersión en agua con boratos, para prevenir formación de hongos. En la figura 14, se presenta el proceso de ensamble de tarima, en montajes para controlar la calidad y mejorar los tiempos de armado. En la figura 15, se presenta el tratamiento térmico (HT) y secado de la tarima, para cumplir con la norma fitosanitaria. En la figura 16, se presenta el embarque de la tarima.



Figura 8.Madera en rollo



Figura 9.Aserrío



Figura 10.Sierra cinta



Figura 11.Corte de laterales



Figura 12.Tacón de madera sólida



Figura 13.Tratamiento de la madera con boratos



Figura 14.Armado de tarima



Figura 15.tratamiento térmico y secado de las tarimas



Figura 16.Embarque de las tarimas

2.8.- Proceso de aglomerado

En el proceso de elaboración de productos aglomerados, las de partículas se combinan con resinas sintéticas y otros aglutinantes adecuados. Se unen mediante presión y temperatura. Cuando la presión es aplicada en dirección perpendicular a las caras se llama prensado en plano y cuando la presión es aplicada paralela a las caras se llama prensado por extrusión (Maloney, 1993).

El prensado plano emplea una prensa hidráulica de una sola platina (figura 17) o varias platinas, que prensa simultáneamente un número variable de tableros de acuerdo al tamaño de la misma. El prensado se realiza acompañado por temperaturas de 100 a 150°C en un medio ácido aportado por las mismas partículas de madera. En el proceso por extrusión se emplea un prensado continuo (figura 18) donde la mayor parte de las partículas se ubican con su eje perpendicular a las caras del producto. En el prensado es necesario el agregado de algún producto que acidifique el medio pues el fraguado de los adhesivos se produce en medio ácido, que no alcanzan a dársele las partículas de madera, como ocurre en el prensado plano, porque tienen un proceso muy rápido pues pasa por una zona de calentamiento de 40 a 60 segundos. Además, debe agregarse algún producto catalizador para acelerar el proceso de polimerización de los adhesivos. Con este proceso se obtiene un producto de alta resistencia a la compresión perpendicular a las caras.



Figura 17. Prensa hidráulica para prensado en plano



Figura 18. Prensa hidráulica para extrusión de aglomerado

2.9.-Factores que influyen en las propiedades físicas y mecánicas de los tacones aglomerados

En el proceso de aglomerado, la geometría, coeficiente de esbeltez, el tamaño, la humedad, la densidad, la especie y el adhesivo son de suma importancia. Por medio de la geometría, se identifica las partículas. Las que se consideran un desperdicio, como la viruta, aserrín y lana que se producen al cepillar y aserrar la madera. Las que se producen con equipo especializado para controlar su forma y dimensiones, como las hojuelas, las obleas y las astillas,

Coeficiente de esbeltez corresponde a la relación determinada por el largo y el espesor de las partículas. El coeficiente de esbeltez, es el parámetro que mejor se explica la tendencia de las propiedades, sobre todo en el caso de la resistencia de tracción y flexión (Poblete, 1985).

Se ha determinado que al aumentar el largo de las partículas, la propiedad mecánica de flexión, tanto en el módulo de elasticidad (MOE), como en el módulo de rotura (MOR), se incrementan. Al aumentar el espesor de las partículas, la resistencia a la flexión baja (Poblete, 1985).

El contenido de humedad influye en el proceso de encolado, pudiendo señalarse que a contenidos de humedad bajo se obtienen buenas uniones. Si la madera posee un contenido de humedad sobre el punto de saturación de las fibras, no se producen uniones resistentes, esto se debe a que la madera posee gran cantidad de sus poros saturados por agua, donde no penetrará el adhesivo y no se producirá un anclaje mecánico. En el caso de contenidos de humedad demasiado bajos, como madera anhidra, se generaran uniones débiles, esto porque gran parte del adhesivo fue absorbido por los poros de la madera.

La densidad de la madera afecta no tan sólo a las propiedades del aglomerado, sino que además afecta al proceso de fabricación. Es así, como maderas de bajo peso requieren de menor energía para cortarlas, secarlas y transportarlas durante el proceso de fabricación (Poblete, 2001).

La densidad de la madera y la razón de compresión afectan directamente la densidad final del aglomerado. Estos parámetros están íntimamente relacionados, ya que cualquier variación de uno de ellos requerirá de un ajuste del restante, si se desea mantener constante la densidad final

del aglomerado (Poblete, 1989). Si se desea obtener una misma densidad final del aglomerado, utilizando madera de distinta densidad, sería necesario comprimir en una proporción mayor a la madera de baja densidad respecto a la madera de alta densidad. En otras palabras, el volumen de madera a incorporar en un aglomerado, para una densidad determinada, es inversamente proporcional a la densidad de la madera (Poblete, 2001). Una forma de relacionar la densidad de la madera con la densidad del tablero, es determinando la razón de compresión, que se entiende como el cociente entre la densidad del tablero y la densidad de la madera.

Resinas y otros aditivos, los productos de partículas están constituidos fundamentalmente por madera y adhesivos. En términos generales el adhesivo es el provoca la aglomeración y pegado de las partículas de madera entre sí. Las resinas sintéticas termo-endurecidas son parte principal de los adhesivos, como en la urea formaldehído (UF) y fenol formaldehído (FF) o melámina formaldehído (MF).

2.10.-Conductividad térmica

La conductividad térmica es muy importante en un producto aglomerado que utiliza resinas termo-endurecibles en su fabricación. En la ecuación 1 se representa la conductividad térmica del material (λ) se determina a partir de los valores de la diferencia de temperatura entre las placas caliente y fría (ΔT), el espesor de la muestra (L), el área de medición (A) y la potencia eléctrica suministrada (Q) cuando está en un estado permanente, por medio de la ecuación.

$$\lambda = \frac{QL_{promedio}}{2A\Delta T_{promedio}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde λ es la conductividad térmica en $Wm^{-1}K^{-1}$, Q es flujo de calor en W , L es el espesor promedio de la muestra en m , A es el área de la sección transversal de la muestra en m^2 y ΔT promedio, es la diferencia de temperatura entre la placa caliente y las placas frías en K (figura 19) (Lira y García 2010)

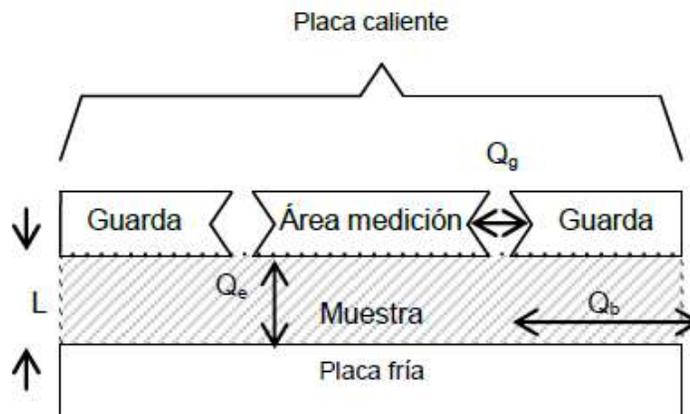


Figura 19.Esquema de transferencia térmica

3.-JUSTIFICACION

La sustitución del tacón sólido por el aglomerado de desperdicios de madera, genera las siguientes ventajas:

- a) Se reduce el tiempo de secado de la tarima, porque el tacón de madera sólida requiere más tiempo el secado.
- b) Se reduce el consumo en 20% de madera sólida.
- c) Se aprovecha los desperdicios en productos de mayor valor agregado.
- d) Generalmente, los aglomerados no contienen hongos e insectos debidos a que en el proceso de elaboración utilizan altas temperaturas y presión.
- e) Impacto ambiental positivo. Se disminuye el abastecimiento de madera sólida.
- f) Al final de su vida útil como tacón de tarima se puede usar como combustible.

4.-OBJETIVOS

Objetivo General:

Analizar un tacón para tarimas con desperdicios de madera, determinando como influyen el adhesivo y los diferentes porcentajes de partículas de madera.

Objetivos específicos:

- 1.-Elaborar un tacón para tarima con desperdicios de madera.
- 2.- Evaluar física y mecánicamente los tacones elaborados

5.-HIPOTESIS

Las partículas grandes mejoran las propiedades mecánicas del tacón como las de impacto lateral, la inserción, y extracción de calvos. Sin embargo, aumentara el hinchamiento.

A mayor porcentaje de adhesivo mejoraran las propiedades mecánicas. Además, disminuirá el hinchamiento y la absorción de agua.

6.-MATERIALES Y MÉTODOS

6.1.-Desarrollo experimental

Se desarrolló el método del cuadro 3 que permite la combinación de porcentajes de partículas de madera y adhesivo, para determinar si influyen o no en las características y propiedades físico-mecánicas de aglomerado elaborado y si existe o no interacción entre cada uno de ellos.

Cuadro 3. Descripción de tratamientos para el diseño experimental

N°	Tratamiento	Descripción
1	M80-20/20	80% de astillas , 20% de aserrín y 20% de adhesivo
2	M80-20/30	80% de astillas , 20% de aserrín y 30% de adhesivo
3	M80-20/40	80% de astillas , 20% de aserrín y 40% de adhesivo
4	M90-10/20	90% de astillas , 10% de aserrín y 20% de adhesivo
5	M90-10/30	90% de astillas , 10% de aserrín y 30% de adhesivo
6	M90-10/40	90% de astillas , 10% de aserrín y 40% de adhesivo

6.2.- Elaboración del tacón de aglomerado con desperdicios de madera.

Las partículas utilizadas para el tacón de aglomerado, fueron desperdicios de la fabricación de tarima de pino, donadas por Industria Forestal Delta S.A de C.V., que se encuentra en Brecha a Chapultepec Km.3, Col. Miguel Hidalgo C.P. 61600 Pátzcuaro, Michoacán.

En la preparación de las partículas de madera se presentan de figura 120 al 28. En la figura 20, se presenta el desperdicio de madera solida con corteza. En la figura 21, se presenta el descortezado de madera en forma manual. En la figura 22, se presenta la madera solida sin corteza es la que se utiliza para astillar. En la figura 23, se presenta la proceso de astillado en la facultad de Ingeniería de la Madera de la UMSNH. En la figura 24, se presenta el cribado en forma manual en una criba con barrenos de 10 mm. En la figura 25, se presenta la astilla cribada

y húmeda. En la figura 26, se presenta el desperdicio de aserrín, no lleva ningún proceso previo al secado. En la figura 27 se presenta el secado de astillas, se utilizó el mismo procedimiento para el secado de aserrín y en figura 28, se presenta la astilla y el aserrín con un CH del 10%.



Figura 20.Desperdicio con corteza



Figura 21.Desprendimiento de corteza en forma manual



Figura 22.Madera sólida sin corteza



Figura 23.Elaboración de astilla



Figura 24.Cribado de Astilla



Figura 25.Astilla húmeda



Figura 26.Desperdicio de aserrín



Figura 27.Secado de astillas

Astillas y aserrín C.H del 10 %

Adhesivo

En la figura 28 se muestra la preparación del adhesivo con tres tipos de resinas (vinil, acetil y estireno), con los siguientes aditivos: talco, antiespumante, espesante, regulador de PH, Biosida, Aguarrás, humectante, con una viscosidad entre 4200 y 5500 m²/s, en sustitución de formaldehído que está restringido por norma NOM-203-SCFI- 2015.

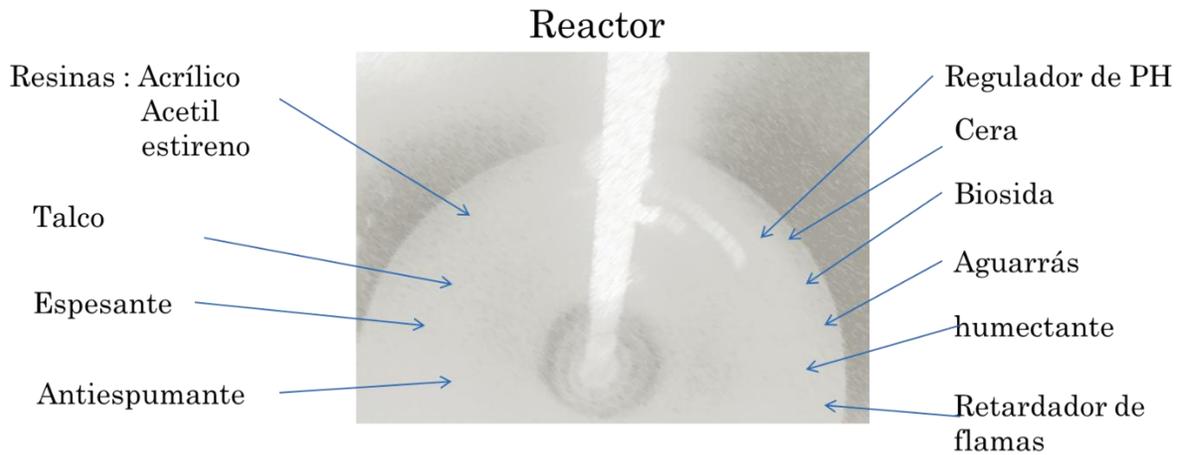


Figura 28. Reactor del adhesivo

Investigaciones que buscan la sustitución de alternativas de formaldehído tenemos, como resina de poliéster insaturado (Li, 2017) .Materiales que no contaminen y uso de desperdicios para procesos más limpios, con adhesivos no contaminantes (Sousa, 2018) y adhesivos de bajo costo naturales a base de licor negro (desecho de proceso del papel) con harina de trigo en sustitución del formaldehído (Ferreira, 2018).

Las mezclas se prepararon de proporciones de partículas de madera y adhesivo utilizando un vaso volumétrico realizando una homogenización en forma manual.

En la figura 29 se muestra el equipo que se utilizó para la extrusión de los tacones, donde se utilizó una temperatura de 80°C, una presión de 20 kg/cm² y un tiempo de curado de 30 minutos

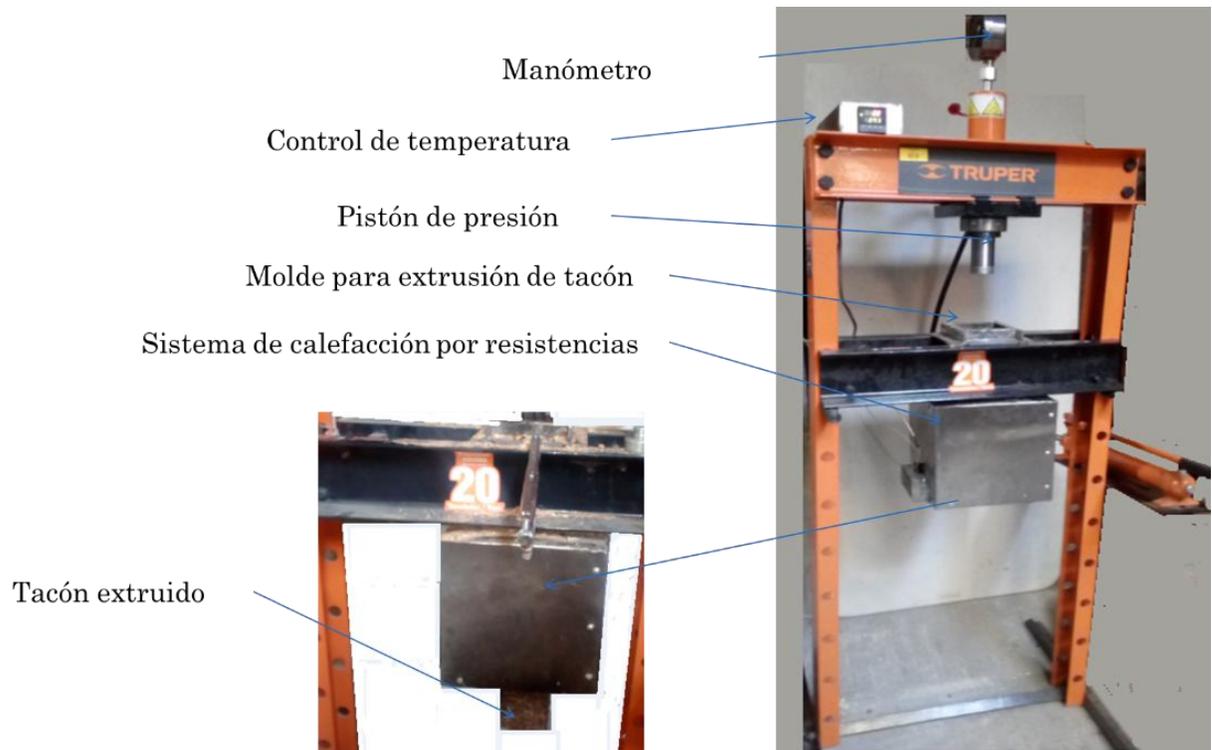


Figura 29.Equipo utilizado para la fabricación de tacones

6.3.- Evaluación física de los tacones: Densidad, absorción de agua e hinchamiento

La determinación de la densidad es el cociente entre la masa y volumen de un cuerpo, de acuerdo a la figura 30, se midió la masa de los tacones de aglomerado en una balanza digital y la determinación del volumen se utilizó un vernier para dimensionar el tacones es sus tres ejes (largo, ancho y Altura).

La determinación de absorción de agua e hinchamiento, se realizó tomando el peso y dimensiones (largo, ancho y altura) de acuerdo a un punto de referencia en cada tacón antes y después de inmersión en agua por 24 horas. Se realizó a una temperatura promedio de 25°C de acuerdo norma NWPCA. En la figura 31, se muestra los tacones en un tanque hermético de superficie plana con tapa abierta, se utilizó un dispositivo de "sujeción" adecuado para evitar que los tacones floten. En la figura 32, se muestran los tacones que se drenaron en una rejilla abierta, las mediciones finales se realizaron dentro de los 5 minutos. Para la absorción de agua se empleó la ecuación (2), P1 y P2 representa el peso antes y después. Para el cambio dimensional se empleó la ecuación (3), donde dimensiones L1 y L2 son antes y después en mm, se determinaron puntos de referencia con marcador (longitud, ancho y altura).

$$\%Ab = \left[\frac{P2-P1}{P1} \right] 100 \quad \text{Ec. (2)}$$

$$\%Dim = \left[\frac{L2-L1}{L1} \right] 100 \quad \text{Ec. (3)}$$

Por último el contenido de humedad (CH), En la figura 33, se muestra una parte del tacón después de la prueba de ataque lateral del tacón húmedo, esta se realizó después de 48 h después de la inmersión de 24 h y se empleó la ecuación (4), donde Pi y Pa es el peso antes y después de entrar al horno a 100°C por 24 h.

$$C. H\% = \left[\frac{Pi-Pa}{Pa} \right] 100 \quad \text{Ec. (4)}$$



Figura 30.Equipo para determinar densidad



Figura 31.Equipo para ensayo de inmersión de agua



Figura 32.Tacones después de inmersión a 24 h



Figura 33.Secado en horno para determinar CH

6.4.-Evaluación mecánica de los tacones: Ensayo de impacto lateral, de inserción de clavos y extracción de clavos

En los ensayos mecánicos se requiere de una maquina universal con una capacidad superior a 2268 kg y una platina ajustable a 38.1 mm/min de acuerdo NWPCA este equipo está disponible en laboratorio de Física de la madera de UMSNH

Ensayo de impacto lateral del tacón. En la figura 34, se muestra un dispositivo diseñado para simular una horquilla de un montacargas que se coloca maquina universal, se midió, registro el peso, la longitud, el ancho y la altura, el tacón se orientó de modo que la fuerza del accesorio se dirigió hacia el centro de uno de los extremos. Se midió la fuerza de falla en cada tacón, a una velocidad de 38.1 mm/min.

En el ensayo de inserción de clavos, si bien no hay un método incluido en ASTM D1761, la inserción la fuerza puede ser significativa. Las pistolas de clavos típicas pueden tener más dificultades con la inserción si la fuerza requerida es demasiado alta. En la figura 35, se muestra un accesorio que sostiene el clavo vertical y perpendicular a la superficie del tacón, en la máquina universal, se midió, registró el peso, longitud, el ancho y la altura del tacón, se midió la fuerza máxima requerida para insertar cada clavo a una velocidad de 38.1 mm/min, se repite procedimiento con segundo y tercer clavo por tacón, el figura 36 se muestra los tacones con clavos insertados.

El ensayo de extracción de clavos. En la figura 37, se muestra un accesorio de agarre con la forma para ajustarse a la cabeza con clavo y diseñado para proporcionar un fuerza axial, que se coloca en la máquina universal, se midió y registro el peso, la longitud, el ancho y la altura del tacón, se insertó el primer clavo en el orificio del accesorio, mueva el clavo hasta que la punta del clavo quede a 53.3 mm de la superficie del tacón con una velocidad de platina de 38.1/min, retirar clavo, repetir procedimiento con el segundo y tercer clavo, se midió la fuerza máxima requerida para quitar cada clavo.



Figura 34.Dispositivo para carga lateral del tacón



Figura 35.Equipo y accesorios para inserción de clavos



Figura 36.Muestras con clavos insertados

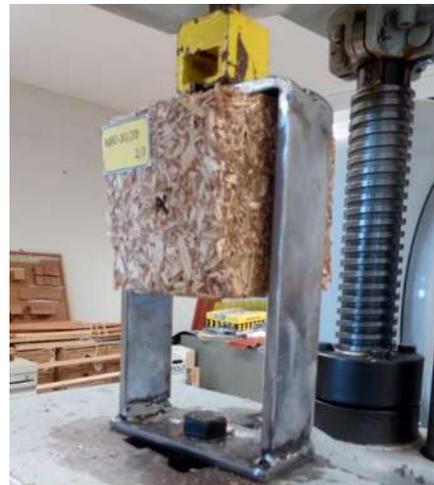


Figura 37.Accesorios para prueba de extracción de clavos

Los datos obtenidos de todos los ensayos fueron procesados en el software Sistema de Análisis Estadístico (SAS, por sus siglas en inglés).

7.-ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1.-Densidad de los tacones

El cuadro 4, muestra los valores de la densidad para los tacones de aglomerado. La referencia de acuerdo a NWPCA el rango de densidad debe estar entre 0.591 y 0.675 g/cm³. El análisis estadístico de acuerdo a Duncan, no muestra diferencia significativa entre los tratamientos. Sin embargo, se puede observar que los promedios de los tratamientos con 20% de adhesivo se encuentran fuera de norma (M80-20/20 y M90-10/20). Además, se pudo observar un ligero aumento de la densidad, al aumentar el porcentaje de adhesivo y al aumentar el porcentaje de astilla. Cabe mencionar, que se utilizó presiones y temperaturas constantes para obtener una densidad lo más homogénea posible (Poblete 1989).

Cuadro 4. Resultados de la densidad y análisis estadístico Duncan

Tratamiento	M80-20/20	M80-20/30	M80-20/40	M90-10/20	M90-10/30	M90-10/40
	g/cm ³					
Promedio	0.526	0.596	0.620	0.573	0.646	0.620
Duncan	A	A	A	A	A	A
Desv. est.	0.045	0.045	0.095	0.118	0.021	0.052
C.V (%)	9	8	15	21	3	8
Máximo	0.568	0.638	0.711	0.715	0.669	0.648
Mínimo	0.477	0.546	0.524	0.498	0.627	0.564

Promedio de la misma letra no son estadísticamente distintos $\alpha= 0.05$

7.2.- Absorción de agua

En el cuadro 5 y figura 38, se muestran los resultados de absorción de agua a 24 h. Se puede observar, que ningún promedio de los tratamientos cumple con la norma NWPCA. El análisis estadístico de Duncan, nos indica que si hay diferencia significativa entre los tratamientos, observándose, que a mayor cantidad de adhesivo disminuye la absorción y caso contrario, al aumentar el porcentaje de aserrín aumenta la absorción.

Cuadro 5.Resultados de absorción de agua y Análisis estadístico Duncan

Tratamiento	M80-20/20	M80-20/30	M80-20/40	M90-10/20	M90-10/30	M90-10/40
	%					
Promedio	133.7	96.0	88.2	104.6	77.1	77.1
Duncan	A	BA	B	BA	B	B
Desv. est.	10.6	10.2	40.1	18.1	10.1	7.2
CV	7.9	10.6	45.5	17.3	13.1	9.3
Máximo	145.2	107.5	134.0	118.0	96.5	82.9
Mínimo	124.1	89.0	60.5	84.0	59.9	69.1

Promedio de la misma letra no son estadísticamente distintos. $\alpha= 0.05$

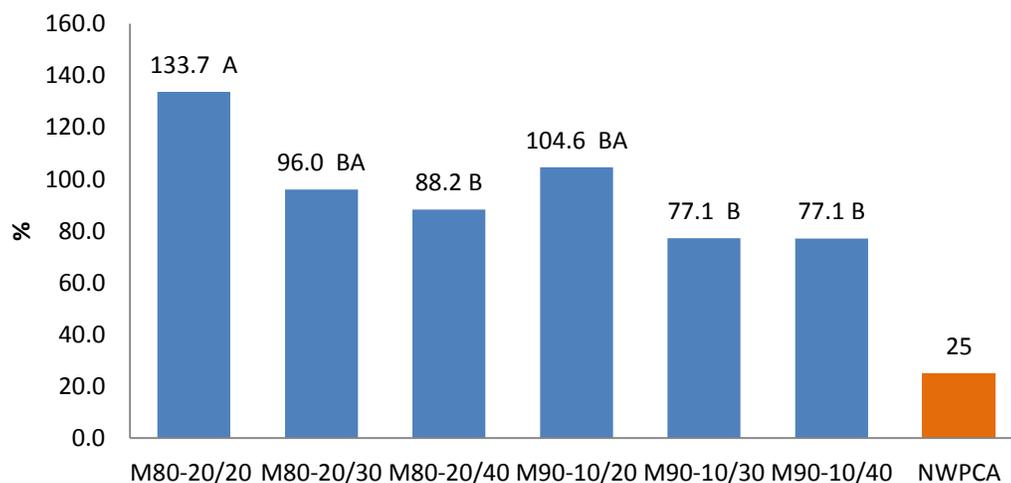


Figura 38.Absorción de agua a 24 h del tacón

NWPCA : La absorción a 24 h debe ser menor o igual 25% de incremento.

7.3.-Hinchamiento (longitud, ancho, altura)

En el hinchamiento del tacón del aglomerado por inmersión a 24 h, los valores de referencia de acuerdo a la norma NWPCA, son: longitud máximo 2%, ancho máximo 2% y altura máximo 6%.

En el cuadro 6 y figura 39, se muestra los valores de cambio de longitud por inmersión en agua. En el cuadro 7 y figura 40, se muestra los valores de cambios dimensionales en ancho. En el cuadro 8 y figura 41, se muestra los valores de los cambios dimensionales en altura. Se observa que ningún tratamiento cumple con la norma de la NWPCA, El análisis estadístico de Duncan indica diferencia significativa entre tratamientos. Se puede observar a mayor cantidad de adhesivo y menor porcentaje de aserrin disminuye el cambio de longitud, ancho y altura.

Cuadro 6. Cambio de longitud del tacón de aglomerado y análisis estadístico Duncan

Tratamiento	M80-20/20	M80-20/30	M80-20/40	M90-10/20	M90-10/30	M90-10/40
	%					
Promedio	6.36	4.21	4.87	5.24	4.68	3.04
Duncan	A	BA	BA	BA	BA	B
Desv. est	0.95	0.77	1.60	1.67	3.02	0.72
CV	14.9	18.2	32.8	31.8	64.7	23.7
Máximo	7.26	5.10	6.17	7.09	8.13	3.49
Mínimo	5.45	3.67	3.05	3.90	2.45	2.24

Promedios de la misma letra no son estadísticamente distintos

$\alpha = 0.05$

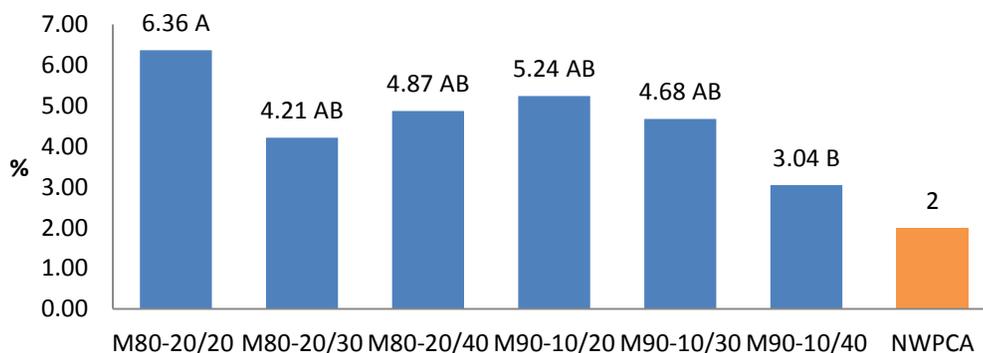


Figura 39. Cambio de longitud de agua a 24 h del tacón

NWPCA: El cambio de longitud debe ser menor o igual 2% de incremento

Cuadro 7.Resultados de cambio de ancho y Análisis estadístico Duncan

Tratamiento	M80-20/20	M80-20/30	M80-20/40	M90-10/20	M90-10/30	M90-10/40
	%					
Promedio	5.79	4.20	4.76	6.50	4.86	3.47
Duncan	BA	BC	BAC	A	BAC	C
Desv. est.	1.02	0.11	1.62	0.17	1.49	1.16
CV	17.6	2.7	34.1	2.6	30.5	33.3
Máximo	6.96	4.34	6.17	6.73	6.55	4.72
Mínimo	5.20	4.11	3.04	6.37	3.66	2.38

Promedio de la misma letra no son estadísticamente distintos.

$\alpha=0.05$

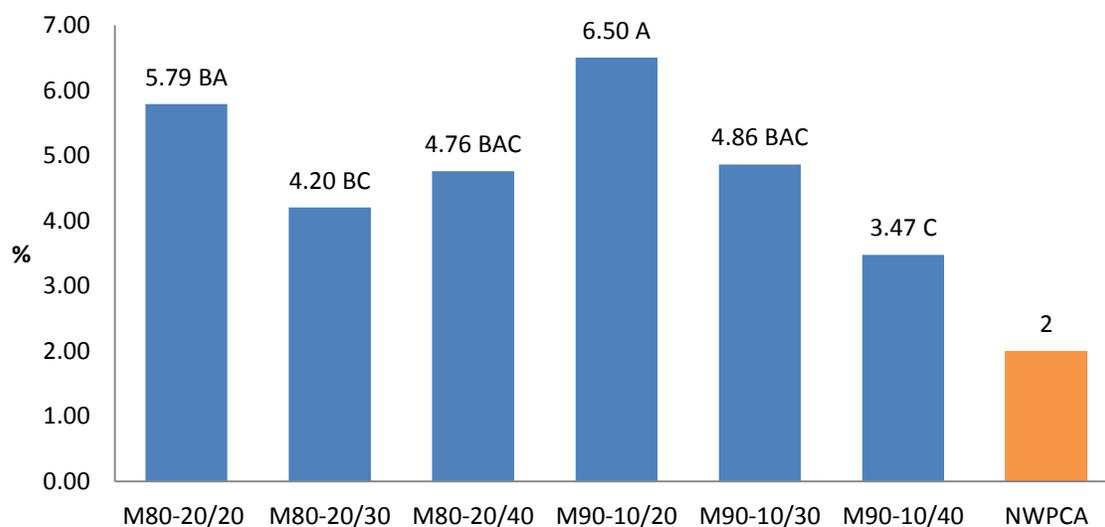


Figura 40.Representación gráfica del cambio de longitud de agua a 24 h

NWPCA : El cambio dimensional ancho debe ser menor o igual 2% de incremento

Cuadro 8.Resultados de cambio de altura y análisis estadístico Duncan

Tratamiento	M80-20/20	M80-20/30	M80-20/40	M90-10/20	M90-10/30	M90-10/40
	%					
Promedio	28.38	17.63	23.44	31.33	25.23	17.72
Duncan	BA	B	BA	A	BA	B
Desv. Est.	2.63	3.13	4.29	1.70	13.60	5.56
CV (%)	9.3	17.8	18.3	5.4	53.9	31.4
Máximo	30.88	21.14	27.01	32.53	40.31	22.83
Mínimo	25.65	15.04	18.66	29.41	13.86	11.83

Promedio de la misma letra no son estadísticamente distintos.

$\alpha=0.05$

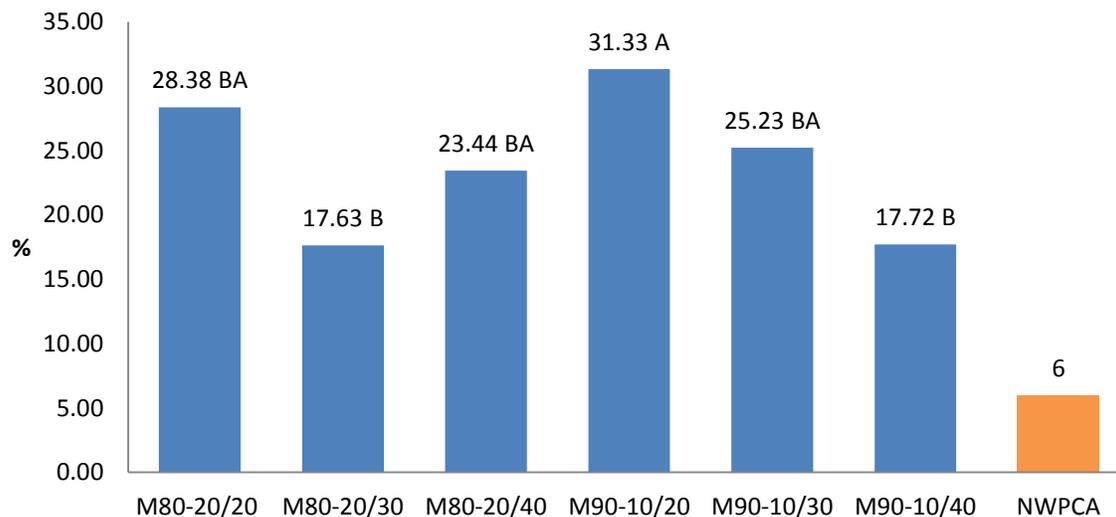


Figura 41. Cambio de altura de agua a 24 h del tacón

NWPCA El cambio en altura debe ser menor o igual 6% de incremento.

7.4.- Contenido de humedad del tacón de aglomerado por inmersión a 24 h

En el cuadro 9 y figura 42, se muestra los valores estadísticos de contenido de humedad. Duncan nos marca una diferencia significativa entre tratamientos. Se puede observar, que a mayor cantidad de adhesivo disminuye la humedad.

Cuadro 9. Resultados de contenido de humedad y Análisis estadístico Duncan

Tratamiento	M80-20/20	M80-20/30	M80-20/40	M90-10/20	M90-10/30	M90-10/40
	%					
Promedio	80	57	54	100	83	74
Duncan	B	DC	D	A	BA	BC
Desv. est.	3.0	5.0	3.8	15.5	16.4	6.1
CV	3.7	8.8	7.0	15.5	19.7	8.2
Máxima	83	62	58	111	102	81
Mínima	77	52	51	82	71	69

Promedio de la misma letra no son estadísticamente distintos.

$\alpha = 0.05$

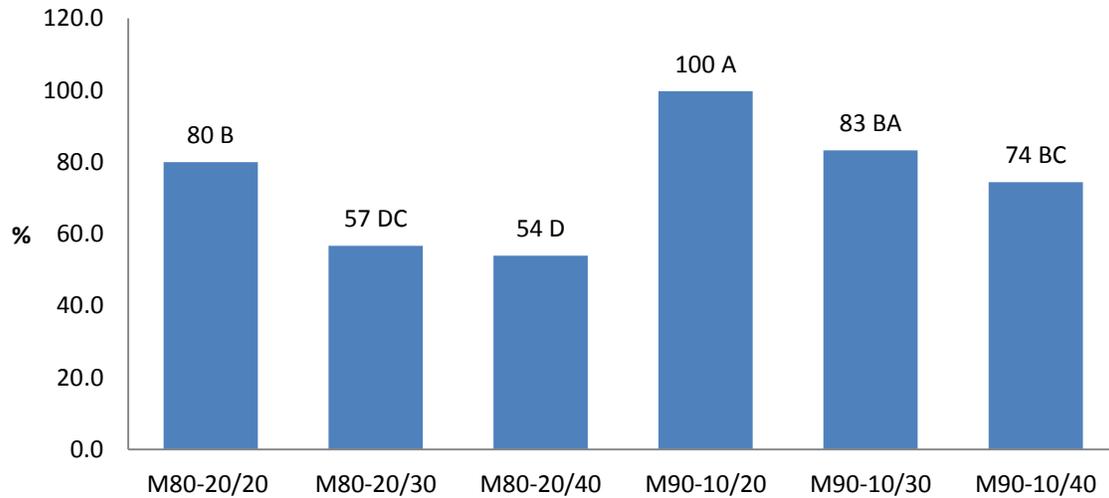


Figura 42.Contenido de humedad de los tacones

Los resultados no satisfactorios para la norma NWPCA de absorción de agua e hinchamiento, así como valores elevados de contenido de humedad, se debe al adhesivo que se usó de tres tipos de resina (vinil, acetil y estirenos), con comportamiento similar a la urea formaldehído, que no es apto para la intemperie (Peredo y Torres, 1991) y una exposición prolongada a la humedad lleva a la ruptura de los enlaces entre partículas de madera y el adhesivo.

Otro factor son las astillas con geometría no controlada, que genera de espacio vacíos entre partículas y adhesivo, que permite o impide la penetración de agua, así lo demuestran las investigaciones Poblete y Peredo (1991); Maloney (1993) y Moreno et al (2005); quienes indican que la facilidad de absorción es la relación de compresibilidad y permeabilidad del aglomerado, así como la eficiencia del adhesivo.

7.5.-Impacto lateral de tacón

En el cuadro 10, se muestra los resultados de tacones sometidos a impacto lateral en seco y tacones después de inmersión en agua. La norma nos marca que debe tener un valor superior a 635 kg, los valores de los tratamientos en seco con 30 y 40 % de adhesivo rebasan ampliamente la norma. Sin embargo, todos los tacones después de la inmersión en agua su no cumplen con la norma. Claramente, se puede observar que el adhesivo no es resistente a la humedad.

Las propiedades de mecánicas de dureza e impacto se correlacionan en forma negativa con el aumento de aserrín (Berterreche, 1994), por lo que se explica que los tratamientos M90-10/% Adhesivo funcionen mejor en Impacto de tacón lateral.

Cuadro 10. Impacto lateral en tacones secos y después de inmersión en agua por 24 h

Tratamiento	Tacón Seco kg	Tacón húmedo kg
M80-20/20	600	13
M80-20/30	1400	100
M80-20/40	1925	81
M90-10/20	625	46
M90-10/30	1525	74
M90-10/40	2053	62

7.1.5.-Resistencia a la inserción de clavos

En el cuadro 11 y figura 43, se muestra los valores de inserción de clavos. Todos los tratamientos cumplen con la norma. Duncan marca una diferencia significativa entre tratamientos. En los tratamientos que tuvieron 80% de astilla y 20% de aserrín, se observa que al aumentar el adhesivo, aumenta la resistencia a la inserción de clavos. Caso contrario, se presentó con los tratamientos que tuvieron 90% de astillas y 10% de aserrín, donde al aumentar el adhesivo disminuyó la resistencia a la inserción. Esto pudiera ser explicado que cuando hay mayor cantidad de partículas grandes, se generan más espacios sin material y pudiera provocar que la medición de la inserción sea más irregular, cuando la inserción se de en estos espacios o se de en material sólido.

Cuadro 11.Resultados de inserción de clavos y Análisis estadístico Duncan

Tratamiento	M80-20/20	M80-20/30	M80-20/40	M90-10/20	M90-10/30	M90-10/40
	Kg					
Promedio	58	109	124	95	61	56
Duncan	C	BA	A	B	C	C
Desv. est.	16.92	18.94	30.43	34.11	9.02	11.59
CV (%)	29.4	17.3	24.6	36.0	14.8	20.5
Máximo	90	144	162	148	75	77
Mínimo	38	91	90	52	50	45

Promedios de la misma letra no son estadísticamente distintos. $\alpha= 0.05$

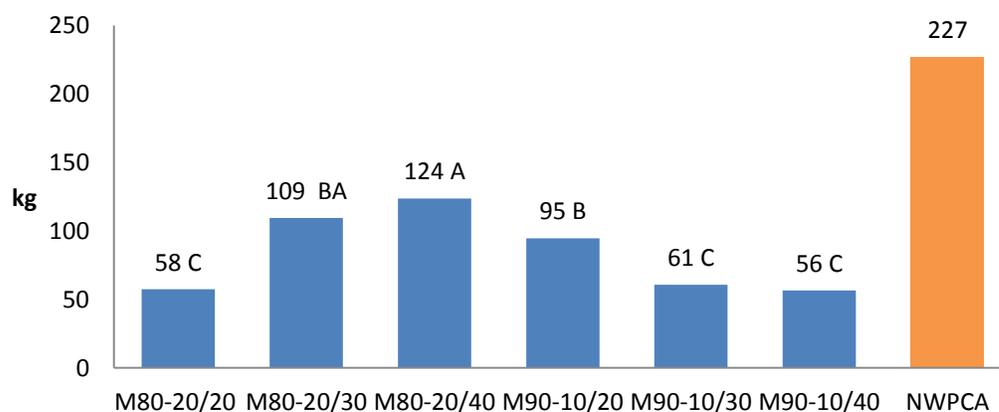


Figura 43.Fuerza de inserción de clavos en tacones

NWPCA La fuerza de inserción debe ser menor a 227 kg a una velocidad de 38.2 mm/min.

7.6.-Resistencia a la extracción de clavos

En el cuadro 12 y figura 44, se muestran los valores de inserción de clavos de los tacones elaborados. Duncan marca una diferencia significativa entre tratamientos. Sin embargo, se observa que todos los tratamientos no cumplen con la norma.

Cuadro 12.Resultados de extracción de clavos y análisis estadístico Duncan

Tratamiento	M80-20/20	M80-20/30	M80-20/40	M90-10/20	M90-10/30	M90-10/40
	Kg					
Promedio	38	53	35	37	44	39
Duncan	BA	A	B	BA	BA	BA
Desv. est.	27.17	11.28	16.86	12.45	13.75	8.9
CV (%)	71.5	21.3	48.2	33.4	31.0	23.1
Máximo	90	144	162	148	75	77
Mínimo	38	91	90	52	50	45

Promedio de la misma letra no son estadísticamente distintos.

$\alpha= 0.05$

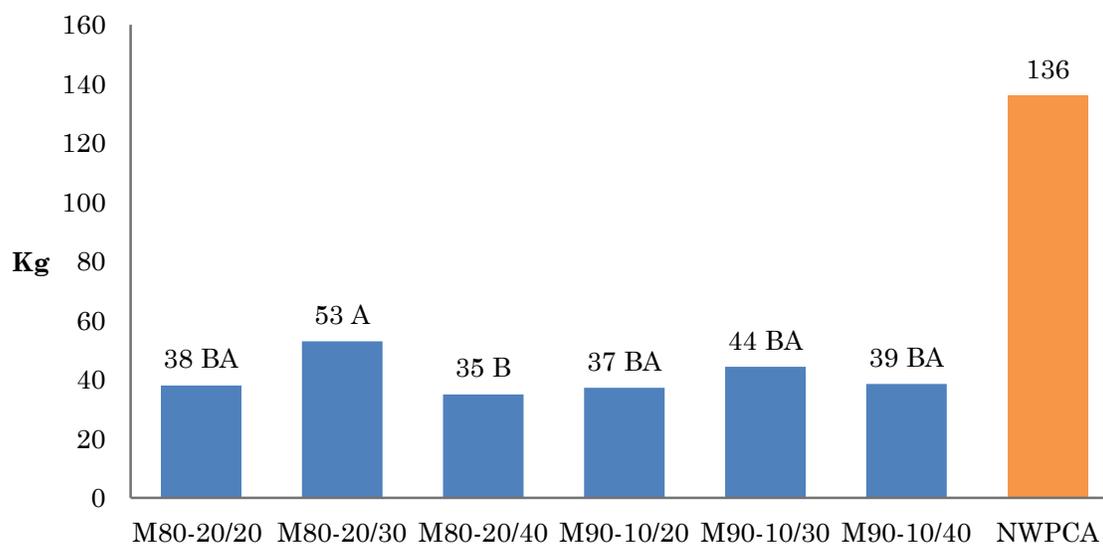


Figura 44.Fuerza de extracción de clavos en tacones

NWPCA La fuerza de extracción del clavo debe ser mayor a 136 kg

7.7.-Resistencia de la inserción de clavos en relación a la densidad

Los resultados que se obtuvieron de los 6 tratamientos como se muestran de la figura 45 a la figura 50, se analizó cada tratamiento con respecto a la densidad y la correlación con la fuerza de inserción de los clavos insertados en 3 de sus caras, así como su ecuación de comportamiento.

La densidad es factor importante de los aglomerados e influye en forma directa en las propiedades físicas y mecánicas (Zambrano, 2013).

En los diferentes tratamientos, con diferentes densidades se observa que la fuerza de inserción de clavos se encuentra dentro de la norma para tacones aglomerados según la Asociación Nacional de Tarimas de Madera y Contenedores de Estados Unidos (NWPCA, por sus siglas en inglés). Observando el comportamiento del tacón con M80-20/20(80% de astilla, 20% de aserrín y 20% de adhesivo), tiene una correlación de $R^2=0.9654$, así como de figura 46 con el tacón M80-20/30 con una correlación de $R^2=0.9685$, la figura 47 con el tacón M90-10/20 con una correlación de $R^2=0.9552$, figura 48 con el tacón M90-10/30 con una correlación $R^2=.7605$, este grupo de tacones con los tratamientos respectivos tiene una alta correlación positiva, lo que indica que mayor densidad aumenta la fuerza de resistencia al inserción de clavos en forma lineal ascendente.

Hay dos tratamientos con comportamientos diferentes el de la figura 46 del tacón M80-20/30, con una correlación $R^2=0.0388$, lo que significa que no existe una correlación y la figura 50 del tacón M90-10/40 con una correlación negativa de $R^2=0.6746$, se tendría elaborar los tacones con sus respectivos tratamientos y repetir los ensayos, revisar los resultados para verificar su consistencia en el comportamiento, si es constante analizar otros factores que hayan influenciado.

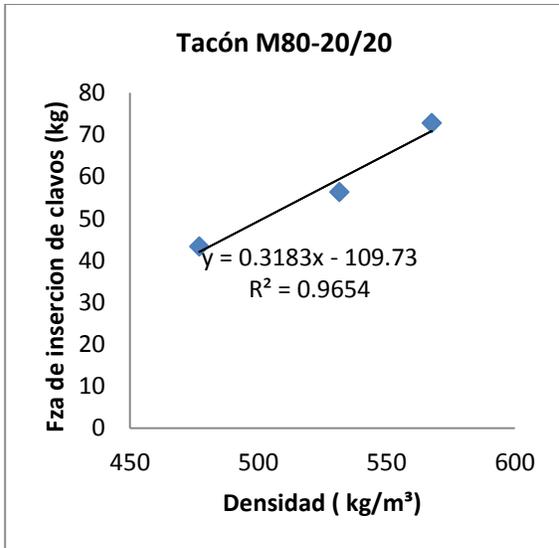


Figura 45. Tacón con 80% de astilla, 20 % aserrín y 20% de adhesivo

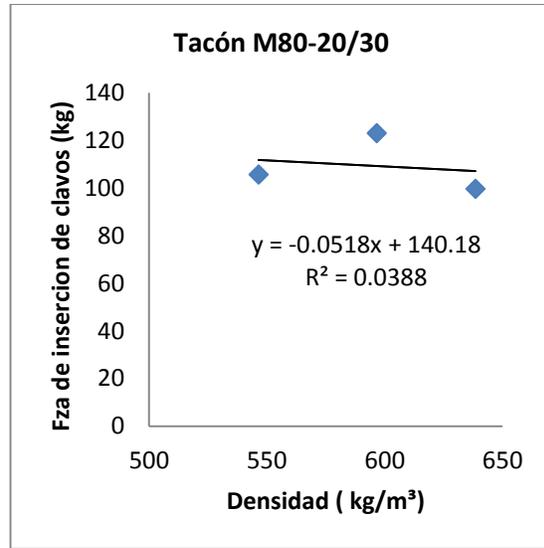


Figura 46. Tacón con 80% astilla, 20% aserrín y 30% de adhesivo

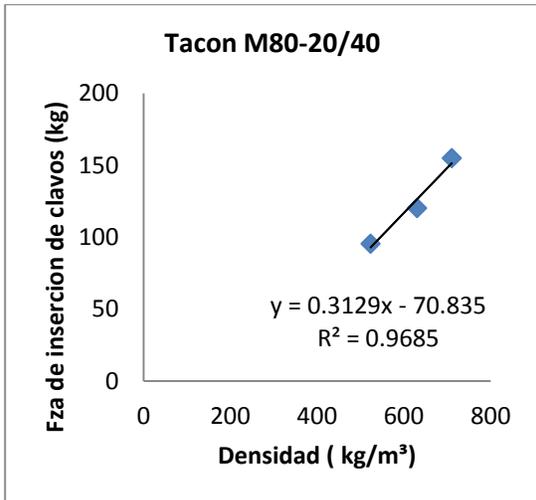


Figura 47. Tacón con 80% de astilla, 20 % aserrín y 40% de adhesivo

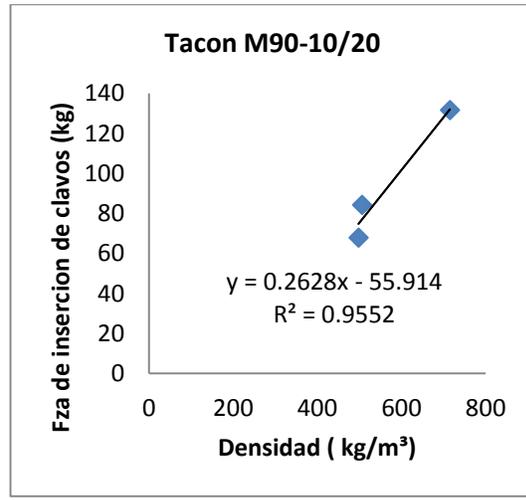


Figura 48. Tacón con 90% astilla, 10% aserrín y 20% de adhesivo

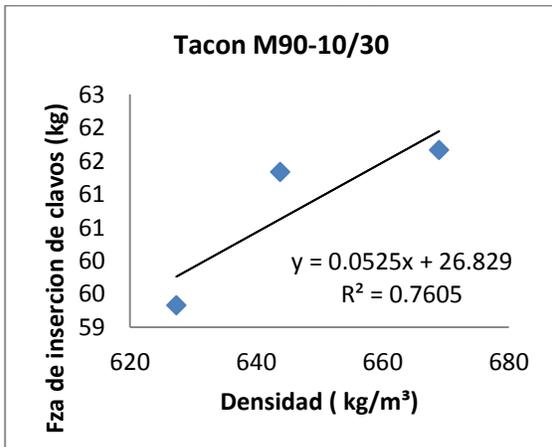


Figura 49. Tacón con 90% de astilla, 10 % aserrín y 30% de adhesivo

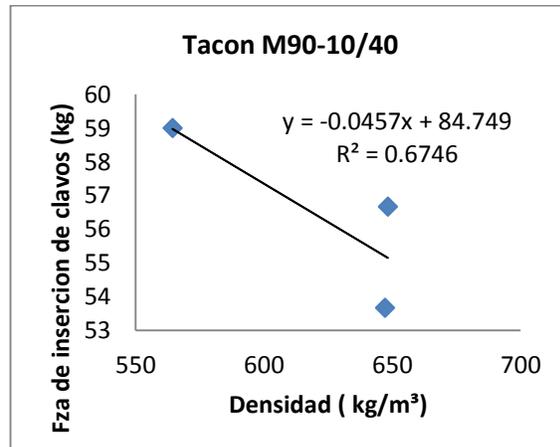


Figura 50. Tacón con 90% astilla, 10% aserrín y 40% de adhesivo

8.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A mayor porcentaje de adhesivo, aumenta la densidad, la resistencia al impacto lateral, la fuerza de inserción de clavos, y disminuye la absorción, el hinchamiento, la humedad.

Al aumentar el porcentaje de astillas (partículas grandes) respecto al aserrín, disminuye la absorción, el cambio dimensional.

Se pudo observar de manera general que las astillas y el adhesivo utilizado, no son los adecuados para la elaboración de tacones para tarimas. Se recomienda la utilización de un adhesivo resistente a la humedad. Así, como controlar la geometría y dimensiones de las partículas de madera, con equipos especializados como hojueladoras y otros que pudieran dar mayor uniformidad que una astilladora.

9.-BIBLIOGRAFÍA

Berterreche, A; Poblete, H; Niemz P. (1994). Propiedades de tableros de partículas de pinus radiata, D. Don . Tesis de grado. Chile. Universidad Australia de Chile. Facultad de Ciencias Forestales.

Bloch, R. (2012). Envases y embalajes para el comercio Internacional, Argentina: Ad-Hoc

FAO (2003) Normas Internacionales para medidas Fitosanitarias (NIMF n° 15), Roma Italia.

Ferreira, A; Pereira, J; Almeida, M; Ferra, J, Daiva, N; Martins, J; Magalhaes, F; Cavalho.(2018).Low-cost natural binder for particleboards, production, study of manufacture conditions and stability, Science Direct International Journal of adhesión and adhesives.

NWPCA (2017) National woolden Palllet & Container Association [Internet]. Disponible en: <<https://www.palletcentral.com/>>. [consulta Abril 2017].

Peredo, M y E. Torres (1991) Fabricación de tableros de partículas con desechos industriales Bosque (Valdivia) 12 (1) : 49-57

Poblete, H. (2001). Tableros de Partículas. Editorial El Kultrun. 177 p.

Poblete, H. (1985). Influencia del tamaño de partículas sobre las propiedades mecánicas de flexión y tracción en tableros de partículas aglomerados con urea formaldehido. Simposio: Pinus radiata Investigación en Chile. Tomo II. pp. 241-256.

Poblete, H. (1989) Tableros a base de desechos de contrachapados. CORFO. FDP. INFODEMA. Universidad Austral de Chile. Informe de convenio N° 167. 33 p.

Poblete, H.; SÁNCHEZ, J. (1991) Tableros con corteza de *Pinus radiata*. Bosque 12 (1): pp. 17 -26.

- Sánchez, J.; Poblete, H. (1990) Efecto de la corteza en las emanaciones de formaldehído en tableros de partículas. *Ciencia e Investigación Forestal* 4 (1):pp. 133 - 138.
- Poblete, H. (1978). Uniones de maderas con adhesivos. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Publicación Técnica N° 1. 43 p.
- Li, R; Lan, C; Wu Z; Huang, T; Chen, X; Liou, Y; Ye, L; Lin, X; Yang, Y; Zheng, Y; Xie Y; Zhuang, Q. (2017) A novel particleboard usin unsaturated polyester resin as a formaldehyde adhesive, *SciencieDirect, Construction and Bulding Materials* 148: 781-788
- Lira, C.; García, D; Méndez L.; Gonzáles, D. (2010) “Diseño del sistema de medición de conductividad térmica de materiales para construcción” en Simposio de metrología, Querétaro, México.
- Maloney T. M. (1993). *Modern particleboardard & dry-process fiberboard Manufacturing*, Miller Freeman Inc., San Francisco, California EUA 686 p.
- Moreno, P; Duran, D; Garay, S; Valero, T; Shakespeare; Nieto, R (2005). Utilización de la madera de *Fraxinus Americana* (frenos) en la fabricación de tableros de partículas. *Revista Teoría* 14(2): 57-64.
- NOM-203-SCFI- (2015) Proyecto de Norma Oficial Mexicana-, Que establece los límites máximos permisibles de emisión y contenido de formaldehído en tableros de partículas de madera y tableros de fibras de madera fabricados con urea formaldehído, y en los productos fabricados con este tipo de tableros.
- Keil, G; Spavento, E. (2009) *Industria de Embalajes de madera*, Facultad de ciencias Forestales, Universidad Nacional de Plata.
- Zambrano, L; Moreno, P; Muñoz, F; Duran, 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

10.-ANEXO

10.1.-terminología y definiciones de tarimas

Tacón de tarima (Bloque).- Es rectangular, cuadrado, múltiples lados o cilíndrico, es un espaciador de las cubiertas, a menudo identificado por su ubicación dentro de la tarima como tacón de esquina, tacón final, tacón de borde, tacón interno o central.

Tamaño de tacón (Bloque).- Dimensión de este elemento de la tarima, especificado por ancho, alto y largo.

Tabla de cubierta.-Elemento o componente de la parte superior o inferior de la tarima y perpendicular a los largueros o tacones.

Tamaño de tabla.- Se especifica como el grosor seguido de ancho y largo.

Angulo MIBAT.-Angulo de curvatura del sujetador que proporciona una indicación de tenacidad y resistencia a la flexión, son medidas de acuerdo a los procedimientos contenidos en la Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM por sus siglas en inglés) número F680 de Ensayo estandarizados de clavos.

Largo de tarima.- Medida entre extremo a extremo de la tarima y paralelo la tabla de los largueros o largueros.

Ancho de tarima.-Medida entre los extremos de los lados de la tarima, paralelo y correspondientes a largo de la tabla superior.

Tamaño de tarima.-Le dimensión de la tarima especificada por la longitud de la tabla para larguero, con la parte de la plataforma superior tenemos el ancho y por último la altura total de la tarima.

Unidad de carga.-Embalaje de bienes o artículos como una sola unidad, colocado sobre la plataforma de la tarima para manipular, mover, almacenar y apilamiento como una sola unidad.

10.2.-Definiciones de equipos y procesos de aglomerado

Astillador de disco, está compuesto por una carcasa de acero que contiene un gran disco rotativo, también de acero, en el cual se montan en forma radial de 2 a 15 cuchillas ajustables. La madera se alimenta a través de una boca o canal, de modo que choque contra el disco en un ángulo de 45°, para que rápidamente sea convertido en astillas de dimensiones variables. Produce astillas de buena calidad debido al corte inclinado y a la fácil graduación, la forma y tamaño de la astilla que se quiera producir, con escaso daño de las fibras. El disco tiene un diámetro variable entre 1.3 y 3 metros y la potencia varía entre 100 HP (chipeado de ramas y despuntes) y 1500 HP para rollos de densidad elevada.

Astillador de tambor este equipo consta de un cilindro o tambor, donde se montan normalmente 4 cuchillas en posición tangencial. La madera es llevada hacia el rotor a través de una boca de entrada. Una contra-cuchilla, ubicada cerca del límite de giro del tambor, da la posición a la madera y fija el tamaño de las astillas.

Silos horizontales de poca altura, provistos de dispositivos reguladores de altura, dosificación y almacenamiento para el suministro continuo de partículas al molino que como función romper las partículas anchas, en lo posible en sentido paralelo a la fibra, sin producir partículas muy finas. Consta de un rotor con martillos pendientes que por fuerza centrífuga, toman una posición perpendicular al eje de giro, mientras las partículas chocan contra una pared de chapa perforada, para este proceso entramos los siguientes equipos:

Refinador de discos, es un equipo compuesto por dos discos colocados sobre un eje, uno está fijo sobre el eje y el otro puede variar su posición sobre él. Los discos giran a gran velocidad produciendo la rotura de las astillas, preferentemente por su eje longitudinal, no afectando su largo.

Refinador de martillos, es un rotor vertical contiene martillos que son pendientes mientras el equipo no funciona, cuando comienza a funcionar el rotor, los martillos se colocan en posición horizontal debido a las fuerzas centrífugas que se generan. Las astillas son cargadas en el equipo

que está cubierto por un tambor con aberturas, estas astillas son refinadas por los golpes contra la chapa del tambor.

Calentamiento indirecto por agua, vapor o aceite térmico. La energía necesaria para el secado se comunica indirectamente a las partículas de madera, por ejemplo mediante radiadores, mientras que el agente secante gaseoso tiene la misión de evacuar el agua vaporizada, máximo 150°C.

Calentamiento directo mediante instalaciones de aceite, gases u otros combustibles, por ejemplo hogares combinados con polvo de madera. La transmisión del calor se hace directamente mediante el flujo de gases, máximo 280°C.

Combinación de calentamiento directo e indirecto. El calentamiento principal se hace indirectamente ayudado por un calentamiento suplementario directo mediante un agente secante gases térmicos. La energía de secado es suministrada directamente de gases de humo o de intercambiadores térmicos, máximo 170°C.

Secadero continuo, las astillas son cargadas por un extremo de un tambor horizontal. Dentro del tambor van variando las condiciones, desde el primer sector con mayor humedad relativa y temperatura ambiente hasta el sector final con baja humedad relativa y altas temperaturas, por este extremo son descargadas las partículas secas (1-3% de contenido de humedad). El tambor puede estar fijo y en su interior tiene paletas para hacer circular las astillas del sector más húmedo al más seco y para que no se acumulen en la parte inferior.

Tambores para secado por lote, además están montados sobre cadenas y van girando a medida que se produce el secado, logrando secados más uniformes de las astillas.

Zarandas, son mallas con distintos tamaños de aberturas y montados sobre un sistema que les proporciona un movimiento discontinuo. Las zarandas están colocadas unas sobre otras con distintos tamaño de malla, el mayor tamaño arriba y el menor en la parte inferior. Las astillas que pasan por todas las mallas son usadas como combustible para caderas de biomasa Las

astillas que no pasan por la zaranda de mayor abertura son enviadas a los refinadores para ser redimensionadas.

Equipo de soplado, la clasificación se hace mediante chorros de aire, en este caso se separan las astillas por peso, ya que las más livianas quedan en el sector más alejado y las más pesadas, que deberán ser refinadas, quedan en el sector más cercano a la fuente de aire.

10.3.-Definiciones de resinas

Urea formaldehído, es la resina más comúnmente usada en tableros que serán utilizados en interiores ya que no es muy resistente al agua. Se fabrica haciendo reaccionar una parte molecular de urea con dos partes de formaldehído en medio ligeramente ácido y concentrado luego aproximadamente a 65 % de contenido sólido. El producto así obtenido debe mantenerse a temperaturas no superiores a 30°C a fin de conservar su estabilidad. Las resinas de mejor calidad, a veces, contienen un catalizador que al reaccionar con la acidez de la madera inicia el proceso de fraguado que luego es acelerado por el calor de las prensas.

Cuando las resinas son empleadas en el proceso por extrusión siempre son catalizadas previamente a su entrada a la prensa, ya que siendo en este sistema muy rápido el pasaje de las partículas entre los platos calientes, la acidez de la madera no tiene tiempo como para actuar de catalizador o iniciador del proceso de fraguado. En este caso las resinas también deben poseer la propiedad de liberarse rápidamente del calor de los platos pues en caso contrario, astillas y resinas se separan formando pliegues y costras en la superficie del tablero.

Fenol formaldehído es recomendado para productos que serán utilizados a la intemperie o cuando se requieren altas condiciones de resistencia a la humedad. Este tipo de adhesivo produce un tablero de mayor resistencia mecánica que el obtenido con urea y por tal razón es utilizado cuando esta propiedad y la resistencia al agua, presenta el inconveniente de su oscurecimiento que se acentúa con el envejecimiento.

Melamina formaldehído, los dos componentes de esta resina reaccionan en forma parecida a la fabricada con urea. La melamina presenta la ventaja de proveer al tablero una mayor resistencia

al calor y también más estabilidad en sus propiedades, lo que prolonga su vida útil. Sin embargo dado que su costo es más elevado y su ciclo de curado más largo, generalmente no se utiliza en la fabricación de producto de aglomerados.

Reactividad es la velocidad con la cual en determinadas condiciones, dentro de la fase de encolado pasa al estado sólido de modo irreversible. Se mide determinando en condiciones estándar el tiempo de solidificación definiendo así resinas más lentas y más veloces. A igual condición de catalizador, a mayor temperatura, mayor reactividad; a igualdad de temperatura, la resina varía en función del tipo de catalizador o endurecedor empleado.

Viscosidad es función de muchos factores como el contenido de sustancia sólida, el grado de condensación, la temperatura a la que se le somete, entre otros. Aumenta con el tiempo en función del tipo de resina examinada por polimerización lenta y continua hasta la completa gelatinización de la masa. La viscosidad de las emulsiones ureicas aumenta mucho más rápidamente que la de las fenólicas.

Contenido de sólidos, interesa sólo en los adhesivos líquidos, las emulsiones ureicas y melamínicas. Posee un contenido de sustancia seca entre 64 y 66 %. Las fenólicas comúnmente tienen un contenido menor, entre 45 y 55 %.

Formaldehído libre es la característica más importante en los ureicos. Los adhesivos fenólicos tienen un bajo contenido de formaldehído libre. Sin embargo, intervienen endurecedores que contienen para-formaldehído usado como acelerante y por lo tanto el olor a él es mucho más fuerte. Los adhesivos de bajo contenido de formaldehído libre resultan más lentos que los de alto contenido. En adhesivos ureicos, para disminuir la liberación de formaldehído se puede agregar soluciones de amoníaco (1 % de la mezcla) o mayor cantidad de urea para alargar la vida útil de la mezcla, pero el tiempo de prensado es a temperaturas más bajas.

10.4- Plano de dispositivo simulador de horquilla según NWPCA

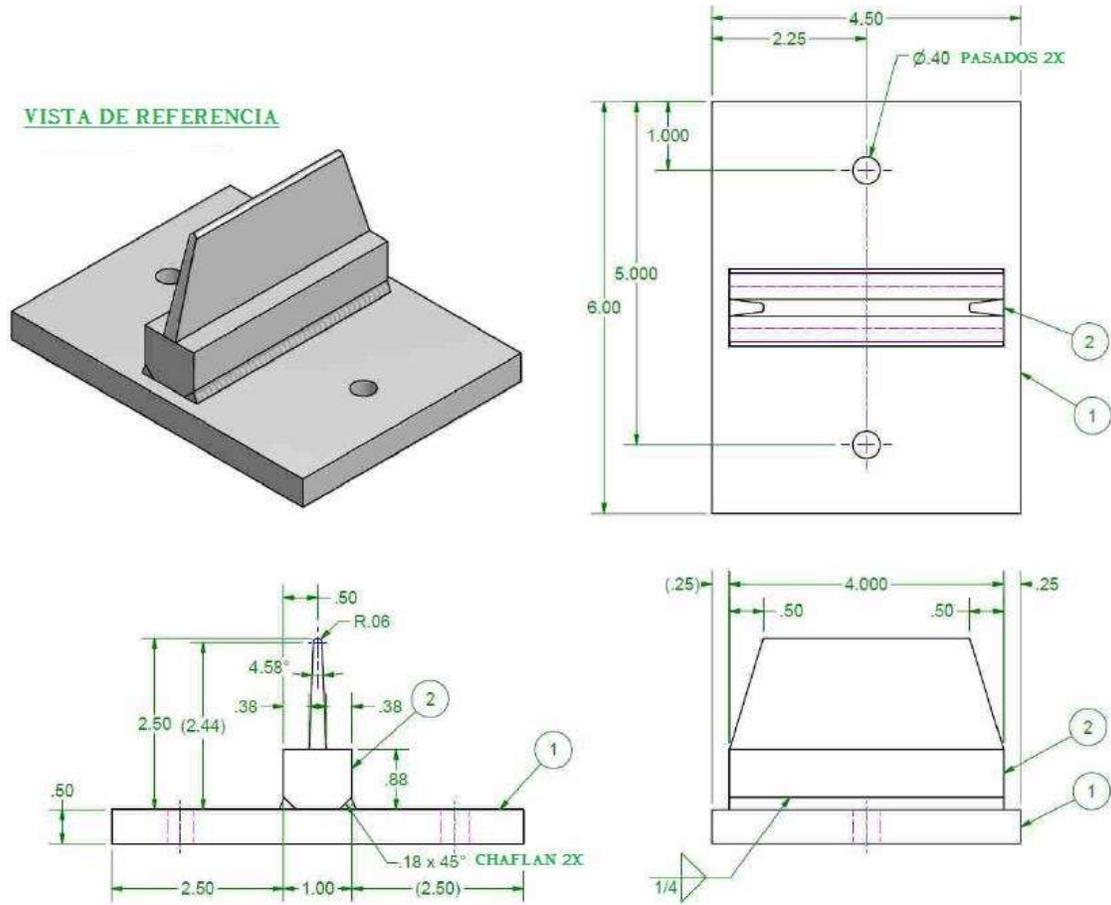


Figura 51. Medidas de dispositivo de ataque lateral/