



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA
INGENIERÍA INDUSTRIAL, INGENIERIA MECÁNICA.**

TITULO

**Diseño de Láminas Aglomeradas Como Aislante Térmico a Base
de Aserrín, Papel y Piedra Pómez**

AUTORES

Br. Wendy Elionora Duarte Lacayo
Br. Yolieth Del Socorro Matus Joaquín
Br. Ronaldo Eduardo Álvarez Medina

TUTOR

Msc. Wilmer José Ramírez Velásquez

Managua, 02 de Marzo de 2020



Diseño de Láminas Aglomeradas Como Aislante Térmico a Base de
Aserrín, Papel y Piedra Pómez



Dedicatoria

A nuestro Padre Celestial, porque su amor y bondad no tienen fin, nos permites sonreír ante todos nuestros logros que son resultado de tu ayuda, nos acompañas y siempre nos levantas de nuestros tropiezos.

A nuestros Padres, por mostrarnos el camino hacia la superación.

A nuestra Universidad, cuyas aulas son testigos de sueños que hoy vemos realizados.

A nuestros Catedráticos forjadores de una juventud noble, por sus enseñanzas y conocimientos brindados.

A nuestros asesores Msc. Wilmer Ramírez, Msc. Jhader Zúniga e Ing. William Urbina, por su valiosa colaboración en la realización del presente trabajo monográfico.

A todas las personas que nos ayudaron y apoyaron a lo largo de nuestra formación profesional.



Resumen

En el año 2016 los Br. Iván Agustín Acevedo Alemán y Br. Katherine del Carmen Guevara Vargas, estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial, presentaron un proyecto en la jornada de ciencia y tecnología sobre elaboración de láminas ecológicas aglomeradas como aislantes térmicos a base de aserrín, papel y piedra pómez. El estudio dió como resultado la posibilidad de desarrollar este tipo de láminas.

Los estudios se retomaron en nuestro proyecto monográfico utilizando diferentes variantes y proporciones de la mezcla (madera, papel y piedra pómez). Para determinar la mejor proporción y sus propiedades mecánicas térmicas respectivas.

La novedad del proyecto es la elaboración de una caja de madera cerrada y preparada especialmente para realizar los ensayos de conductividad térmica, la idea es aislar dos recamaras sin influencia del medio ambiente para observar el comportamiento de la transmisión de calor por conducción de una cara de la lámina expuesta a una fuente de calor y de la otra cara que supondría el ambiente donde deseábamos la temperatura se mantuviera estable sin incrementos significativos.

Las diferencias de temperatura que se obtuvieron fueron en algunos casos de hasta 38 grados centígrados entre ambas recamaras. Este tipo de diferencias T está en dependencia del tipo de madera y de las proporciones de mezcla de cada una de las láminas.

El estudio contempla una prueba de hipótesis (Anova) sobre el impacto de la concentración de aserrín y de piedra pómez sobre los resultados de la conductividad térmica llegando a determinar que la mezcla más idónea es la especie del Nancitón con una proporción de 20% de aserrín, 40% de piedra pómez y 40% de papel reciclado con una conductividad térmica resultante de $2.68 \text{ K (W / m } ^\circ\text{C)}$.



Diseño de Láminas Aglomeradas Como Aislante Térmico a Base de Aserrín, Papel y Piedra Pómez

En las pruebas de mezcla determinamos que a mayores concentraciones de madera por encima del 40%, las láminas no eran resistentes y al sacarlas del molde presentaban deformaciones, además luego del proceso de secado carecían de resistencia mecánica y prácticamente se destruían sólo con la manipulación.



| | |
|---|-----------|
| 2. Materiales y Equipos..... | 26 |
| 2.1. Materiales..... | 26 |
| 2.2. Equipos..... | 26 |
| 2.2.1. Instrumentos de medición..... | 30 |
| 2.2.2. Equipos de protección personal..... | 31 |
| 2.3. Diseño de caja de Ensayo..... | 31 |
| 3. Proceso productivo..... | 33 |
| 3.1. Etapas de elaboración de las láminas aglomeradas..... | 35 |
| 4. Evaluaciones físicas de las láminas aglomeradas..... | 43 |
| 4.1. Control de las dimensiones de cada placa..... | 43 |
| 4.2. Realización de la mediciones de las temperaturas..... | 44 |
| 5. Análisis de los resultados peso y densidad..... | 47 |
| 5.1. Determinación de la variación del peso y la densidad..... | 47 |
| 5.2. Ensayo de Flexión..... | 48 |
| 5.3. Calculo de esfuerzo cortante..... | 49 |
| 5.4. Determinación de la conductividad térmica..... | 51 |
| 5.4.1. Calculo de las conductividades térmicas..... | 52 |
| 5.4.2. Resumen de conductividad térmica..... | 55 |
| 6. Resultados..... | 56 |
| 6.1. Análisis de la varianza (ANOVA)..... | 58 |
| 6.1.1. Ejecutando ANOVA..... | 59 |
| 6.1.2. Método..... | 59 |
| 7. Conclusiones..... | 61 |
| 8. Recomendaciones..... | 63 |
| 9. Bibliografía..... | 64 |



1. Introducción

El cambio climático ha contribuido a la ocurrencia de fenómenos extremos que afectan no sólo al ser humano, sino también la flora y fauna, cada día la preocupación es mayor por el aumento global de la temperatura. La humanidad cada día requiere de ambientes confortables, tanto en sus actividades laborales como en sus casas de habitación.

El mayor uso de la madera se restringe al uso en cielos falsos, puertas, ventanas, interiores y en algunos casos estructuras de techo. En nuestro país los productos utilizados como aislantes térmicos, siguen siendo los tradicionales como la lana, la fibra de vidrio, las espumas entre otros, estos son la primera opción para la mayoría de los casos, sin embargo, existen otros aislantes térmicos ecológicos de poco uso, gran existencia, bajo costo y sobre todo un bajo coeficiente de conductividad térmica ().

El presente trabajo tiene como finalidad la medición de la conductividad térmica de materiales naturales y de reciclado que pueden ser utilizados como aislantes térmicos, para esto se van a diseñar láminas aglomeradas a base de aserrín, papel y piedra pómez, los dos primeros son desechos, no así el tercero que se obtiene de las minas existentes en el país. Es importante mencionar que dentro de la industria nacional no existe producción de láminas aglomeradas a partir de estos recursos.

El proyecto es innovador y sumamente amigable con el medioambiente, y de llevarse a cabo, se pretende disminuir la creciente demanda de equipos de climatización y sistemas de ventilación que implica un aumento en el consumo de energía eléctrica.

La Universidad Nacional de Ingeniería y el Programa Industrial de la Madera (PIMA), interesados en satisfacer las necesidades actuales de la sociedad, han participado de forma activa en diferentes proyectos académicos que implican el aprovechamiento de los residuos de madera que se generan durante sus procesos de fabricación de muebles.



Diseño de Láminas Aglomeradas Como Aislante Térmico a Base de Aserrín, Papel y Piedra Pómez

El objetivo de este estudio es determinar la combinación óptima entre aserrín, papel y piedra pómez, para la fabricación de láminas aglomeradas que sirvan como aislantes térmicos, utilizando diferentes proporciones de estos materiales, se realizaran ensayos de resistencia y conductividad térmica.



1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Diseñar láminas aglomeradas a base de aserrín, papel y piedra pómez para ser usadas como aislante térmico que cumpla las normas y estándares de calidad apropiadas.

1.2.2. Objetivos Específicos

1. Clasificar las materias primas e insumos a ser usados en el diseño y elaboración de las láminas.
2. Aplicar las normas de diseño industrial necesarias para el diseño de las láminas aglomeradas.
3. Realizar ensayos de resistencia y transferencia de calor que cumplan con las normas y estándares.
4. Desarrollar mecánica de materiales y transferencia de calor para comprobar los valores de conductividad térmica de las láminas aglomeradas.
5. Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales a usar y que cumplan con las normas establecidas.



1.3. Justificación

El presente trabajo plantea el aprovechamiento industrial de los residuos de madera (aserrín) que se generan en la actualidad por medio del Programa Industrial de Madera, ubicado en el Recinto Universitario Pedro Araúz Palacios, el papel desechado que se genera de las diferentes oficinas de la Universidad Nacional de Ingeniería y la piedra pómez que se obtiene de las diferentes minas existentes en el país. El proyecto se realizará en el PIMA debido a que es de mucho interés para la Universidad dar solución a la cantidad de desechos de madera que se producen mensualmente.

La importancia para la Universidad de realizar este estudio radica en que les permitirá dar solución a varios aspectos, entre ellos:

- a. **Seguridad:** observamos grandes cantidades de desechos producto del proceso de la madera en sus etapas de cepillado y lijado esto puede generar acumulación de aserrín en ciertas áreas del PIMA y por ser un material inflamable producir un incendio además de provocar polvo.
- b. **Orden:** los residuos son lanzados a granel en un predio abierto dando lugar a que también se llegue a depositar basura generada en el RUPAP, dando sensación de un basurero.
- c. **Limpieza:** de industrializarse la producción láminas aglomeradas se reduciría la existencia de los desperdicios de madera y se pueden generar fuentes de empleos y más recursos económicos al Programa Industrial de Madera.

El beneficio que tiene la madera aglomerada es que es más barata, y la utilización de estos materiales desechables permitirá la elaboración de paneles aislantes que ayudará a mejorar la calidad de vida de las personas, ahorro de energía, ahorro de divisas por compra externa de materiales aislantes convencionales y una alternativa de bajo costo al consumidor que podrían utilizar este tipo de láminas.



1.4. Marco Teórico.

) Madera.

La madera es un elemento estructural, orgánico, no homogéneo, de origen natural y renovable. Se dividen, según su origen, en latifoliadas y coníferas¹. Puede ser duro, semiduro y suave, lo que hace que tenga diferentes propiedades físicas, químicas y mecánicas.

La madera ha sido utilizada para usos muy diversos, el más antiguo es el de utilizarla como combustible, a la fecha ya existen más de 10,000 productos de uso cotidiano derivados de ella.

) Propiedades Básicas de la Madera

La madera se caracteriza por ser un material:

- ✓ Biológico, ya que está compuesto principalmente por moléculas de celulosa y lignina. La madera, puede ser biodegradada por hongos e insectos taladradores, lo que obliga a tener una serie de consideraciones de orden técnico que garantice su durabilidad en el tiempo.
- ✓ Anisotrópico, porque sus propiedades físicas y mecánicas varían según la dirección que se considere. Se establecen tres planos o direcciones principales: Longitudinal, Radial y Tangencial.
- ✓ Higroscópica, ya que tienen la capacidad de absorber o perder agua según las condiciones del ambiente. Esto provoca cambios en las dimensiones y deformaciones en la madera.

La propiedad física más relevante para la elaboración del presente estudio, es la conductividad térmica.

) Aserrín.

Es el producto generado por el aserrado o cortado de la madera, cuyo tamaño de partícula lo hace ver como polvo, no obstante, su tamaño es mayor que el generado por el lijado de la madera y menor que el tamaño de las virutas obtenidas por el cepillado, estas virutas son en forma de láminas discontinuas y delgadas que para convertirlas en aserrín deben ser trituradas².



Los residuos forestales son una fuente importante de biomasa que actualmente es poco explotada en nuestro país.

Se considera que, de cada árbol extraído para la producción de madera, solo se aprovecha comercialmente un porcentaje cercano al 20%, el 40% aproximadamente queda en ramas y raíces y el otro 40% en el proceso de aserradero en forma de astillas, corteza y aserrín.

) **Papel**

Material que se presenta como una lámina fina hecha con pasta de fibras vegetales u otros materiales molidos y mezclados con agua, secado y endurecidos que puede tener diversos usos como: para escribir, para dibujar etcétera. El papel fue desarrollado por los chinos a base de residuos de seda, la paja de arroz o cáñamo y el algodón durante el siglo II. En la actualidad existe una infinidad de tipos de papel, se diferencian por su durabilidad, estabilidad y resiliencia.

Es interesante, de igual modo, tener claro que, a la hora de clasificar cualquier tipo de papel, se tendrá en cuenta otra serie de criterios tales como su rigidez, la resistencia a la presión, el peso, grado de blancura y su porosidad³.

) **Piedra Pómez.**

Es un producto de origen volcánico de diferentes formas, casi siempre alargadas o angulosas, sus componentes se unen durante el enfriamiento del magma de alta viscosidad. Suele ser de color blanco y es resistente al frío, a la intemperie y está libre de sales solubles en agua. Aunque es de dureza media debido a su alta friabilidad el poder abrasivo es muy bajo. Se caracteriza por tener poros cerrados que le confieren baja densidad, tiene alto contenido de sílice, baja en hierro y magnesio. Es utilizada en diferentes industrias tales como:

- ✓ Procesos de filtraje: Se utiliza en la fabricación de filtros para acuarios, para mover olores indeseables o para absorber productos químicos en el área petrolífera.



- ✓ Polvo para cosméticos: Es un ingrediente de los principales cosméticos y productos de limpieza facial y corporal, ya que sirve como exfoliante de impurezas de la piel.
- ✓ En agricultura, horticultura, industria cerámica, para limpieza, lavado de prendas y en la construcción, en este apartado su importancia radica en que le da más resistencia a la construcción, es excelente agregado para colados y mezclas.

Nicaragua está situada en una zona volcánica, debido a esto cuenta con minas de Piedras Pómez, las cuales no están siendo explotadas, una de su mina principal ubicada en Masaya, y que ocupan una extensión de 1,120 manzanas de tierras, existen más de seis minas en este territorio⁴.

) **Aglutinante.**

Son sustancias que por medio de reacciones químicas, en presencia de aire y agua o físicas tienen la capacidad de unir fragmentos de uno o más materiales, para constituir un producto o subproducto compacto de utilidad en el campo de la construcción⁵.

Destacan porque al combinarse con otros materiales generan sustancias que tienen la cualidad de ser moldeadas, de adherirse fácilmente a otros materiales o unirse entre sí, pero sobre todo porque alcanzan resistencias mecánicas considerables.

) **Aislantes Térmicos Ecológicos.**

Es un producto utilizado para reducir la transferencia de calor a través de un sistema sobre la que se instala⁶. Los aislantes térmicos ecológicos son una muy buena opción para optar por una instalación de aislamiento térmico para tu vivienda ya sea para pared o techo. La solución más usada es el aislante térmico para fachada.

Beneficios del aislante térmico ecológico:

- a) Son duraderos, reciclables y biodegradables.
- b) Poco costosa su fabricación desde el punto de vista energético.
- c) Tienen gran capacidad de aislamiento térmico. Es decir, son malos transmisores de calor, en otra palabra su conductividad térmica es muy baja.
- d) Son de alta densidad, lo que los vuelve también aislantes acústicos.



- e) Permiten que la casa o edificio transpiren provocando estancas a las corrientes de aire, son capaces de guardar la frescura durante varias horas.
- f) Vida útil prolongada, se puede considerar eterna.
- g) Absorben la humedad, dando mayor confort.
- h) Son más sanos, no contaminan el ambiente por ser no tóxicos, ni poseer sustancias peligrosas para la salud de las personas.

) **Tipos de Aislantes⁷.**

Corcho: Es totalmente renovable y reciclable. Como aislamiento se comercializa en planchas aglomeradas realizadas a través de presión y calor sin utilizar ningún tipo de cola. Existe en forma de virutas, granulado o triturado para rellenar cavidades e incluso proyectados sobre fachadas y cubiertas, suelos y paredes.

Su Coeficiente $\lambda = 0.041 \text{ W/m}^\circ\text{K}$.

Energía incorporada 837 wh/k .

Cáñamo: Esta fibra natural de fácil siembra y rápido crecimiento, al no tener nutrientes en su tallo, no necesita ser fumigada ni el uso de abonos químicos. Posee excelentes propiedades de aislamiento tanto acústicas como térmicas. Se comercializa en forma de mantas realizadas con la fibra.

Su Coeficiente $\lambda = 0.0 \text{ W/m}^\circ\text{K}$

Energía incorporada 2 w /k .

Lino: Es de cultivo fácil y ofrece una buena resistencia mecánica sin tratamientos adicionales. Dispone de buenas características acústicas y térmicas, no obstante, no es recomendable su utilización en ambientes húmedos.

Su Coeficiente $\lambda = 0.0 \text{ W/m}^\circ\text{K}$.

Energía incorporada 2 w /k .

Tableros de Fibra de Madera: Los tableros de fibras de madera están fabricados mediante un proceso húmedo y se suelen aprovechar residuos del



procesamiento de madera. Se pueden colocar en paredes, tabiques, techos y forjados.

La estructura porosa de sus fibras favorece la difusión de vapor, lo que confiere buenas características aislantes.

Existen diferentes tipos de paneles de madera. Cuando se combinan con otros materiales mejoran su eficiencia, pero resultan menos ecológicos. (Yeso o Cemento blanco).

Su Coeficiente $\lambda = 0.0 \text{ W/m}^\circ\text{K}$

Energía incorporada 9 w /k

Paneles Ligeros de Pequeñas Fibras

Su Coeficiente $k = 0.0 \text{ w/m}$

Energía incorporada 4 w /k

Celulosa: Se trata de residuos de papel (básicamente de periódico). Este papel es molido y tratado con sales de bórax que le proporcionan propiedades ignífugas, insecticida y anti-fungicidas. Otra opción es prensarlas para formar mantas aislantes con las que recubrir esos mismos huecos obteniéndose así un elevado grado de aislamiento tanto térmico como acústico. Requiere poca energía para fabricarlo y el producto final es ligero.

Su Coeficiente $\lambda = 0.0 \text{ W/m}^\circ\text{K}$

Energía incorporada 2 w /k

) Cribado.

Conocido también como tamizado es un método mecánico para separar dos sólidos formados por partículas de tamaños diferentes. Consiste en pasar una mezcla de partículas de diferentes tamaños por un tamiz, criba o herramienta de colador (en función del uso podrán ser metálicos, vegetales –tejidos- o de nailon). Las partículas de menor tamaño atraviesan el filtro por los poros, y las de mayor tamaño quedan retenidas. Un ejemplo de tamizado es el realizado con un cedazo utilizado para la determinación de curvas granulométricas en varios metales⁸.



) **Conductividad Térmica⁹.**

Es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. En otras palabras, la conductividad térmica es también la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras adyacentes o a sustancias con las que está en contacto. En el Sistema Internacional de Unidades la conductividad térmica se mide en:

$$W/m \times K \text{ Equivalente a } J/m \cdot s \cdot K \text{ y en unidades básicas a } K \cdot m / K \cdot s^3$$

La conductividad térmica es una magnitud intensiva. Su magnitud inversa es la resistividad térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor. Para un material isótropo la conductividad térmica es un escalar (k en Estados Unidos) definido como:

Fórmula 1

$$k = \frac{\dot{q}}{|\nabla T|}$$

Dónde:

\dot{q} : E e f d c (p u d t y u d a)

∇T : E e g d t e

Una conductividad térmica de 1 vatio por metro y kelvin indica que una cantidad de calor de un Julio (J) se propaga a través de un material por conducción térmica de esta manera:

- a) En 1 segundo.
- b) Por una superficie de 1 m²
- c) Por un grosor de 1 m.
- d) Cuando la diferencia de temperatura entre las dos caras es de 1 K.

Cuanto mayor sea su conductividad térmica, un material será mejor conductor del calor. Cuanto menor sea, el material será más aislante.



) **Coefficiente de Conductividad Térmica¹⁰.**

Se define como $\lambda = W/m^{\circ}K$ (W p m y g K), es el parámetro que identifica la capacidad de un material como transmisor del calor, calificándolo como aislante (conductividad muy baja) o conductor (conductividad alta). En los aislantes típicos, como el aire o el corcho, este coeficiente se mueve en los valores comprendidos entre los 0.02 y los 0.05 $W/m^{\circ}K$. Por el contrario, metales como el hierro o la plata, que son buenos conductores del calor, tienen coeficientes de conductividad térmica comprendidos entre los 80 y 400 $W/m^{\circ}K$.

) **Métodos de Conductividad Térmica¹¹.**

Existen 3 métodos de transmisión de calor en la naturaleza: conducción, convección y radiación.

La conducción: Es la transferencia de energía debido a las interacciones entre las partículas en el interior de un material. La transferencia de calor por conducción está directamente relacionada con los gradientes de temperatura dentro del cuerpo y está gobernada por la ley de Fourier de conducción de calor. Ocurre cuando el calor se transmite de un cuerpo a otro con diferente temperatura a través del mero contacto, sin que ocurra desplazamiento de materia.

La convección: Es la transferencia de energía entre la superficie de un sólido y un líquido o un gas debido al movimiento del fluido. Se produce a través del movimiento de partículas de la sustancia que transmite el calor, por lo que deberá tratarse siempre de un fluido (líquido o gas) ya sea por movimiento natural o forzado.

La radiación: Es la transferencia de energía mediante radiación electromagnética. La energía transferida por radiación puede emitirse desde una superficie o desde el interior de fluidos transparentes y sólidos. La radiación es el único mecanismo de transferencia de calor que puede producirse en el vacío. Ocurre cuando el calor se transmite entre dos sólidos de distinta temperatura sin que exista entre ellos ningún punto de contacto ni un sólido conductor. El calor se transmite en emisión de ondas electromagnéticas a velocidad de la luz.



) **Densidad¹².**

Es la medida del grado de compactación de un material. La densidad es una medida de cuanto material se encuentra comprimido en un espacio determinado; es decir, la cantidad de masa existente por unidad de volumen.

Usualmente se simboliza mediante la “rho” (ρ). La densidad media es la relación entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa en el espacio exterior.

Fórmula 2

$$\rho = m/v$$

La unidad es kg/m^3 en el SI (Sistema Internacional)

) **Tipos De Densidad¹³.**

) **Densidad Absoluta.**

Es la magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de una sustancia o un objeto sólido. Su unidad en el Sistema Internacional es kilogramo por metro cúbico (kg/m^3), aunque frecuentemente también es expresada en g/cm^3 . La densidad es una magnitud intensiva.

$$\rho = m/v$$

Siendo ρ la densidad, m la masa y V el volumen de la sustancia.

) **Densidad Relativa.**

La densidad relativa de una sustancia es la relación existente entre su densidad y la de otra sustancia de referencia; en consecuencia, es una magnitud adimensional.

Fórmula 3

$$\rho_r = \rho/\rho_0$$

Dónde:

ρ_r : Es la densidad relativa .

ρ : Es la densidad de la sustancia .

ρ_0 : Es la densidad absoluta .

Para los líquidos y los sólidos, la densidad de referencia habitual es la del agua líquida a la presión de 1 atm y la temperatura de 4 °C. En esas condiciones, la densidad absoluta del agua destilada es de:



$$1000 \text{ kg} / \text{m}^3 \text{ es decir, } 1 \text{ kg} / \text{dm}^3 .$$

Para los gases, la densidad de referencia habitual es la del aire a la presión de 1 atm y la temperatura de 0 °C.

) **Densidad Media.**

Para un sistema homogéneo, la expresión masa/volumen puede aplicarse en cualquier región del sistema obteniendo siempre el mismo resultado. Sin embargo, un sistema heterogéneo no presenta la misma densidad en partes diferentes. En este caso, hay que medir la densidad media, dividiendo la masa del objeto por su volumen o la "densidad puntual" que será distinta en cada punto, posición o porción "infinitesimal" del sistema, y que vendrá definida por:

Fórmula 4

$$\rho = \lim_{v \rightarrow 0} \frac{m}{v} = \frac{d}{d}$$

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que las hipótesis de la mecánica de medios continuos sólo son válidas hasta escalas de 10^{-8}m , ya que a escalas atómicas la densidad no está bien definida.

) **Densidad Aparente.**

La densidad aparente es una magnitud aplicada en materiales de constitución heterogénea, y entre ellos los porosos como el suelo, los cuales forman cuerpos heterogéneos con intersticios de aire u otra sustancia, de forma que la densidad total de un volumen del material es menor que la densidad del material poroso si se compactase. En el caso de un material mezclado con aire se tiene:

Fórmula 5

$$\rho_a = \frac{m_a}{V_a} = \frac{m_r + m_a}{V_r + V_a}$$



La densidad aparente de un material no es una propiedad intrínseca del material y depende de su compactación.

La densidad aparente del suelo (p_a) se obtiene secando una muestra del suelo de un volumen conocido a 105 °C hasta peso constante.

Fórmula 5

$$p_a = W_s / V_s$$

Dónde:

W_s : Peso del suelo secado a 105 °C hasta peso constante

V_s : Volumen original de la muestra de suelo

) **Densidad de la Madera¹⁴.**

La densidad de la madera es uno de los parámetros de mayor utilización en la cuantificación de las plantaciones y la caracterización de las propiedades de la madera. Al ser la madera un material poroso debemos considerar una densidad real y una densidad aparente para la misma pieza de madera.

La densidad real equivale a la densidad de la materia leñosa de la pared celular, cuando se descuentan en la valoración del volumen, todos los espacios huecos. El valor de la misma es constante (de aproximadamente 1.53 – 1.56 gr/cm³) para todas las especies.

La densidad aparente (D_a) toma en consideración el volumen y la masa de la madera considerando los espacios porosos. Es un valor variable que depende no solo de la estructura de la madera, sino también del contenido de humedad de la muestra, el cual influye sobre el peso y volumen.

Existen cuatro maneras principales de definirla: densidad aparente anhidra, densidad aparente normal, densidad aparente verde y densidad relativa básica.



) Densidades aparentes¹⁵

La densidad aparente se expresa como el cociente entre la masa y el volumen obtenidos ambos al mismo contenido de humedad. Varía entre 0.1 a 0.30 gr/cm³ para las maderas livianas hasta 1.2 a 1.4 gr/cm³ para las más pesadas.

- a. Densidad anhidra (D_a): Es la densidad basada en el peso y el volumen de la madera que se ha secado al horno.
- b. Densidad normal (D_n): Es la densidad basada en el peso de la madera seca al horno y en su volumen en estado verde.
- c. Densidad verde (D_v): Es la densidad basada en el peso y el volumen de la madera verde.
- d. Densidad seca del Aire (D_{sa}): Es la densidad basada en el peso y el volumen de la madera en equilibrio con las condiciones atmosféricas de la localidad.

En la siguiente tabla tenemos los valores de densidades de madera de nuestro diseño:

Tabla 1. Densidades de la Madera¹⁶

| Madera | D_b (gr/cm ³) | D_{sa} (gr/cm ³) | D_a (gr/cm ³) | D_v (gr/cm ³) |
|----------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Nancitón | 0.61 | 0.74 | 0.71 | 0.94 |
| Níspero | 0.89 | 1.05 | 1.04 | 1.33 |
| Pino Caribe | 0.439 | 0.518 | 0.483 | 0.916 |
| Pino Ocote | 0.495 | 0.587 | 0.548 | 1.101 |
| Pino Llorón | 0.432 | 0.503 | 0.472 | 0.743 |
| Pino Tecunuman | 0.570 | 0.680 | 0.650 | 0.910 |
| Teca | (0.54-0.63) | | | |

) Análisis de la Varianza¹⁷.

En estadística, el análisis de la varianza ANOVA por sus siglas en inglés, (Analysis of Variance), se refiere en general a un conjunto de situaciones experimentales y procedimientos estadísticos para el análisis de respuestas cuantitativas de unidades experimentales. El problema más sencillo de ANOVA se conoce como el análisis de varianza de un solo factor o diseño completamente al azar, este se utiliza para



comparar dos o más tratamientos, dado que se consideran dos fuentes de variabilidad, los tratamientos y el error aleatorio.

Un análisis de varianza ANOVA prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente.

) **Ventajas y desventajas al utilizar un diseño completamente aleatorizado.**

) **Ventajas.**

- a. Permite gran flexibilidad, es decir puede usarse cualquier número de tratamientos y repeticiones, además se puede variar el número de repeticiones de un tratamiento a otro.
- b. El análisis estadístico es sencillo, aún si el número de repeticiones no es el mismo para cada tratamiento.
- c. El análisis estadístico es fácil aun cuando los datos de algunas de las unidades experimentales o algunos tratamientos completos se hayan perdido o se rechacen por alguna causa.
- d. Es el diseño que se basa en más grados de libertad para la estimación de los cuadrados medios.

) **Desventajas**

Para utilizar este diseño se necesitan unidades experimentales muy homogéneas, porque de otra manera la variación entre ellas pasa a formar parte del error experimental.

) **Histograma¹⁸**

En estadística, un histograma es una representación gráfica de datos agrupados mediante intervalos, muestra el número de veces que se repiten cada uno de los resultados, cuando se realizan mediciones sucesivas. Esto permite ver alrededor de que valor se agrupan las mediciones, tendencia central y cuál es la dispersión alrededor de ese valor central.



Permite visualizar rápidamente, información que es difícil de ver en la tabla original de datos.

) Valor P¹⁹

En estadística y contraste de hipótesis, el valor p (conocido como p-value por sus siglas en inglés) se define como la probabilidad de que un valor estadístico calculado sea posible dada una hipótesis nula cierta. En términos simples el valor p ayuda a diferenciar resultados que son producto del azar de muestreo, de resultados que son estadísticamente significativos.

Al proporcionar el p-value, la decisión se hará de acuerdo a la regla siguiente:

$$\begin{array}{ll} \text{Si } p_v \leq \alpha, \bar{\alpha} & H_1 \\ \text{Si } p_v > \alpha, \bar{\alpha} & H_0 \end{array}$$

Como el p-value es un valor de probabilidad, por tanto oscila entre 0 y 1. Se suele decir que valores altos de p-value no permiten rechazar la H_0 , mientras que valores bajos de p-value si permiten rechazar la H_0 .

En una prueba estadística, se rechaza la hipótesis nula si el valor p asociado al resultado observado es igual o menor que un nivel de significancia de 5% o 1%.



1.5. Hipótesis de Investigación

1.5.1. Hipótesis Nula

-) A mayor conductividad térmica menor cantidad de piedra pómez.
-) A mayor conductividad térmica menor cantidad de madera.

1.5.2. Hipótesis Alternativa

-) A mayor conductividad térmica mayor cantidad de piedra pómez.
-) A mayor conductividad térmica mayor cantidad de madera.



1.6. Diseño metodológico

Para desarrollar nuestro diseño estadístico la pregunta más importante a responder es si la utilización de planchas a base de aserrín, piedra pómez y papel reciclado pueden ser utilizadas como material aislante en paredes.

1.6.1. Tipo De Estudio.

El enfoque de este trabajo es de carácter cuantitativo ya que implica el uso de herramientas estadísticas (Minitab) que permitirá probar la hipótesis planteada (A mayor conductividad térmica mayor cantidad de piedra pómez). Según su tipología es exploratoria, descriptiva y experimental.

Nuestro estudio se basa en un modelo experimental, debido a que las láminas que se realizaran, serán elaboradas con diferentes proporciones de aserrín, papel y piedra pómez para luego ser sometidas a pruebas de conductividad térmica y esfuerzo cortante. El diseño experimental es una técnica muy usada en estadística que permite cuantificar e identificar la relación causa y efecto dentro de una o más variables, precisamente este tipo de estudio permite la manipulación de las variables según nuestro interés. Es por esto que pudimos obtener un mayor control de las posibles alteraciones en los resultados, y la otra ventaja es que obtenemos una respuesta más rápida y económica a una pregunta o hipótesis de investigación que un estudio observacional.

1.6.2. Universo

Las láminas compactadas y secadas de aserrín, piedra pómez y papel reciclado de tres muestras por especie de madera en proporciones de mezclas diferentes. Estas proporciones de mezclas fueron escogidas debido a que en el proyecto “Elaboración de lámina ecológica aglomerada para aislante térmico a base de aserrín, papel y piedra pómez” se observó que las concentraciones menores de madera esto es menos del 20% tenían un efecto de baja conductividad térmica que ronda los 0.0655 Kcal/h.m °C.



1.6.3. Población

Las maderas utilizadas en el PIMA, en su mayoría son: Caoba, Cedro, Pochote, Guayabón, Pino, Teca y Nancitón, para nuestro estudio utilizamos el Teca, Pino y Nancitón ya que son las especies de madera disponibles en el momento de la fabricación de las planchas de ensayo.

1.6.4. Ubicación del Área de Estudio.

Este proyecto se llevó a cabo en las instalaciones del Programa Industrial de Madera (PIMA), ubicado en el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios de la Universidad Nacional de Ingeniería.

1.6.5. Diseño del Muestreo.

El diseño experimental utilizado para el presente estudio, se desarrolló basado en los porcentajes de materiales utilizados en un proyecto de investigación previo, realizado en el Programa Industrial de la Madera, Nicaragua en el año 2016, que abordaba acerca de la Elaboración de lámina ecológica aglomerada para aislante térmico a base de aserrín, papel reciclado y piedra pómez .

En este estudio se definen las acciones que permiten alcanzar el objetivo principal del proyecto que es el diseño de láminas aglomeradas como aislante térmico a base de aserrín, papel y piedra pómez.

Se realizarán los ensayos de las láminas con diferentes mezclas y porciones, con el propósito de recolectar información y datos necesarios sobre el tema y problema a resolver, para esto una vez obtenidas las láminas se les realizará pruebas de conductividad térmica y esfuerzo cortante, para comprobar el funcionamiento de estas como sustituto de materiales aislantes tradicionales.

Únicamente se seleccionarán los materiales más óptimos que cumplan con los parámetros de funcionalidad del producto, para ello estableceremos algunos parámetros de control de calidad que garanticen las propiedades físicas y mecánicas del producto y así obtener resultados confiables que permitan cumplir con los objetivos del estudio.



La metodología utilizada para la elaboración de las láminas aglomeradas constará de diferentes etapas que implican desde la selección de las materias primas hasta obtener las conclusiones del producto final.

Las materias primas a utilizarse son: el aserrín, papel y piedra pómez.

Para este estudio el aserrín será recolectado de acuerdo a las especies maderables que se utiliza en el Programa Institucional de Madera PIMA (Pino, Nancitón, Teca, Cedro y Caoba) y de acuerdo al tipo de grano. Es necesario mencionar que se utilizaran a conveniencia únicamente las especies (Pino, Nancitón y Teca) por ser las únicas existentes al momento de realizar el estudio. Se utilizarán mallas metálicas de 2 mm de espesor para tamizar el grano y de esta manera garantizar la condición óptima de la elaboración de las muestras.

La piedra pómez utilizada será adquirida en Hidrapoma Masaya, que es una compañía que brinda todos los servicios de materiales pómez para la construcción, jardines, entre otros.

Se utilizará papel reciclado y periódico que será recolectado de los basureros de las oficinas administrativas de la Universidad Nacional de Ingeniería, en promedio se generan 3.5 tonelada por año.

Se describirán los pasos que se tomaron en cuenta durante la evaluación de los parámetros físicos y químicos de las láminas obtenidas de la prensa hidráulica de 5 ton. facilitada por el PIMA.

A continuación, se presenta un diagrama de las etapas a considerarse en el diseño de láminas aglomeradas:

Fig. 1. Diagrama Metodológico de Trabajo





1.6.5.1. Descripción de las Etapas de Diseño de Láminas Aglomeradas.

El desarrollo de este trabajo se divide en 4 etapas. En la primera se realiza la revisión bibliográfica con otros estudios relacionados al tema, con el propósito de demostrar lo que se conoce por medio de estudios anteriores, pero enmarcándonos en la importancia de nuestro estudio y su posible impacto. En la segunda etapa se definen los criterios teóricos del problema a investigar. La tercera etapa recopilaremos y manipularemos diferentes datos que nos permitirán obtener información significativa para la toma de decisiones en el diseño de las láminas aglomeradas a base de aserrín, piedra pómez y papel. Para recabar toda la información necesaria vamos a dividir esta etapa en sub etapas que contemplan la selección de las materias primas, el proceso productivo y la determinación experimental. El proceso inicia con la selección de las materias primas, donde se consideran ciertos aspectos como la abundancia de estos materiales en el país, capacidad de aglutinamiento, conductividad térmica, dureza, elasticidad, resistencia, entre otros.

Una vez seleccionadas las materias primas, se inicia el proceso productivo en donde se definirá la relación óptima de componentes (aserrín, piedra pómez y papel) para realizar la mezcla de los materiales, que serán comprimidos para obtener las láminas aglomeradas que serán sometidas al proceso de secado para posteriormente realizar las pruebas de transferencia de calor y cumplir con el propósito del diseño del producto. Y finalmente realizaremos una comparación de resultados por medio de un análisis de varianza con los valores obtenidos de las pruebas de conductividad térmica, para posteriormente concluir la cuarta etapa del estudio al realizar las conclusiones y recomendaciones.

1.6.5.2. Tamaños de Muestras.

Se utilizaron tres especies de madera (Teca, Pino y Nancitón) que eran las especies disponibles en el PIMA al momento de elaborar las planchas.

Se realizaron tres tipos de mezclas por cada especie escogida, esto nos dio un total de nueve muestras. El tamaño de la muestra se realizó en base al proyecto “Elaboración de lámina ecológica aglomerada para aislante térmico a base de aserrín, papel y piedra



pómez” en base a sus resultados se observó que a menor concentración de madera más bajo es la conductividad térmica.

1.6.5.3. Tipo de Muestreo.

El muestreo se realizó por conveniencia, que es una técnica de muestreo no probabilístico y no aleatorio las cuales se utilizan para pruebas rápidas, económicas, fáciles y sobre todo las muestras están disponibles. Para nuestro ensayo las muestras de las láminas se fabricaron específicamente para hacer las mediciones de conductividad térmica y esfuerzo de corte.

1.6.5.4. Criterios de Inclusión.

- a. Especies de maderas que se trabajan en el PIMA (Caoba, Pochote, Cedro, Pino, Nancitón, Teca y Guayabón).
- b. Desechos de madera producidos por los equipos de PIMA por la disponibilidad de los mismos fueron desechos de las especies de madera Pino, Teca y Nancitón.
- c. Papel de desecho de oficinas de UNI-RUPAP. Se utilizaron 50 libras de papel recogidas en los diferentes departamentos de la Universidad Nacional de Ingeniería.
- d. Piedra pómez triturada de granulometría entre 2 y 3mm.

1.6.5.5. Criterios de Exclusión.

- a. Demás especies de madera que no se trabajan en el PIMA
- b. Piedra Pómez en tamaños de partículas mayores a 3mm.
- c. Cartón.

1.7. Variables

1.7.1. Variables Independientes

- a. Especies de Madera
- a. Papel Reciclado
- b. Piedra Pómez



1.7.2. Variables Dependientes

- a. Conductividad Térmica
- a. Esfuerzo Cortante
- b. Densidad en Seco

1.8. Posibles Sesgos

- a. **Ambiente no adecuado:** Debido a que no fue realizado en un ambiente controlado como por ejemplo un laboratorio donde no existe polvo, viento y se cuenta con una temperatura ambiente constante (20°C) sino que las mediciones se hicieron propiamente en el área de los talleres del PIMA.
- b. **Lámpara relativamente nueva:** Al ser una lámpara incandescente que trabaja por resistencia eléctrica en las mediciones realizadas la degradación del bulbo es casi cero, de tal manera que a medida que se realicen más pruebas y con la degradación de la resistencia de la lámpara las lecturas de temperatura pueden variar.

1.9. Fuente de Información.

Las bases para el desarrollo de la experimentación realizada en este estudio, tiene sustento en información recopilada de diversas investigaciones similares previas realizadas por la Universidad Nacional de Ingeniería a través del Programa Industrial de Madera, así como de proyectos realizados a nivel mundial que tomaron como materias primas a materiales similares a los empleados en este trabajo, para la elaboración de aglomerados.

Se realizarán ensayos experimentales de diferentes mezclas con variantes en peso, especie maderable, tamaño del grano y rendimiento en aislamiento, esto nos permitirá desarrollar la investigación y generar los resultados.

1.9.1. Procesamiento de la Información.

Luego que la información sea recopilada, debe de ordenarse y registrarse en un registro electrónico que permita la tabulación, el cruzamiento y comparación de variables que sean de relevancia para el análisis; se elaborarán tablas y gráficos en los



que resuman los datos recabados, para poder visualizar rápidamente la atmósfera en el estudio y generar conclusiones al respecto.

Además se calcularán variables y funciones estadísticas que ayudan en el análisis de los resultados. Para este proceso se utilizará el software Minitab 18 y Microsoft Excel para realizar una evaluación estadística descriptiva y cruces de variables.

1.9.2. Análisis de los Resultados.

El análisis de los resultados se realiza con base en el procedimiento de la información recopilada, se trabaja un análisis estadístico por medio del estudio de varianza.



2. Materiales y Equipos.

2.1. Materiales.

Los materiales empleados para la elaboración de las láminas fueron seleccionados por su abundante existencia y bajo costo. Actualmente el Programa Industrial de la Madera (PIMA), procesa diferentes tipos de madera (Cedro, Caoba, Pino, Nancitón, Teca) esto genera gran cantidad de virutas y aserrín, que tienen como destino final el desecho a los basureros, inicialmente en los patios del recinto como se muestra en la fig. 2, y posteriormente es trasladada en contenedores al basurero municipal. En el caso del papel, la universidad por sus características de servicios académicos puede generar en promedio 3.5 ton de papel en el año²⁰, finalmente la piedra pómez, existen minas ubicadas en la faja del pacifico del país, que no han sido explotadas en escala industrial, por lo que se tiene material para un buen tiempo.

Fig. 2 Depósito de aserrín



2.2. Equipos.

Los medios y equipos utilizados durante las diferentes fases de desarrollo del presente estudio fueron algunos facilitados por el PIMA y otros financiados con fondos propios y se describen a continuación:

-) **Tamiz o criba:** Se utilizó un tamiz metálico número 10 de malla (fig.3) con el propósito de obtener uniformidad en el tamaño de las partículas de aserrín, esta operación se realizó de forma manual.



Fig. 3 Tamiz



-) **Trituradora de papel:** Se utilizó una trituradora de oficina marca HSM modelo 386.1 de 110V de molino rotativo.

Fig. 4 Trituradora de Papel.



-) **Trituradora Manual de Inmersión:** Se utilizó una Trituradora manual de 600 W de 1 cuchilla con cuatro filos, dos en el eje vertical y dos en el eje horizontal para facilitar la destrucción del papel triturado y que la consistencia fuese lo más pastoso posible (fig.5).



Fig. 5 Trituradora manual de inmersión



) **Prensa Hidráulica:** Facilitada por el PIMA, elaborada para ensayos de compactación de Briquetas, únicamente fue reforzada con platina de 36mm para dar mayor soporte al mecanismo hidráulico de 5 toneladas, soportado en un bastidor metálico construido de tubos cuadrados de 2 pulgadas (fig. 6). Este igual que el molde ya estaba porque fue usado en la elaboración de briquetas. La compresión de las láminas fue realizada de forma manual al momento de la compactación.

Fig. 6 Prensa Hidráulica





Diseño de Láminas Aglomeradas Como Aislante Térmico a Base de Aserrín, Papel y Piedra Pómez

-) **Molde:** Se utilizó un molde cuadrado metálico de 320mm x 320mm, facilitado por el PIMA, para ensayos experimentales de compactación de residuos (fig. 7).

Fig.6 Molde metálico



-) **Balanza:** Se utilizó para pesar las materias primas en sus diferentes proporciones (aserrín, piedra pómez y papel escurrido). Esta fue facilitada por el PIMA (fig. 8).

Fig.8 Molde metálico



-) **Otros elementos utilizados fueron:** Palas, carretillas, baldes, cucharas.



2.1.2. Instrumentos de medición

Los instrumentos de medición para recolectar los datos a considerar fueron los siguientes (fig. 9):

-) Flexómetro
-) Pie de rey, de 300 milímetros con nivel de precisión de 0.05 milímetro.
-) Balanza digital: Utilizada para pesos que no superan las 10 libras, teniendo un margen de error del 5% por cada onza de peso.
-) Pirómetro: Instrumento utilizado de manejo fácil, seguro y preciso, con él se puede medir amplios rangos de temperatura a distancias seguras del objeto que se mide. Por lo general existen categorías de uso comercial y profesional. En este caso el utilizado es de la marca 3M modelo IR-999, infrarrojo. Posee rangos de temperatura de -25 °F (32 °C) hasta 999 °F (535 °C). La medición se realiza a través de un punto láser apuntando hacia el objeto que mide, la distancia de la medición es de aproximadamente 8 pulgadas (200 milímetros).
-) Masas Patrones. Son Masas de metal de forma hexagonal que tienen una marca de la masa que contienen para una buena aplicación deben ser más exactas que la exactitud del pesaje y deben ser más exactas que la precisión requerida en los resultados de la medición.

Fig. 9 Instrumentos de medición





2.2.2. Equipos de Protección Personal.

Por el tipo de materiales manipulados, los equipos de protección personal utilizados fueron: Guantes, gafas y mascarillas (fig. 10).

Fig. 10 Equipos de protección



2.3. Diseño de Caja de Ensayo

Se identificó la necesidad de construir una caja cerrada de ensayo de forma rectangular con el objetivo de aislar la parte interna del medio ambiente, las medidas de la caja se diseñaron para que permitiera tener dos recamaras R1 y R2 y que sus caras internas tuvieran la misma temperatura, en una de las recamaras se colocará la fuente de calor que dará a una de las caras de las láminas y en la otra cara opuesta estará en la recamara R2 donde mediremos los cambios de temperatura.

Las medidas finales fueron de 1,205mm de largo, 440mm de ancho y 340mm de alto (fig. 11), a la que se le colocó una tapa con visor de vidrio para medir la transferencia de temperatura del lado frío al lado caliente y una bujía de 175 watts de luz blanca. En su interior se instaló una cámara de recepción de material aislante (aserrín + piedra pómez), con la finalidad que al realizar las pruebas de transferencia de calor con las láminas aglomeradas, la temperatura del ambiente no incidiera en los resultados de las mediciones (fig.12).



Diseño de Láminas Aglomeradas Como Aislante Térmico a Base de Aserrín, Papel y Piedra Pómez

Fig. 11 Diseño caja de ensayo

| <i>N</i> | <i>Nombre</i> |
|----------|------------------|
| 1 | <i>laterales</i> |
| 2 | <i>faldones</i> |
| 3 | <i>fondo</i> |
| 4 | <i>guías</i> |
| 5 | <i>agujero</i> |

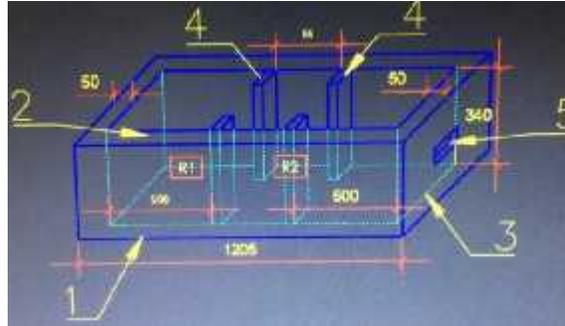


Fig. 12 Construcción de la caja de ensayo

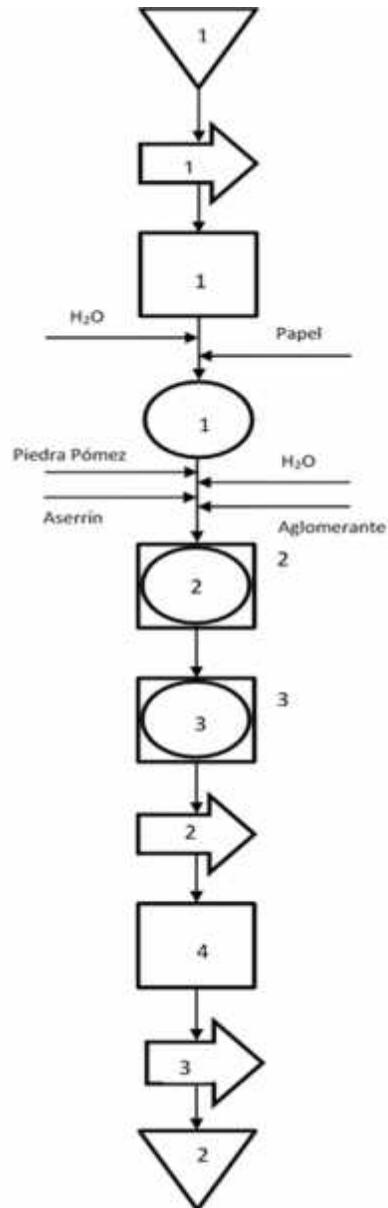




3. Proceso Productivo

El proceso productivo de las láminas aglomeradas constó de 7 etapas, a continuación, presentamos un flujograma de proceso:

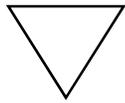
Fig. 13 Diagrama de Proceso de Elaboración de Láminas Aglomeradas



| Resumen de Actividades | |
|------------------------|---|
| ○ | 3 |
| □ | 4 |
| → | 3 |
| ▽ | 2 |

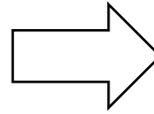


Diseño de Láminas Aglomeradas Como Aislante Térmico a Base de Aserrín, Papel y Piedra Pómez



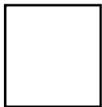
ALMACENAMIENTO

1. Almacenado de insumos
2. Almacenado de las láminas aglomeradas



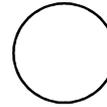
TRANSPORTE

1. Transporte de insumos a área de pesado
2. Transporte a área de secado
3. Transporte de las láminas a almacén



INSPECCION

1. Inspección de los insumos al pesarlos
2. Inspección de la masa
3. Inspección de la compresión
4. Inspección del secado de las láminas



OPERACION

1. Se mezcla papel con agua y se tritura
2. Se mezcla el aglutinante con el aserrín y piedra pómez y se adiciona agua
3. Se comprimen la mezcla de materiales para formar las láminas

A continuación, se describe el proceso productivo de las láminas aglomeradas:

Se utilizó una prensa hidráulica de 5 ton., para la compactación de los materiales (fig. 12), esta máquina nos permitió la elaboración de láminas en un molde metálico tipo caja de dimensiones de 320mm x 320mm. Se fabricaron láminas ó planchas de diferentes proporciones seleccionadas de manera experimental pues no se cuenta con un manual que indique la cantidad de proporciones de materiales para una elaboración óptima, sin embargo, utilizamos como referencia un proyecto realizado por el PIMA.

Los residuos con los que se elaboraron las láminas son los siguientes: Aserrín fino, obtenido de los procesos de fabricación de muebles del Programa Industrial de la madera y del proceso de tamizado; papel, proporcionado de las oficinas administrativas del Recinto Universitario Pedro Araúz Palacios, su función es servir de aglutinante; piedra pómez adquirida en Hidrapoma Masaya. Las láminas se elaboraron de manera independiente, con diferentes proporciones de mezclas para su posterior evaluación.



3.1. Etapas de la Elaboración de las Láminas Aglomeradas.

1. Recolección y acumulación de residuos.

Para la toma de muestras como primer paso se utilizó una pala, con la cual se llenaron bolsas plásticas y cajas con todo el aserrín existente en el momento (fig. 14), de las diferentes especies utilizadas (Teca, Nancitón y Pino), luego con la ayuda de una carretilla se transportaron los residuos desde el depósito de desechos hasta el área de selección y tratamiento de nuestras materias primas. Posteriormente se realiza el proceso de cribado del aserrín (fig. 15), donde se utilizaron mallas de 2 mm, con el fin de obtener uniformidad en el tamaño de las partículas y se almacenó en bolsas plásticas debidamente rotulado (fig.16).

Fig. 14 Recolección de Aserrín



Fig. 15 Proceso de Cribado



Fig. 16 Etiquetado de las muestras



2. Trituración o picado de los residuos.

Es paso importante en la elaboración de las láminas aglomeradas. Algunos pueden tener un mayor o menor picado en dependencia de la capacidad de amarre del material, lo que quiere decir que por ejemplo al elaborar una lámina de aserrín este no posee la capacidad de amarre o pegado para formar una lámina por lo cual se añade papel triturado como aglutinante en cierta proporción. Existen diferentes métodos para triturar los residuos, con máquina especializada para triturar, con licuadora o realizándolo de manera manual.



Las herramientas utilizadas en este caso fue una trituradora eléctrica (fig. 17) luego el papel triturado se depositó en baldes y se le adicionó agua, se dejó reposar aproximadamente 8 días (fig. 18), para posteriormente con ayuda de una licuadora de inmersión, triturar completamente (fig. 19) hasta obtener una consistencia acuosa, posteriormente para ser pesado en las diferentes proporciones fue escurrido (fig. 20) hasta obtener papel semejante a una pasta moldeable (fig. 21).

Fig. 17 Triturado de papel



Fig. 18 Papel y Agua



Fig. 19 Triturado de papel con licuadora



Fig. 20 Escurrido de papel



Fig. 21 Masa de papel



3. Proporciones de los Materiales

La cantidad de material que se deberá utilizar para la elaboración de las láminas aglomeradas con que se llenará el molde, se determinó en base a las combinaciones de las proporciones establecidas por el diseño experimental realizado en el estudio. “Elaboración de láminas aglomeradas a base de aserrín, piedra pómez y papel” impulsado por el PIMA.



Diseño de Láminas Aglomeradas Como Aislante Térmico a Base de Aserrín, Papel y Piedra Pómez

Es fundamental tomar en cuenta el peso de cada material y la cantidad que se agregará a la mezcla, para ello se pesaron las cantidades exactas de aserrín, piedra pómez y papel, con el fin de que cada lámina cumpla con las proporciones establecidas para realizar una comparativa que permita determinar qué porcentaje de residuo es óptimo para la elaboración de la lámina (fig. 22).

Fig. 22 Mezcla de los materiales.



A continuación, se presenta las proporciones de las 9 láminas aglomeradas realizadas:

Tabla. 2 Proporciones establecidas para la elaboración de las láminas

| Materiales | Muestra 1 (%) | Muestra 2 (%) | Muestra 3 (%) |
|--------------|---------------|---------------|---------------|
| Aserrín | 20 | 30 | 40 |
| Piedra Pómez | 40 | 35 | 30 |
| Papel | 40 | 35 | 30 |

Las proporciones de las mezclas del aserrín para fabricar las muestras se presentan en la siguiente tabla:

Tabla. 3 Proporciones de aserrín para realizar las mezclas

| Tipo de Aserrín | Muestra I | Muestra II | Muestra III |
|-----------------|-----------|------------|-------------|
| Nancitón | 20% | 30% | 40% |
| Pino | 20% | 30% | 40% |
| Teca | 20% | 30% | 40% |



El resto de los porcentajes para cada tipo de aserrín son la piedra pómez y el papel, dado que las diferencias fundamentales la determinan los diferentes tipos de madera, no así la piedra pómez y el papel mantiene invariable sus propiedades.

3.1. Preparación de los Porcentajes.

Para preparación de los porcentajes fueron tomadas en consideración la conductividad térmica de cada componente, esto facilito de gran manera la designación de las proporciones.

En la tabla siguiente se presenta la densidad y conductividad térmica de algunos materiales.

Tabla. 4 Densidad y conductividad térmica de algunos materiales

| N° | Materiales | ρ | K(W/m) |
|----|------------------|------------------------|---------|
| 1 | Al | 2.70 k /d ³ | 205 |
| 2 | Cu | 8.93 k /d ³ | 385 |
| 3 | Ag | 10.5 k /d ³ | 406 |
| 4 | Acero | 7.85 k /d ³ | 50.6 |
| 5 | Ladrillo | 1.5 k /d ³ | 0.70 |
| 6 | Cartón | ----- | 0.16 |
| 7 | Vidrio | 2.5 k /d ³ | 0.80 |
| 8 | Aire | 1.3 k /d ³ | 0.02 |
| 9 | Agua | 1 k /d ³ | 0.60 |
| 10 | Aserrín | 170 k /m ³ | 0.092 |
| 11 | Piedra pómez | 345 k /m ³ | 0.13 |
| 12 | Papel picado | 127 k /m ³ | 0.091 |
| 13 | Cartón Corrugado | 47 k /m ³ | 0.065 |
| 14 | Pino blanco | 2.70 k /d ³ | 0.16 |



4. Pesaje y Mezclado de los Materiales.

Para el pesaje exacto de los materiales (aserrín, piedra pómez y papel) en sus diferentes proporciones, se hizo uso de una balanza, en la cual se fue haciendo los pesajes de material respectivos para cada una de las combinaciones con las que se elaboraron cada una de las láminas aglomeradas. Luego de los pesajes respectivos se procede a mezclar los materiales, mediante un mezclado manual, la cual se realizó en un recipiente, donde se mezclan estos tres elementos perfectamente al que adicionamos aproximadamente 2000 ml de agua hasta obtener una mezcla homogénea, para asegurar que todos los materiales se adhieran lo suficiente al momento de su compactación.

Las proporciones se determinaron en función de porcentajes con su equivalencia en peso. Se tomó como base de peso la libra (1 lb) esta equivale al 20% en proporción para las mezclas, en la tabla siguiente se indican las proporciones y sus pesos equivalentes:

Tabla. 5 Equivalencia de pesos

| Peso (lb) | % |
|-----------|----|
| 1 | 20 |
| 2 | 40 |
| 1.5 | 30 |
| 1.75 | 35 |

Todas las mezclas fueron realizadas en diferentes recipientes y de acuerdo, a las proporciones definidas.



En la tabla siguiente se muestran las proporciones detalladas para las mezclas de las planchas o láminas.

Tabla 6. Proporciones - Pesos de las Planchas

| Muestras | | Materiales | | | % |
|----------|-----------|-------------|-------|--------------|-------|
| | | Porcentajes | | | |
| | Peso (Lb) | Nancitón | Papel | Piedra pómez | Total |
| 1 | 5 | 20 | 40 | 40 | 100 |
| 2 | 5 | 30 | 35 | 35 | 100 |
| 3 | 5 | 40 | 30 | 30 | 100 |
| | | | | | |
| | Peso (Lb) | Pino | Papel | Piedra pómez | |
| 4 | 5 | 20 | 40 | 40 | 100 |
| 5 | 5 | 30 | 35 | 35 | 100 |
| 6 | 5 | 40 | 30 | 30 | 100 |
| | | | | | |
| | Peso (Lb) | Teca | Papel | Piedra pómez | |
| 7 | 5 | 20 | 40 | 40 | 100 |
| 8 | 5 | 30 | 35 | 35 | 100 |
| 9 | 5 | 40 | 30 | 30 | 100 |

Es importante mencionar que los pesos son obtenidos antes del proceso de compresión.

5. Preparación del Molde.

Antes de vaciar el material al molde se siguen los siguientes pasos:

- ✓ Se limpia perfectamente las caras internas del molde.
- ✓ Se procede a armar el molde metálico, ensamblando primero la tapa inferior con el marco central, al que se le introduce una placa de plywood que servirá de bandeja de traslado de las láminas aglomeradas una vez que se retiren de la prensa hidráulica, luego se llena el molde y se le coloca una tapa superior sujeto



por dos resortes que permita el retorno a su posición inicial de la parte superior después de ejercer una presión de 5 ton. (Fig. 23). Posteriormente se deposita la mezcla dentro del molde con un espesor de 50 mm y se esparce de manera que quede bien distribuida en toda el área del molde (Fig. 24).

- ✓ Conforme se va depositando el material en el molde, con la ayuda de una cuchara metálica se va compactando manualmente los materiales, a fin de hacer que la capa de material sea igual al espesor del marco central del molde y posteriormente colocar la tapa superior del molde.

Fig. 23 Preparación del molde



Fig. 24 Llenado del molde



6. Compactación de la Mezcla.

Se realiza el prensado con un prototipo de prensa hidráulica, ejerciendo una presión de 5 ton, para extraer el líquido de la lámina y realizar una compactación sólida de la mezcla de los materiales (fig. 25). Durante esta operación las muestras pierden humedad, lógicamente varía la altura nominal de 50mm. Posteriormente descomprimos y aquí el tiempo de reposo de la lámina en el molde después de la descompresión es 20 minutos aproximadamente, esto se realiza con el objetivo de evitar de forma drástica la recuperación elástica de la lámina compactada.

Una vez compactado todo el material dentro del molde, y después de pasado el tiempo de reposo, se procede a desmontar de la prensa el molde, para retirar manualmente la lámina y trasladarla al horno de secado (fig. 26).



Fig. 25 Proceso de Compresión



Fig. 26 Retiro de la lámina



7. Secado.

Una vez finalizado todo el proceso de compactación, las láminas fueron trasladadas a un horno solar para el secado. El tiempo de secado fue de 15 días. Para una mayor uniformidad las láminas son colocadas de forma horizontal, cada placa es identificada con las proporciones correspondientes (fig. 27)

Fig. 27 Láminas en horno de secado





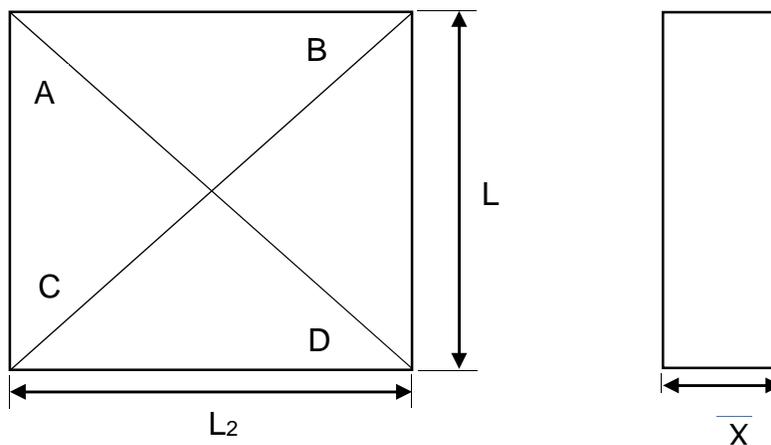
4. Evaluaciones físicas de las láminas aglomeradas

4.1. Control de las Dimensiones de Cada Placa.

Las dimensiones de las placas se indican en la siguiente tabla 7, estos valores son después del secado.

Tabla 7. Proporciones - Pesos de las Planchas

| N° | Dimensiones (mm) | | | | | | | | Pesos (lb) | | |
|----|------------------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-----------|------------|-------|-------|
| | L_1 | L_2 | $A(m^2)$ | X_A | X_B | X_C | X_D | \bar{X} | P_i | P_f | P_d |
| 1 | 320 | 320 | 0.1024 | 35 | 41 | 39 | 39 | 38.5 | 5 | 3.42 | 1.58 |
| 2 | 310 | 310 | 0.0961 | 38 | 38 | 32 | 44 | 38 | 5 | 3.55 | 1.45 |
| 3 | 308 | 320 | 0.0986 | 50 | 48 | 51 | 50 | 49.75 | 5 | 3.63 | 1.4 |
| 4 | 318 | 318 | 0.1011 | 42 | 45 | 43 | 44 | 43.5 | 5 | 3.02 | 1.98 |
| 5 | 314 | 310 | 0.0973 | 32 | 42 | 40 | 34 | 37 | 5 | 3.14 | 1.86 |
| 6 | 313 | 310 | 0.097 | 38 | 38 | 35 | 38 | 37.25 | 5 | 3.04 | 1.96 |
| 7 | 312 | 312 | 0.0973 | 39 | 48 | 44 | 44 | 43.75 | 5 | 3.6 | 1.7 |
| 8 | 310 | 310 | 0.0961 | 39 | 43 | 48 | 40 | 42.5 | 5 | 3.3 | 1.7 |
| 9 | 311 | 311 | 0.0957 | 37 | 42 | 40 | 41 | 40 | 5 | 3.26 | 1.74 |



Dónde:

$P_i: P$ \bar{u}

$P_f: P$ f

$P_d: P$ d

$A: \text{Área}$ (m^2)

$\bar{X}: E$



c. En la recamara 2, "R2", se le instaló un foco infrarrojo reflector con las especificaciones siguientes:

-) Marca: SATCO
-) Modelo: S4751, BR 38.
-) Potencia de 175 W.

Una vez cerrada las recamaras, se enciende el foco, tomando la hora de inicio y las temperaturas iniciales. Las mediciones fueron realizadas cada dos minutos por medio de un termómetro láser infrarrojo, modelo INFRARED THERMOMETER IR-999, con rango de temperatura - 25°F (- 32°C) a 999 °F (535 °C). La medición se realiza colocando el punto rojo, láser sobre las superficies a medir. Para cada placa fueron tomadas 9 mediciones.

Finalizadas las mediciones de cada placa, esta se extrae de la caja, ubicándola en su lugar correspondiente. Para la realización de la siguiente medición se deja enfriar las recamaras hasta la temperatura ambiente. El proceso se repite de manera igual para todas las muestras.



Diseño de Láminas Aglomeradas Como Aislante Térmico a Base de Aserrín, Papel y Piedra Pómez

Las mediciones de temperatura realizadas se presentan a continuación:

| Medición | Especie | Mezcla | Temperatura Ambiente C | Temperatura R1 C | Temperatura R2 C | T | Hora |
|----------|----------|----------|------------------------|------------------|------------------|----|----------|
| 1 | Nanciton | 30-35-35 | 34 | 34 | 31 | 3 | 10:40 AM |
| 2 | Nanciton | 30-35-35 | 34 | 36 | 31 | 5 | 10:42 AM |
| 3 | Nanciton | 30-35-35 | 34 | 43 | 32 | 11 | 10:44 AM |
| 4 | Nanciton | 30-35-35 | 34 | 45 | 33 | 12 | 10:46 AM |
| 5 | Nanciton | 30-35-35 | 34 | 48 | 33 | 15 | 10:48 AM |
| 6 | Nanciton | 30-35-35 | 34 | 49 | 34 | 14 | 10:50 AM |
| 1 | Teca | 20-40-40 | 32 | 32 | 33 | -1 | 11:31 AM |
| 2 | Teca | 20-40-40 | 32 | 41 | 34 | 7 | 11:33 AM |
| 3 | Teca | 20-40-40 | 32 | 46 | 35 | 11 | 11:35 AM |
| 4 | Teca | 20-40-40 | 32 | 51 | 36 | 15 | 11:37 AM |
| 5 | Teca | 20-40-40 | 32 | 53 | 35 | 18 | 11:39 AM |
| 6 | Teca | 20-40-40 | 32 | 53 | 35 | 18 | 11:41 AM |
| 1 | Pino | 30-35-35 | 36 | 36 | 34 | 2 | 12:37 PM |
| 2 | Pino | 30-35-35 | 36 | 38 | 35 | 4 | 12:39 PM |
| 3 | Pino | 30-35-35 | 36 | 42 | 34 | 8 | 12:41 PM |
| 4 | Pino | 30-35-35 | 36 | 45 | 34 | 11 | 12:43 PM |
| 5 | Pino | 30-35-35 | 36 | 46 | 34 | 12 | 12:45 PM |
| 6 | Pino | 30-35-35 | 36 | 50 | 35 | 15 | 12:47 PM |
| 1 | Teca | 30-35-35 | 36 | 36 | 34 | 2 | 1:16 PM |
| 2 | Teca | 30-35-35 | 36 | 39 | 35 | 4 | 1:18 PM |
| 3 | Teca | 30-35-35 | 36 | 51 | 35 | 16 | 1:20 PM |
| 4 | Teca | 30-35-35 | 36 | 64 | 35 | 30 | 1:22 PM |
| 5 | Teca | 30-35-35 | 36 | 71 | 35 | 36 | 1:24 PM |
| 6 | Teca | 30-35-35 | 36 | 73 | 34 | 38 | 1:26 PM |
| 1 | Teca | 40-20-20 | 34 | 34 | 33 | 1 | 1:58 PM |
| 2 | Teca | 40-20-20 | 34 | 42 | 33 | 9 | 2:00 PM |
| 3 | Teca | 40-20-20 | 34 | 51 | 33 | 18 | 2:02 PM |
| 4 | Teca | 40-20-20 | 34 | 57 | 33 | 24 | 2:04 PM |
| 5 | Teca | 40-20-20 | 34 | 57 | 33 | 24 | 2:06 PM |
| 6 | Teca | 40-20-20 | 34 | 56 | 33 | 23 | 2:08 PM |
| 1 | Pino | 40-20-20 | 34 | 34 | 32 | 1 | 2:47 PM |
| 2 | Pino | 40-20-20 | 34 | 36 | 33 | 3 | 2:49 PM |
| 3 | Pino | 40-20-20 | 34 | 44 | 33 | 12 | 2:51 PM |
| 4 | Pino | 40-20-20 | 34 | 48 | 33 | 15 | 2:53 PM |
| 5 | Pino | 40-20-20 | 34 | 46 | 33 | 14 | 2:55 PM |
| 6 | Pino | 40-20-20 | 34 | 53 | 33 | 20 | 2:57 PM |
| 1 | Pino | 20-40-40 | 33 | 33 | 32 | 1 | 3:39 PM |
| 2 | Pino | 20-40-40 | 33 | 35 | 32 | 3 | 3:41 PM |
| 3 | Pino | 20-40-40 | 33 | 40 | 32 | 7 | 3:43 PM |
| 4 | Pino | 20-40-40 | 33 | 48 | 32 | 15 | 3:45 PM |
| 5 | Pino | 20-40-40 | 33 | 50 | 32 | 17 | 3:47 PM |
| 6 | Pino | 20-40-40 | 33 | 53 | 32 | 21 | 3:49 PM |
| 1 | Nanciton | 20-40-40 | 34 | 34 | 32 | 2 | 4:00 PM |
| 2 | Nanciton | 20-40-40 | 34 | 37 | 33 | 4 | 4:02 PM |
| 3 | Nanciton | 20-40-40 | 34 | 44 | 34 | 10 | 4:04 PM |
| 4 | Nanciton | 20-40-40 | 34 | 45 | 34 | 11 | 4:06 PM |
| 5 | Nanciton | 20-40-40 | 34 | 49 | 35 | 14 | 4:08 PM |
| 6 | Nanciton | 20-40-40 | 34 | 49 | 34 | 15 | 4:10 PM |
| 1 | Nanciton | 40-20-20 | 30 | 31 | 30 | 1 | 4:45 PM |
| 2 | Nanciton | 40-20-20 | 30 | 36 | 32 | 3 | 4:47 PM |
| 3 | Nanciton | 40-20-20 | 30 | 39 | 33 | 6 | 4:49 PM |
| 4 | Nanciton | 40-20-20 | 30 | 44 | 34 | 11 | 4:51 PM |
| 5 | Nanciton | 40-20-20 | 30 | 48 | 34 | 15 | 4:53 PM |
| 6 | Nanciton | 40-20-20 | 30 | 53 | 34 | 19 | 4:55 PM |



5. Análisis de Resultados Peso y Densidad.

5.1. Determinación de la variación del peso y la densidad.

Durante el proceso de compactación de las placas estas pierden el 33.48% promedio de su peso original, esto debido a la pérdida de humedad, esta variación fue verificada por medio del pesado en una balanza electrónica con una precisión de 0.01 gramos.

En la siguiente tabla se muestran las variaciones de peso de las placas:

Tabla 8. Pesos y Densidad Final

| | Pesos (kg) | | | % Pérdida de Humedad | $\rho(k / m^3)$ |
|---|------------|-------|-------|----------------------|-----------------|
| | P_i | P_f | P_d | | |
| 1 | 2.268 | 1.551 | 0.717 | 31.6 | 393.534 |
| 2 | 2.268 | 1.610 | 0.658 | 29 | 440.955 |
| 3 | 2.268 | 1.646 | 0.621 | 28 | 335.668 |
| 4 | 2.268 | 1.37 | 0.898 | 39.6 | 311.075 |
| 5 | 2.268 | 1.424 | 0.844 | 37.2 | 395.628 |
| 6 | 2.268 | 1.379 | 0.889 | 39.2 | 381.635 |
| 7 | 2.268 | 1.633 | 0.635 | 28 | 383.605 |
| 8 | 2.268 | 1.497 | 0.771 | 34 | 366.500 |
| 9 | 2.268 | 1.479 | 0.789 | 34.8 | 386.295 |

Dónde:

$P_i: P_i$

$P_f: P_f$

$P_d: D$

$\rho_s: D$



Para la determinación teórica de las densidades seca se usó la formula básica:

Fórmula 6

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

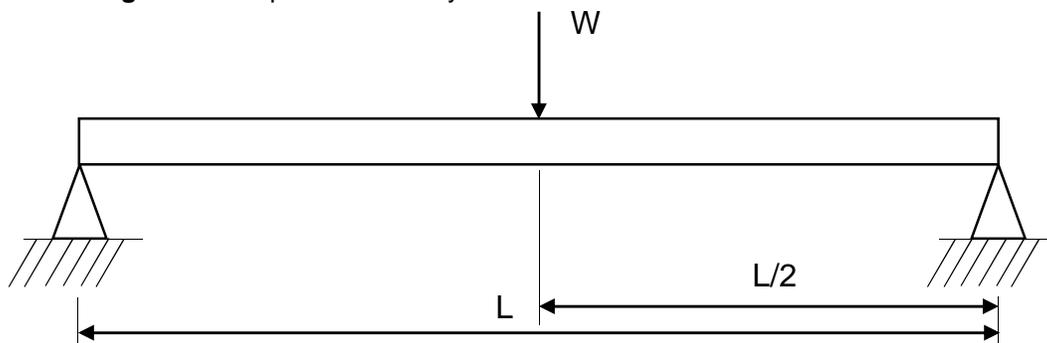
Los números del 1 al 3, corresponde a la especie de aserrín de Nancitón, del 4 al 6 a la especie de aserrín de pino blanco y los de 7 al 9, a la especie de aserrín de teca. Se mencionan únicamente los tipos de aserrín por ser estos los de mayor incidencia en el resultado de las mezclas de las láminas aglomeradas.

5.2. Ensayo de Flexión.

Con la finalidad de obtener más información técnica de las placas aglomeradas se les realizó un ensayo a cada lámina, esto es que a cada mezcla en las diferentes proporciones y tipos de materiales fueron sometidos a esfuerzo de flexión hasta llegar al esfuerzo cortante.

Las placas fueron colocadas como una viga simplemente apoyada en los extremos y sobre ellas le fueron aplicadas cargas de forma progresiva hasta alcanzar el punto de ruptura fig. 29.

Figura 29. Esquema de Ensayo





5.3. Cálculo del Esfuerzo Cortante.

El esfuerzo cortante o de cizalla es el esfuerzo interno o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico como una lámina o una viga. Este esfuerzo se define como como la relación entre la fuerza y el área a través de la cual se produce el deslizamiento, donde la fuerza es paralela al área. El esfuerzo cortante (τ) se calcula como:

Fórmula 7

$$\tau = F/A$$

Dónde:

$$\tau: \text{Esfuerzo Cortante} \quad C: \text{Cizalla} \quad F: \text{Fuerza} \quad q: \text{Peso} \quad p: \text{Presión} \quad \tau: \text{Esfuerzo Cortante}$$
$$A: \text{Área} \quad a: \text{Área} \quad s: \text{Superficie} \quad a: \text{Área} \quad \tau: \text{Esfuerzo Cortante}$$

Para el cálculo de los esfuerzos cortantes en cada plancha realizamos pruebas de campo experimentales colocando pesos patrones que posee la Facultad Tecnología de la Industria en el centro de las láminas logrando determinar a qué pesos específicos las planchas fallan y sufren el esfuerzo cortante.

Estos pesos representan entonces las fuerzas máximas a los cuales las láminas fallan y ceden hasta llegar a la ruptura. Estas son las fuerzas que estaremos aplicando en la fórmula para determinar el esfuerzo cortante fig. 30

Fig. 30 Ensayo de Esfuerzo Cortante





Realizaremos el primer cálculo de esfuerzo cortante para la primera lámina y luego consecutivamente se realizaron los demás cálculos con las diferentes proporciones y tipos de madera, estos resultados se muestran en la tabla 10.

Nancitón al 20 %

$$A = L \times \bar{X} = 320 \text{ m} \times 40 \text{ m} = 12,800 \text{ m}^2 = 0.0128 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso de Lámina} = 3.02 \text{ lbs} (4.4482 \text{ N/lbs}) = 13.43 \text{ N}$$

$$F = 17 \text{ k} * 9.8 \text{ m/s}^2 + 13.43 \text{ N} = 180.03 \text{ N}$$

$$\tau = F/A$$

Sustituyendo en fórmula 7,

$$\tau = 180.03 \text{ N} / 0.0128 \text{ m}^2$$

$$\tau = 14065 \text{ N/m}^2$$

Tabla 9. Resultados de esfuerzo cortante

| Especie de Madera | % de Madera | % Piedra Pomez | % Papel Reciclado | Peso de Lámina (lb) | Masas (Kg) hasta el punto de ruptura | Fuerza (N) hasta el punto de ruptura | Area m2 | (N/m2) |
|-------------------|-------------|----------------|-------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------|--------|
| Nancitón | 20 | 40 | 40 | 3.02 | 17 | 180 | 0.0128 | 14065 |
| Nancitón | 30 | 35 | 35 | 3.14 | 17 | 181 | 0.0128 | 14107 |
| Nancitón | 40 | 30 | 30 | 3.04 | 8 | 92 | 0.0128 | 7181 |
| Pino | 20 | 40 | 40 | 3.6 | 8 | 94 | 0.0128 | 7376 |
| Pino | 30 | 35 | 35 | 3.3 | 12 | 132 | 0.0128 | 10334 |
| Pino | 40 | 30 | 30 | 3.26 | 5 | 64 | 0.0128 | 4961 |
| Teca | 20 | 40 | 40 | 3.42 | 5.2 | 66 | 0.0128 | 5170 |
| Teca | 30 | 35 | 35 | 3.55 | 3.2 | 47 | 0.0128 | 3684 |
| Teca | 40 | 30 | 30 | 3.63 | 2.5 | 41 | 0.0128 | 3176 |



En la tabla 9, la primera columna es cada una de las especies de madera indicando el porcentaje del aserrín, las otras dos la piedra pómez y el papel respectivamente. De ahí podemos observar que las proporciones de mayor porcentaje de aserrín fallarán a menor carga, aunque sus valores difieren por especie de madera.

5.4. Determinación de la Conductividad Térmica

Dado que el principal objetivo de este trabajo es determinar el menor valor de conductividad térmica de las placas aglomeradas, se realizaron los cálculos analíticos de dicho coeficiente que se denomina por “ λ ” (lambda).

Para considerar que un material es un aislante térmico, según la normativa aceptada internacionalmente su valor de conductividad debe ser menor de $0.6 \text{ W/m}^\circ\text{K}$, y una resistencia térmica (R) mayor a $0.5 \text{ m}^2\text{K/W}$. Por definición se sabe que la conductividad térmica “ λ ” es una propiedad física de los materiales o de los cuerpos que determinan la capacidad de transmitir el calor por conducción de forma directa y sin intercambio de materia. Cada material posee una conductividad térmica específica que caracteriza la transmisión de calor, el cual fluye de manera espontánea de la zona de mayor temperatura a la de menor²¹.

En el caso que nos ocupa el método experimentado fue por conducción. Un material será menor aislante cuanto menor sea el coeficiente “ λ ”.

Para los materiales aislantes se suele utilizar la submúltipla mili voltio por metro cuadrado ($\text{mW/m}^\circ\text{K}$), esto es para evitar valores muy pequeños. La resistencia térmica “R” se obtiene dividiendo el espesor dado en “m” entre su coeficiente de conductividad “ λ ”.

El aislamiento de un elemento separador (paredes y forros) se valoran con el coeficiente de transmisión “U”, este es el inverso de “R”

Fórmula 8

$$U = 1/R (\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K})$$



Se definen los valores de aislamientos mínimos a dotar a los edificios en función de varios factores como son²²:

- a. El uso al que se destinan
- b. Su factor de forma
- c. La zona climática y eólica⁵

Para el cálculo de la conductividad térmica de las muestras se aplicó la ley de Fourier:

Fórmula 9

$$K = \frac{Q}{A \cdot T}$$

Dónde:

- Q: Calor generado por fuente
- L: Espesor de la muestra
- A: Area de la muestra
- T: Diferencia de temperatura

5.4.1. Cálculo de las Conductividades Térmicas

N ó ***n*** %

$$A = 0.1024 \text{ m}^2$$

$$E = 0.0385 \text{ m}$$

$$T = 24.5$$

$$P = 175 \text{ W}$$

$$K = \frac{(175 \text{ W}) \times (0.0385 \text{ m})}{(0.1024 \text{ m}^2) \times (24.5)} = 2.6 \text{ W/m}$$



Diseño de Láminas Aglomeradas Como Aislante Térmico a Base de
Aserrín, Papel y Piedra Pómez

N ón **3** %

$$A = 0.0961 \text{ m}^2$$

$$E = 0.038 \text{ m}$$

$$T = 20.8$$

$$P = 175 \text{ W}$$

$$K = \frac{(175\text{W}) \times (0.038\text{m})}{(0.0961\text{m}^2) \times (20.8)} = \mathbf{3.3 \text{ W/m}}$$

N ón **4** %

$$A = 0.09856 \text{ m}^2$$

$$E = 0.04975 \text{ m}$$

$$T = 22.9$$

$$P = 175 \text{ W}$$

$$K = \frac{(175\text{W}) \times (0.04975\text{m})}{(0.09856\text{m}^2) \times (22.9)} = \mathbf{3.8 \text{ W/m}}$$

P **2** %

$$A = 0.101124 \text{ m}^2$$

$$E = 0.0435 \text{ m}$$

$$T = 32.8$$

$$P = 175 \text{ W}$$

$$K = \frac{(175\text{W}) \times (0.0435\text{m})}{(0.101124 \text{ m}^2) \times (32.8)} = \mathbf{2.2 \text{ W/m}}$$



Diseño de Láminas Aglomeradas Como Aislante Térmico a Base de
Aserrín, Papel y Piedra Pómez

P 3 %

$$A = 0.0974 \text{ m}^2$$

$$E = 0.037 \text{ m}$$

$$T = 34.2$$

$$P = 175 \text{ W}$$

$$K = \frac{(175\text{W}) \times (0.037\text{m})}{(0.0974 \text{ m}^2) \times (34.2)} = \mathbf{1.9 \text{ W/m}}$$

P 4 %

$$A = 0.09703 \text{ m}^2$$

$$E = 0.03725 \text{ m}$$

$$T = 21.9$$

$$P = 175 \text{ W}$$

$$K = \frac{(175\text{W}) \times (0.03725\text{m})}{(0.09703 \text{ m}^2) \times (21.9)} = \mathbf{3.06 \text{ W/m}}$$

T 2 %

$$A = 0.09672 \text{ m}^2$$

$$E = 0.04375 \text{ m}$$

$$T = 51$$

$$P = 175 \text{ W}$$

$$K = \frac{(175\text{W}) \times (0.04375 \text{ m})}{(0.09672 \text{ m}^2) \times (51)} = \mathbf{1.5 \text{ W/m}}$$

T 3 %

$$A = 0.0961 \text{ m}^2$$

$$E = 0.0425 \text{ m}$$

$$T = 24$$

$$P = 175 \text{ W}$$

$$K = \frac{(175\text{W}) \times (0.0425 \text{ m})}{(0.0961 \text{ m}^2) \times (24)} = \mathbf{3.2 \text{ W/m}}$$



$$T = 4 \%$$

$$A = 0.095708 \text{ m}^2$$

$$E = 0.040 \text{ m}$$

$$T = 28.4$$

$$P = 175 \text{ W}$$

$$K = \frac{(175\text{W}) \times (0.040 \text{ m})}{(0.095708 \text{ m}^2) \times (28.4)} = 2.5 \text{ W/m}$$

5.4.2. Resumen de Conductividad Térmica

A continuación se presenta una tabla resumen de los cálculos obtenidos para la conductividad térmica de las láminas aglomeradas tabla 10. Y la comparación de nuestro resultado versus otras conductividades térmicas de otros materiales tabla 11.

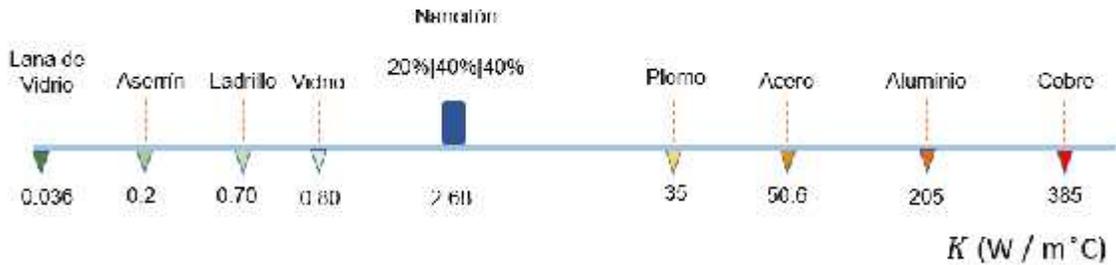
Tabla 10 Resumen de cálculo de conductividad térmica

| N° | Material | Concentración % | $K(\text{W/m})$ |
|----|----------|-----------------|-----------------|
| 1 | Teca | 20 | 1.5521 |
| 2 | Teca | 30 | 3.2247 |
| 3 | Teca | 40 | 2.5753 |
| 4 | Nancitón | 20 | 2.6855 |
| 5 | Nancitón | 30 | 3.3269 |
| 6 | Nancitón | 40 | 3.8574 |
| 7 | Pino | 20 | 2.2951 |
| 8 | Pino | 30 | 1.9438 |
| 9 | Pino | 40 | 3.0677 |



Diseño de Láminas Aglomeradas Como Aislante Térmico a Base de Aserrín, Papel y Piedra Pómez

Tabla 11 Comparativo de resultado versus otras conductividades térmicas



6. Resultados

Es muy importante para conocer las herramientas para evaluar “X” vs. “Y” en el análisis de las Hipótesis y valores estadísticos utilizar la siguiente tabla guía.

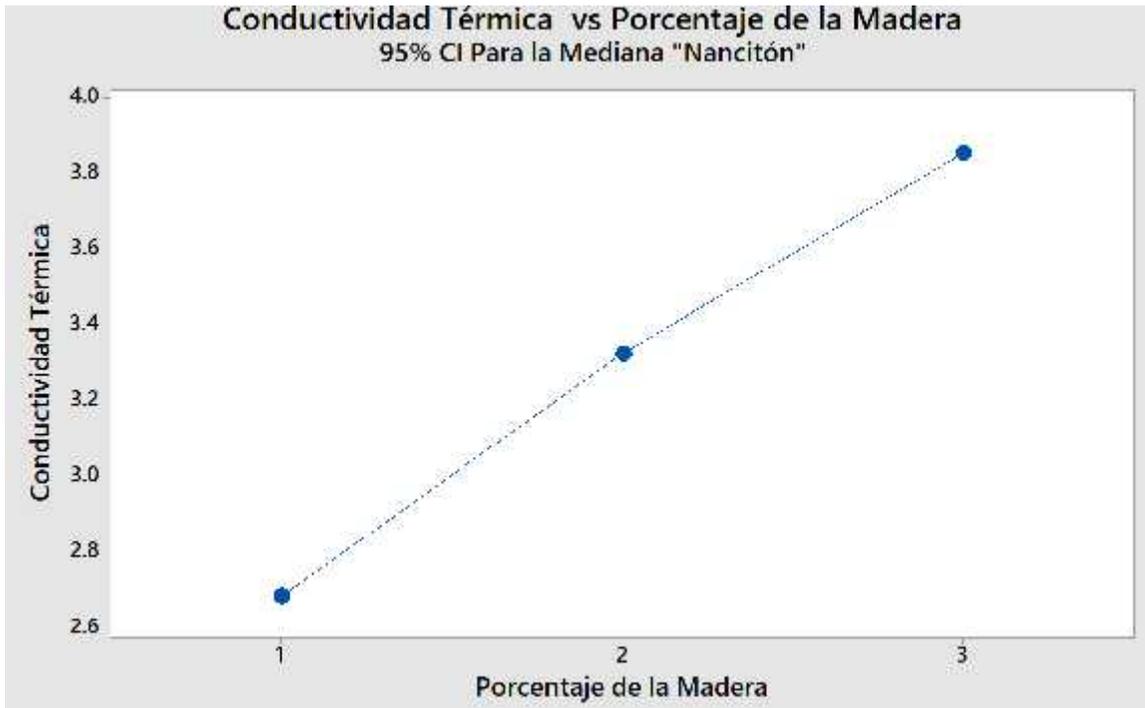
Tabla 12 Herramientas para evaluar “X” vs “Y” para Análisis Estadísticos

| Data | Description | Hypothesis | Test |
|------|---------------------------------------|---------------------------------|------------|
| | Discrete X Discrete Y | H_0 : Factors are independent | Chi-Square |
| | Continuous Y compared to target/goal | H_0 : $\mu = \text{Target}$ | 1-Sample t |
| | 2 levels of Discrete X, Continuous Y | H_0 : $\mu_1 = \mu_2$ | 2-Sample t |
| | 3+ levels of Discrete X, Continuous Y | H_0 : $\mu_1 = \dots = \mu_k$ | ANOVA |
| | Continuous X; Continuous Y | H_0 : Slope = 0 | Regression |

La especie de madera Nancitón es la más estable teniendo un comportamiento directamente proporcional, lo cual indica que al aumentar la concentración de madera el coeficiente de conductividad térmica aumenta. Ya que el objetivo que se persigue en la investigación es aquel que tiene bajo índice de conductividad térmica, y este grafico muestra una linealidad, lo que provoca que a mayor uso de Nancitón mayor conductividad térmica gráfica 1.

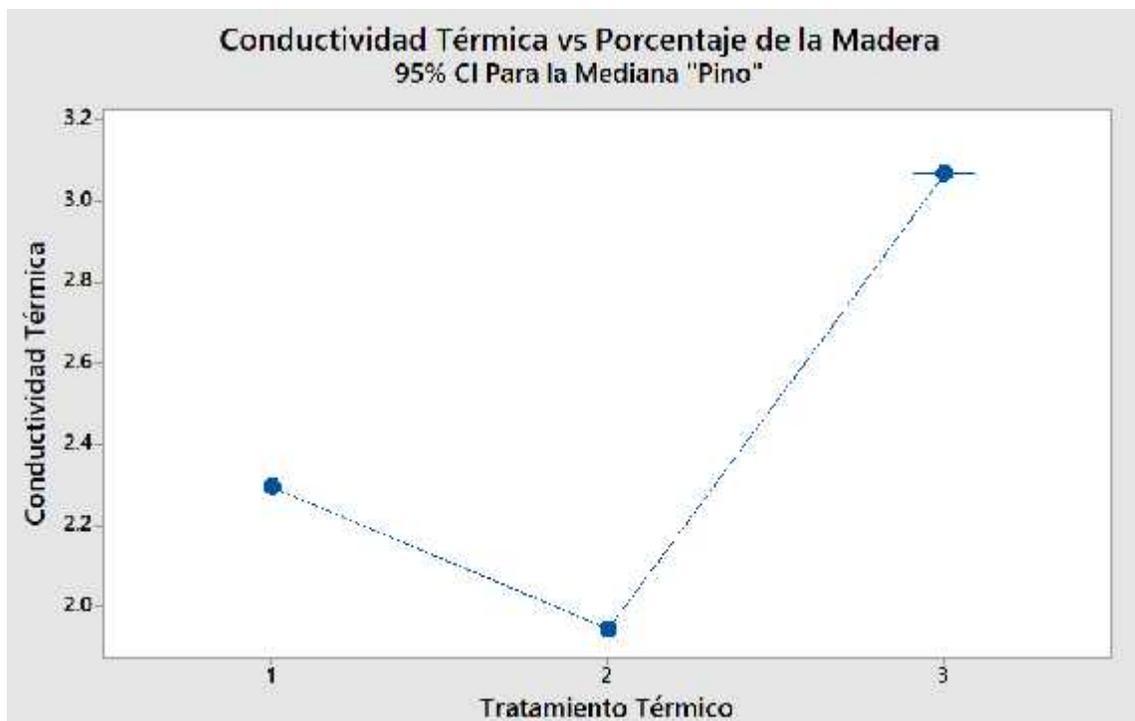


Gráfica 1. Conductividad térmica vs porcentaje de la madera - Nancitón



La especie de madera Pino muestra un comportamiento cóncavo creciente, lo cual indica que hay una correlación negativa con respecto al uso del Pino y el índice de conductividad térmica, dando posible resultado de uso de este material gráfica 2.

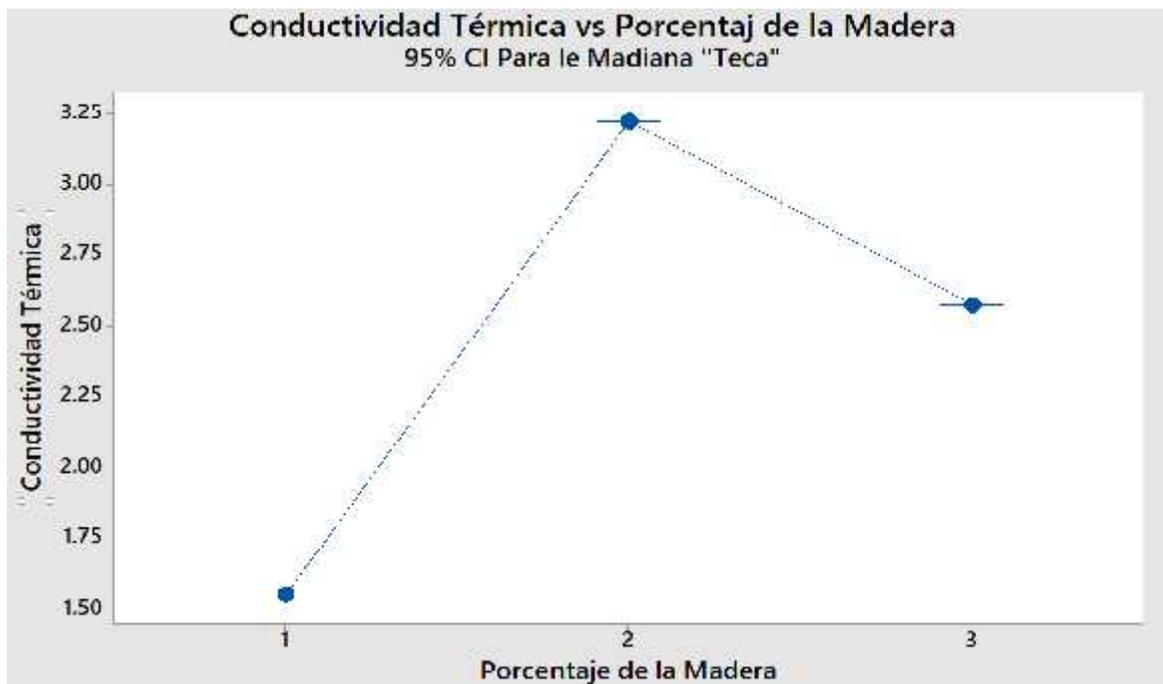
Gráfica 2. Conductividad térmica vs porcentaje de la madera - Pino





La especie de madera Teca muestra un comportamiento cóncavo decreciente, lo cual indica en este grafico 3 una correlación positiva entre el uso del Teca y la conductividad térmica, es por ello que no es muy efectivo el uso de este material ya que en ciertos momentos puede generar la mayor conductividad térmica, por lo que es posible descartar su uso gráfica 3.

Gráfica 3. Conductividad térmica vs porcentaje de la madera - Teca



6.1. Análisis de la Varianza (ANOVA)

El análisis de varianza se utiliza para estudiar las diferencias entre los niveles de factores cuando hay una sola variable de entrada con múltiples niveles, este es el caso de nuestro modelo estadístico donde tenemos diferentes especies de maderas con varios niveles de participación en las mezclas para la elaboración de las planchas.

En nuestra prueba estamos considerando que para este tipo de caso existe una normalidad y una varianza similar, por lo que la prueba será ideal.

En el Anova para que se acepte la hipótesis nula (H_0) del experimento debe suceder que todos los bloques tengan medias iguales, y nuestra hipótesis alternativa (H_a) que con sólo uno de los bloques que tenga una media diferente se acepta la hipótesis



alternativa para el caso de nuestra prueba para que se acepte la H_a el Valor p, debe ser mayor a 0.05, en nuestro caso todos son por debajo de 0.05 por lo tanto se acepta la H_0 .

Al utilizar este modelo estadístico, se pretende encontrar la mejor proporción en madera, papel y piedra pómez, este modelo es un bloque totalmente al azar, de bloques y tratamientos.

Se define como bloque los tipos de madera vs su conductividad térmica, bajo este supuesto se pretende saber cuál es la más baja conductividad térmica, en el desarrollo de dicho experimento.

Modelo general lineal: Conductividad térmica vs Bloques – Porcentajes de la madera.

6.1.1. Ejecutando Anova (Minitab 18)

6.1.2. Método

Factor coding (-1, 0, +1)

Factor Information

| Factor | Type | Levels | Values |
|--------------|-------|--------|------------|
| Bloque | Fixed | 3 | I, II, III |
| Tratamientos | Fixed | 3 | 1, 2, 3 |

Análisis de la Varianza

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|--------------|----|--------|--------|---------|--------------|
| Bloque | 2 | 1.435 | 0.7173 | 2.29 | <u>0.217</u> |
| Tratamientos | 2 | 1.519 | 0.7594 | 2.42 | <u>0.204</u> |
| Error | 4 | 1.253 | 0.3133 | | |
| Total | 8 | 4.207 | | | |

Resumen del Modelo

| S | R-sq | R-sq(adj) | R-sq(pred) |
|----------|--------|-----------|------------|
| 0.559718 | 70.21% | 40.42% | 0.00% |



Diseño de Láminas Aglomeradas Como Aislante Térmico a Base de Aserrín, Papel y Piedra Pómez

Coeficientes

| Term | Coef | SE Coef | T-Value | P-Value | VIF |
|--------------|--------|---------|---------|--------------|------|
| Constant | 2.725 | 0.187 | 14.61 | 0.000 | |
| Bloque | | | | | |
| I | 0.565 | 0.264 | 2.14 | <u>0.099</u> | 1.33 |
| II | -0.290 | 0.264 | -1.10 | 0.334 | 1.33 |
| Tratamientos | | | | | |
| 1 | -0.548 | 0.264 | -2.08 | <u>0.106</u> | 1.33 |
| 2 | 0.106 | 0.264 | 0.40 | 0.707 | 1.33 |

Ecuación de Regresión

| | | |
|-----------------------|---|--|
| Conductividad Térmica | = | 2.725 + 0.565 Bloque_I - 0.290 Bloque_II - 0.275 Bloque_III - 0.548 Tratamientos_1 + 0.106 Tratamientos_2 + 0.441 Tratamientos_3 |
|-----------------------|---|--|



7. Conclusiones

1. Los materiales utilizados en el conglomerado fueron 3: Aserrín de madera, papel reciclado y piedra pómez.
 -) **Aserrín de Madera.** Se obtuvo de acuerdo a la disponibilidad de inventarios de madera en el Programa Industrial de la Madera (PIMA), las especies disponibles fueron: Nancitón, Pino y Teca.
 -) **Papel Reciclado.** El papel reciclado utilizado proviene de los desechos de las oficinas de la Facultad de Tecnología de Industria y de la Facultad de Tecnología de la Construcción.
 -) **Piedra Pómez.** Este material es de abundancia en la zona sur del país, es de bajo costo y se obtuvo en la empresa Hidrapoma Masaya.
2. Continuando el estudio “Elaboración de lámina ecológica aglomerada para aislante térmico a base de aserrín, papel y piedra pómez” utilizamos las mismas normas de diseño industrial tales como:
 - a. Proceso de clasificación de los materiales y obtención de granulometría requerida.
 - b. Mezcla de las materias primas según las proporciones establecidas.
 - c. Prensa hidráulica de 5 Toneladas.
 - d. horno de secado del PIMA.

Adicional a esto elaboramos caja que contendrá láminas para evaluar su correspondiente conductividad térmica.

3. Los cálculos realizados de resistencia al esfuerzo cortante y densidad en seco nos permiten concluir que la mejor resistencia a esfuerzo cortante la tiene el Nancitón con proporción 20% de aserrín, 40% de papel y 40% de piedra pómez seguido por el Pino con concentración de aserrín de 30%, 35% de papel y 35% de piedra pómez ver tabla 9. Para las densidades los cálculos nos indican que no hay una diferencia relevante entre las distintas laminas ver tabla 8.
4. Se determinó en base a los cálculos realizados que el porcentaje de participación de la madera cuando es superior al 40%, la mezcla no se compacta



uniformemente en el proceso de secado mostrando, fractura y desprendimiento del material, destruyéndose.

5. La proporción de mezcla que obtuvo la conductividad térmica más baja fue la especie de madera Teca con proporción 20% de aserrín, 40% papel reciclado y 40% de piedra pómez valor ver tabla 10, caso contrario la especie de madera Nancitón tiene la mayor conductividad térmica en las proporciones 40% de aserrín, 30% papel reciclado y 30% piedra pómez.
6. En el diseño estadístico evaluando las medias de los ensayos se puede comprobar que la mejor concentración de mezcla para obtener la conductividad térmica es la especie del Nancitón con 20% de concentración y 40% de piedra pómez y 40% de papel reciclado. En la prueba de ANOVA se acepta la hipótesis alternativa que nos indica que a mayor conductividad térmica mayor cantidad de piedra pómez y a mayor conductividad térmica mayor cantidad de madera.
7. Durante el proceso de elaboración de láminas observamos que cuando la concentración de la madera aumenta sobre 40%, las láminas compactadas resultantes tienen baja resistencia mecánica y prácticamente al salir del horno se fracturan y se destruyen. Caso contrario a medida que la concentración del porcentaje de madera en la mezcla es baja entre rangos del 30% - 20% la lámina tiene una mejor resistencia mecánica y en general su coeficiente de conductividad térmica tiende a ser menor.



8. Recomendaciones

1. Dar continuidad a estos tipos de investigaciones para aprovechamiento de materiales de desecho con la finalidad de contribuir en la protección del medio ambiente evitando proliferación de enfermedades.
2. Hacer análisis de concentraciones de madera inferiores al 40% ya que en las pruebas realizadas por encima de esta proporción la mezcla sale del molde con baja resistencia mecánica y con fracturas lo que provoca una destrucción de la lámina con prácticamente la fuerza de su peso.
3. Hacer más pruebas de ensayo con una población de láminas superior a 30 para que los resultados estadísticos posean una mejor curva normal y exista una mayor confianza en las pruebas de hipótesis que se realicen.



9. Bibliografía

- ¹ Constanzo González, J. M. (2016). Estimación de la madera de pino radiata a través de un esclerómetro de impacto. Recuperado de <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/2280>
- ² Proyecto de la creación de una fábrica de briquetas de aserrín en santa rosa de araguay. Recuperado de <http://docplayer.es/6476739>.
- ³ <http://es.m.wikipedia.org/wiki/papel>.
- ⁴ Cruz, J. D., (2013, 23 de Junio). Las minas de piedra pómez. La prensa. Recuperado <http://www.laprensa.com.ni/2013/06/23/seccion-domingo/151873-las-minas-de-piedra-pomez>.
- ⁵ <http://e-construir.com/materiales/aglutinantes.html>.
- ⁶ Fabricantes de materiales aislantes. <http://www.andimat.es/sobre-aislamiento/conceptos-basicos-del-aislamiento/aislamiento-termico-definiciones-ordenadas-alfabeticamente>.
- ⁷ <http://www.rtararquitectura.com/aislamiento-termico-tipos-y-caracteristicas/>
- ⁸ <http://www.ecured.cu/Cribado>.
- ⁹ Serway, R. A. (7ª Ed.), Jewett J. W. (2008). Física para ciencias e Ingeniería (pp 572-577). Cegal. (Vol 1).
- ¹⁰ Serway, R. A. (7ª Ed.), Jewett J. W. (2008). Física para ciencias e Ingeniería (pp 572-577). Cegal. (Vol 1).
- ¹¹ Wark, K., (6ª Ed.), Richards, D. E. (2007). Termodinámica (pp 53-54). McGraw-Hill Interamericana Editores S.A.
- ¹² Cengel, Y. A. (6ª Ed.), Boles, M. A. (2009). Termodinámica (pp 13-14). McGraw-Hill Interamericana Editores S.A
- ¹³ <http://es.m.wikipedia.org/wiki/densidad>.
- ¹⁴ Constanzo González, J. M. (2016). Estimación de la densidad de la madera de pino radiata a través de un esclerómetro de impacto. (Tesis de Ingeniería, Universidad BIO – BIO). Recuperado <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/browse?type=author&value=constanzo+gonz%c3%A1lez%2c+jos%c3%A9+manuel+--+joseconstanzo.ing%40gmail.com>



- ¹⁵ Herrera Alegría, Z. (1ª Ed.), Morales Vargas, A. (1993). Propiedades y usos potenciales de 100 maderas nicaragüenses. Hispamer.
- ¹⁶ Herrera Alegría, Z. (1ª Ed.), Morales Vargas, A. (1993). Propiedades y usos potenciales de 100 maderas nicaragüenses. Hispamer.
- ¹⁷ Walpole, R. E. (6ª Ed.).(1999). Probabilidad y estadística para ingenieros (pp 92-108). Pearson.
- ¹⁸ Gutiérrez Pulido, H. (2ª Ed.).(2005). Calidad Total y productividad (pp 119-126). McGraw – Hill Interamericana Editores S.A.
- ¹⁹ Webster, A. L. (3ª Ed.).(2001). Estadística aplicada a los negocios y la economía (pp 210 –213). McGraw – Hill Interamericana Editores S.A.
- ²⁰ Acevedo Alemán, I., Guevara Vargas, K. (2016). Elaboración de lámina ecológica aglomerada para aislante térmico a base de aserrín, papel reciclado y piedra pómez.
- ²¹ Sears, F.W. (2ª Ed.), Salinger, G.L. (1980). Termodinámica, energía cinética y Termodinámica estadística (pp 93-97). Reverté S.A.
- ²² Reglamento Nacional de la Construcción. (2007)