



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE ARQUITECTA

**Desarrollo de un composite de matriz polimérica con refuerzos de fibra de
madera de pino.**

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTORA: Reinozo Salinas, Nelva Imelda

DIRECTOR: Balcázar Arciniega, Cristian André, Mg. Arq.

LOJA - ECUADOR

2018



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2018

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Arquitecto.

Cristian André Balcázar Arciniega.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **Desarrollar un composite de matriz polimérica con refuerzos de fibras de madera de pino**, realizado por Reinozo Salinas Nelva Imelda, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, junio del 2018.

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo Reinozo Salinas Nelva Imelda, declaro ser autora del presente trabajo de titulación: **Desarrollar un composite de matriz polimérica con refuerzos de fibras de madera de pino**, de la Titulación de Arquitectura, siendo el Mg. Arq. Cristian André Balcázar Arciniega director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.....

Autor: Reinozo Salinas Nelva Imelda

Cédula: 1400756720

DEDICATORIA

A mi padre, hermanos y hermanas por ser mi fortaleza.

A mis sobrinos y sobrinas por alegrar mi vida.

AGRADECIMIENTO

A mi padre, por todo su apoyo.

A mi hermano Euler y mi cuñada Nelly por su apoyo, ejemplo y disponibilidad en todo momento.

A mi hermana Rocío por ayudarme de distintas maneras.

A Carlos Valarezo por su amor y apoyo incondicional.

Al Arq. Cristian Balcázar por su paciencia, disponibilidad y por guiarme de la mejor manera en el desarrollo de este trabajo.

A mis profesores Arquitectos: Alexandra Moncayo, Kenny Espinoza y Eduardo Aguirre, por su disponibilidad para compartir sus enseñanzas.

A Eduardo Valarezo por su ayuda.

A mis amigos y amigas por su cariño.

A los Ingenieros: Ángel Tapia y Diego Mata por su ayuda durante el proceso de experimentación de mi trabajo.

Al señor Lucio Albán del aserrío “Casa del pino”, por facilitarme parte de la materia prima para el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y SESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
LISTADO DE FIGURAS	vii
LISTADO DE TABLAS.....	viii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
PROBLEMÁTICA.....	7
JUSTIFICACIÓN	7
OBJETIVOS.....	9
METODOLOGÍA.....	10
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	
1.1.1. Pino	12
1.1.2. Antecedentes del pino.....	12
1.1.3. Origen y distribución natural del pino	13
1.1.4. Distribución actual del pino	14
1.1.5. Morfología general del pino.....	14
1.1.5.1. Hojas	16

1.1.5.2.	Flores	16
1.1.5.3.	Frutos	16
1.1.5.4.	Semilla.....	16
1.1.5.5.	Madera	16
1.1.6.	Derivados del pino	17
1.1.7.	Desechos del Pino	18
1.1.8.	Usos y aplicaciones de residuos de pino en la ciudad de Loja	19
1.2.	Composites	21
1.2.1.	Definición	21
1.2.2.	Componentes de los composites	22
1.2.2.1.	<i>Composites particulados.....</i>	<i>23</i>
1.2.2.2.	<i>Composites fibrosos</i>	<i>23</i>
1.2.2.3.	<i>Composites laminados.....</i>	<i>24</i>
1.2.3.	Clasificación de los composites.....	24
1.2.3.1.	Composites de matriz polimérica	24
1.2.3.2.	Polímeros	24
1.2.3.3.	Clasificación	24
1.2.4.	Polímeros termoplásticos	25
1.2.5.	Polímeros elastómeros	26
1.2.6.	Polímeros termoestables.....	26
 CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS		
2.1.	Matrices poliméricas	28
2.1.1.	Propiedades de matrices poliméricas termoestables.....	29
2.1.2.	Tratamiento superficial de las fibras en matriz polimérica	30
2.1.2.1.	<i>Tratamiento con hidróxido de calcio o cal muerta</i>	<i>30</i>
2.1.2.2.	<i>Tratamiento de hidróxido de sodio.....</i>	<i>30</i>
2.1.3.	Resina.....	31
2.1.4.	Resina poliéster	31
2.1.4.1.	<i>Diferencia entre plásticos termo estables y plásticos termo plásticos</i>	<i>32</i>
2.1.5.	Formulación	32

2.1.6.	Propiedades.....	32
2.1.7.	Aditivos para resina poliéster	33
2.1.7.1.	<i>Catalizador para resina poliéster</i>	33
2.1.7.2.	<i>Aceleradores para resina poliéster</i>	33
2.1.8.	Proceso de curados de resina poliéster	33
2.1.9.	Proceso de curado de las resinas	34
2.1.10.	Descripción del proceso.....	35
2.1.11.	Proceso de fabricación de un composite de matriz polimérica	36
2.1.12.	Proceso de molde abierto	36
2.1.12.1.	<i>Proceso manual para laminados</i>	36
2.1.12.2.	<i>Concepto fundamental</i>	36
2.1.12.3.	<i>Herramientas</i>	37
2.1.12.4.	<i>Materiales</i>	38
2.2.	Composites derivados de la madera	39
2.2.1.	Maderas prefabricadas	39
2.2.2.	Referente de maderas prefabricadas	39
2.2.2.1.	<i>Tableros MDP</i>	39
2.2.2.2.	<i>Tableros MDP melamina</i>	40
2.2.2.3.	<i>Tableros MDP enchapado</i>	40
2.2.2.4.	<i>Tableros MDP RH</i>	41
2.2.2.5.	<i>Propiedades de los tableros</i>	42
2.3.	Transferencia de calor de los materiales	43
2.3.1.	Conductividad térmica.....	43
2.4.	Acústica	47
2.4.1.	Aislamiento acústico bruto de un local con respecto a otro	47
2.4.2.	Aislamiento acústico normalizado o ruido aéreo	48
2.4.3.	Ruido	48
2.4.4.	Ruido rosa	48
2.5.	Resistencia al impacto.....	49

2.6.	Resistencia al fuego.....	51
2.6.1.	Clasificación de la resistencia al fuego.....	52
2.7.	Normativas utilizadas para ensayos físicos y mecánicos.....	54
CAPÍTULO III: PROCESO EXPERIMENTAL		
3.1.	Elaboración de composites a base aserrín y resina poliéster	56
3.1.1.	Tratamiento a la fibra de madera de pino.....	56
3.1.2.	Materiales y herramientas	60
3.1.3.	Residuos de madera	60
3.1.4.	Molde	61
3.1.5.	Materiales para elaboración de muestras.....	62
3.1.6.	Utensilios para elaboración de probetas	63
3.1.7.	Herramientas para pruebas de laboratorio	64
3.3.	Proceso de elaboración del composite	65
3.3.1.	Variable de estudio	65
3.3.2.	Elaboración de muestras del composite a base de fibras de madera	67
3.3.3.	Preparación del molde	67
3.3.4.	Preparación de materia prima	68
3.3.5.	Preparación de la resina	69
3.3.6.	Mezclado	70
3.3.7.	Curado	70
3.3.8.	Desmoldado.....	71
3.4.	Pruebas de resistencia mecánica	71
3.4.1.	Determinación de la resistencia a la flexión.....	72
3.4.2.	Ensayo al impacto.....	77
3.5.	Ensayos físicos del material	79
3.5.1.	Determinación del peso específico.....	79
3.5.2.	Determinación de la hinchazón y de la absorción de agua por inmersión total	81
3.5.3.	Determinación de la humedad	86

3.5.4.	Determinación de la densidad	88
3.5.5.	Determinación de la transferencia de calor	90
3.5.6.	Determinación del aislamiento acústico bruto y ruido aéreo.....	94
3.5.7.	Determinación de la resistencia al fuego.....	97

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.	Análisis de resultados de las pruebas mecánicas y físicas.....	101
4.1.1.	Flexión – Densidad	101
4.1.2.	Impacto – densidad.....	102
4.1.3.	Densidad – Absorción – Hinchazón.....	103
4.1.4.	Humedad	104
4.1.5.	Resistencia al fuego – Densidad – Transferencia de calor	104
4.1.6.	Acústica – Densidad	105
4.2.	Análisis referencial	106
4.2.1.	Prensado por extrusión	106
4.3.	Conclusiones.....	108
4.4.	Recomendaciones.....	109
4.5.	Bibliografía	110

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.	Condiciones climáticas óptimas para el pino.....	12
Tabla 2.	Propiedades físicas de la madera de pino	17
Tabla 3.	Propiedades Mecánicas de la madera de pino	17
Tabla 4:	Cantidades de residuos de pino en Ecuador	18
Tabla 5:	Características físicas de la biomasa.....	19
Tabla 6:	Materiales compuestos.....	22
Tabla 7:	Clasificación de matrices en los composites.....	28
Tabla 8:	Propiedades de las matrices poliméricas termoestables.....	29

Tabla 9: Tipos de resinas de poliéster más utilizadas y sus aplicaciones	34
Tabla 10: Especificaciones de dimensiones de tablero MDP.....	40
Tabla 11: Especificaciones de dimensiones de tablero MDP Melanina	40
Tabla 12: Especificaciones de dimensiones de tablero MDP Enchapado.....	40
Tabla 13: Especificaciones de dimensiones de tablero MDP RH	41
Tabla 14: Porcentaje de materia prima del producto	42
Tabla 15: Especificaciones técnicas de tableros	42
Tabla 16: Conductividad térmica de materiales	43
Tabla 17: Fórmulas para determinar el índice de transferencia de calor y transferencia total de calor.....	45
Tabla 18: Nomenclatura para determinar el aislamiento acústico bruto y ruido aéreo	47
Tabla 19: Descripción del deterioro con el impacto	51
Tabla 20: “Prevención de incendios en edificios – Ensayo de resistencia al fuego – Parte 1: Elementos en construcción en general”	52
Tabla 21: Resistencia al fuego suficiente para los elementos estructurales	52
Tabla 22: Normativas utilizadas para ensayos físicos y mecánicos.....	54
Tabla 23: Variables dependientes e independientes	66
Tabla 24: Variables independientes	66
Tabla 25: Probetas determinadas a la resistencia de flexión	72
Tabla 26: Cálculo de la resistencia a flexión.....	75
Tabla 27: Probetas para las pruebas de impacto	78
Tabla 28: Determinación de la resistencia al impacto.....	79
Tabla 29: Probetas destinadas a la determinación del peso específico	80
Tabla 30: Resultados del peso específico	81

Tabla 31: Probetas determinadas a la hinchazón y de la absorción del agua por inmersión total.....	83
Tabla 32: Especificaciones de peso y medidas de las probetas de la hinchazón y absorción de agua por inmersión total.....	84
Tabla 33: Resultados de la hinchazón de las probetas.....	85
Tabla 34: Resultados de la hinchazón de las probetas.....	86
Tabla 35: Probetas determinadas a humedad.....	87
Tabla 36: Resultados de los ensayos de la humedad.....	88
Tabla 37: Resultados de la determinación de la densidad.....	89
Tabla 38: Probetas determinadas a la transferencia de calor del material.....	91
Tabla 39: Datos de transferencia de calor.....	92
Tabla 40: Resultados de la transferencia de calor.....	93
Tabla 41: Fórmulas y nomenclatura de aislamiento acústico global y ruido aéreo.....	94
Tabla 42: Probetas para la determinación del aislamiento acústico bruto y ruido aéreo.....	95
Tabla 43: Datos obtenidos para determinar el aislamiento acústico bruto y ruido aéreo.....	95
Tabla 44: Resultados del aislamiento acústico bruto y ruido aéreo.....	96
Tabla 45: Probetas determinadas a la resistencia al fuego.....	98
Tabla 46: Resultados de la resistencia al fuego.....	99
Tabla 47: Comparación del material con MDF Masisa y Pelikan.....	106
Tabla 48: Aplicaciones del material de acuerdo con sus características y conforme a las normativas.....	107

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: El pino.....	12
Figura 2: Zonas de origen y distribución natural de pino.....	13
Figura 3: Zonas de distribución actual del pino.....	14

Figura 4: Esquema del Ciclo de vida del Pino	15
Figura 5: Derivados de pino	18
Figura 6: Usos comunes del aserrín de pino en la ciudad de Loja	20
Figura 7: Mapa de aserríos encuestados en la ciudad de Loja	21
Figura 8: Tipos de orientación de composites fibrosos.....	23
Figura 9: Tipos de orientación de composites fibrosos.....	23
Figura 10: Clasificación de polímeros	25
Figura 11: Curva exotérmica característica de una resina.....	35
Figura 12: Laminado manual	36
Figura 13: Brocha y rodillos.	37
Figura 14: Secuencia del laminado recomendada	38
Figura 15: Tableros.....	41
Figura 16: Conducción de calor a través de una pared plana	44
Figura 17: Corte frontal de caja para pruebas de transferencia de calor	45
Figura 18: Corte Isométrico de caja para pruebas de transferencia de calor.....	46
Figura 19: Caja para ensayos de acústica	47
Figura 20: Ruido rosa	48
Figura 21: Corte frontal de caja para medir el aislamiento acústico bruto y ruido aéreo.....	49
Figura 22: Máquina para prueba de impacto de materiales.....	50
Figura 23: Elementos para el desarrollo de pruebas de resistencia al fuego.....	53
Figura 24: Composite y sus elementos	56
Figura 25: Pesado de cal apagada	57
Figura 26: En 15 litros de agua se diluye 150gr de cal apagada	57
Figura 27: Bote de agua con cal apagada.....	58
Figura 28: Sumergir el aserrín en agua con cal apagada.....	58
Figura 29: Reposado 24 horas colocamos el aserrín en una funda de lienzo y lo lavamos completamente	59
Figura 30: Secado de la fibra de pino	59
Figura 31: Tamizado de la fibra de pino	60
Figura 32: Aserrín	60
Figura 33: Molde para el desarrollo de probetas	61
Figura 34: Materiales para el desarrollo del composite	62
Figura 35: Utensilios y equipo para el desarrollo del composite.....	63
Figura 36: Equipo para el desarrollo del composite.....	63
Figura 37: Herramientas para las pruebas de laboratorio	64

Figura 38: Caja para pruebas de acústica global y transferencia de calor.....	64
Figura 39: Instrumentos para medir la acústica.....	65
Figura 40: Instrumentos para medir transferencia de calor	65
Figura 41: Adecuación de moldes.....	67
Figura 42: Tamizado del aserrín	68
Figura 43: Pesado del aserrín de pino	69
Figura 44: Pesado de la resina poliéster.....	69
Figura 45: Mezclado de la resina poliéster con el cobalto y mek.....	70
Figura 46: Mezclado	70
Figura 47: Curado de la probeta	71
Figura 48: Desmoldado.....	71
Figura 49: Pesado de probetas.....	72
Figura 50: Medidas de la probeta.....	73
Figura 51: Pruebas a flexión	74
Figura 52: Probetas ensayadas y falladas	75
Figura 53: Resumen de la resistencia a flexión.....	76
Figura 54: Proceso del ensayo al impacto.	77
Figura 55: Probetas impactadas	78
Figura 56: Probetas para determinación de peso específico.....	80
Figura 57: Resumen del peso específico	81
Figura 58: Preparación de las probetas para los ensayos de la hinchazón y de la absorción de agua por inmersión total.....	82
Figura 59: Proceso para los ensayos de la hinchazón y de la absorción de agua por inmersión total.....	83
Figura 60: Resumen de la hinchazón.....	85

Figura 61: Resumen de la absorción	86
Figura 62: Probetas ensayadas para determinar la humedad	87
Figura 63: Resumen de resultados de la humedad	88
Figura 64: Resumen de resultados de la densidad	90
Figura 65: Artefactos necesarios para los ensayos de transferencia de calor	91
Figura 66: Gráfica de transferencia de calor de un material	92
Figura 67: Transferencia de calor	93
Figura 68: Elementos para determinar el aislamiento acústico bruto y ruido aéreo	94
Figura 69: Aislamiento acústico bruto y ruido aéreo.....	97
Figura 70: Ensayo de la resistencia al fuego.....	98
Figura 71: Análisis de flexión y densidad	101
Figura 72: Análisis de impacto y densidad	102
Figura 73: Humedad.....	104
Figura 74: Acústica	105

RESUMEN

En Ecuador de cada árbol el 40% se convierte en residuo por el proceso del cortado y el otro 40% en desperdicios de industrialización, entonces existe la necesidad de usar desechos resultantes de la industrialización de madera, en este trabajo se desarrolla un tablero de partículas madereras de pino mediante la unión de resina poliéster, luego se comprueba su factibilidad en la aplicación de usos arquitectónicos.

Uno de los principales inconvenientes en composites es la baja adherencia entre matriz-refuerzo, para mejorar este aspecto se realizó un tratamiento químico de hidróxido de calcio mejorando así sus propiedades a la fibra para las pruebas físico-mecánicas, de acuerdo con la baja densidad los mejores resultados se dan en pruebas de resistencia al impacto, acústica y transferencia de calor por su capacidad de absorber energía, absorción de ruido y disminución de la capacidad de conducir calor. Para las pruebas a flexión, hinchazón, absorción, resistencia al fuego requieren que las probetas sean más densas porque entre mayor densidad menor es su porosidad y aumenta la resistencia en estos ensayos.

PALABRAS CLAVES: Matriz polimérica; Polímeros; Composite; Resina; Fibras de madera.

ABSTRACT

In Ecuador, 40% of each tree, is turned into waste by the cutting process and the other 40% in industrialization waste, so there is a necessity to use this resulting waste from the industrialization of wood, this work develops a board of pine wood particles through the union of polyester resin, and then its feasibility is verified in application of architectural uses.

One of the main disadvantages in composites is the low adhesion between matrix-reinforcement; to improve this aspect, it has been made a chemical treatment of calcium hydroxide was carried out to improve fiber properties for physical-mechanical tests, according to low density the optimal results are given through tests of impact resistance, acoustics and heat transfer due to its ability to absorb energy, noise and decrease the ability to conduct heat. For tests to flexion, swelling, absorption, fire resistance require that the specimens are denser because higher density is less porosity and increases the resistance in these tests.

KEYWORDS: Polymer matrix; Polymers; Composite; Resin; Fibers wood.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se han desarrollado con más frecuencia composites en vista del aumento de biomásas forestales producidas a nivel mundial, surge con ello una preocupación de hacer uso de la materia residual para diferentes requerimientos dentro de la industria y construcción, ya que al utilizar dichos desperdicios se disminuye considerablemente el impacto ambiental, muchas disciplinas se han encaminado en dar solución a este problema y han planteado diferentes alternativas para mitigarlo. Dada la conveniencia y por ser materiales biodegradables se ha puesto en la mira a aquellos compuestos con fibras naturales, por ser más ventajosos en contraste con los que utilizan fibras de vidrio por ejemplo (Rodrigues, Souza, & Fujiyama, 2015).

Dentro de los composites con fibras naturales se encuentran los polímeros de madera (WPC) que son materiales que están compuestos de fibras lignocelulósicas y polímeros termoplásticos en porcentajes variables, están moldeados por extrusión y se consideran adecuados para la unión mecánica y técnica de maderas tradicionales, también en la actualidad existen materiales renovables y pueden emplearse polímeros reciclados con residuos de la industria de la madera, (Dimitriou, Hale, & Spear, 2016), las mismas que son biodegradables y no presentan efectos abrasivos.

Con refuerzo de polímeros se han hecho uso de matrices tanto termoplásticas como termoestables, las más utilizadas son las primeras. Los polímeros que más se usan para producción son: "Poliiolefinas, polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC) y Poliestireno (PS)", esto se debe a que se consideran los más adecuados dado su baja temperatura durante el procesamiento, (Dimitriou et al., 2016).

Dentro de los composites la resina más usada es la poliéster, que ofrece ventajas como la baja viscosidad, buena trabajabilidad, tiempo de curado rápido, muy alta contracción durante el curado, gran rango de aplicaciones debido a los diferentes tipos de resinas poliéster que pueden conseguirse, posibilidades de curado tanto a temperatura ambiente como a altas temperaturas, buena resistencia eléctrica, magnífica relación calidad/precio, buenas propiedades del composite, entre otras (Rodrigues et al., 2015), consiguiendo así composites con resistencia al fuego, alta resistencia a los rayos UV y a la humedad, con mayor resistencia química, con gran resistencia y mayor impacto, (Rodrigues et al., 2015).

En consecuencia de lo anterior, el objetivo en el presente trabajo es obtener una muestra de un composite de matriz polimérica con refuerzos de fibra de madera de pino para aplicaciones

arquitectónicas en espacios interiores, se hará uso de este tipo de madera en específico debido que en el Ecuador, “las principales especies implantadas son el Eucalipto, el Pino Radiata y la Teca”, (*Atlas Bioenergético del Ecuador, 2014*). En el caso de la ciudad de Loja una gran parte de la madera que se emplea es el pino, para el consumo en aserríos e industrias, su extracción proviene de los bosques renovables dentro de la provincia.

ESTADO DE CONOCIMIENTO

Actualmente los composites están siendo usados con más frecuencia debido sus múltiples beneficios (Dimitriou et al., 2016). El tamaño y la forma de las fibras usadas en materiales compuestos son aspectos relevantes para las características del material, “la fracción de madera en los materiales compuestos de WPC puede presentarse en partículas caracterizadas por una forma muy diferente, empezando por la madera pulverizada, pasando por el aserrín de sierra fijo y hasta algunas virutas milimétricas”, (Michalska-Pozoga, Tomkowski, Rydzkowski, & Thakur, 2016). En la actualidad se dan nuevas alternativas para sustitución de los compuestos reforzados con harina de madera (WPC - Wood-Plastic Composites), donde las propiedades resultan superiores, para fibras claramente inferiores, (V. et al., 2008).

La condición de refuerzo se debe a la resistencia de las fibras establecida por su dureza y forma, la compatibilidad con la matriz que supone una transmisión de esfuerzos apropiados y la cantidad de fibra en el compuesto final, condicionada por la orientación y ordenamiento de las fibras en la matriz, (Amigó, Salvador, & Sahuquillo, 2008) .

Últimamente las fibras naturales han sido apreciadas como agentes de refuerzo en materiales compuestos y han llegado a sustituir en parte a las fibras artificiales, lo cual hace que se convierta en un material atrayente por su abundancia con bajo costo y buenas propiedades mecánicas (Cuéllar & Muñoz, 2010), son biodegradables y no presentan efectos abrasivos como por ejemplo las fibras de vidrio. Con refuerzo de polímeros se han hecho uso de matrices tanto termoplásticas como termoestables, las más utilizadas son las primeras.

Las fibras naturales cuentan con múltiples propiedades que se convierten en una muy buena opción para ser usados como refuerzos en composites de matriz polimérica. Las características más notables al usar fibras naturales es que son recursos renovables y se degradan, por lo tanto su impacto ambiental es mínimo, sus costos son bajos al comparar con fibras de ingeniería como por ejemplo: el Kevlar o la fibra de vidrio, tiene bajo peso, alta resistencia a la tensión y un buen aislante térmico y acústico para hacer uso en aplicaciones arquitectónicas (Contreras, Hormaza, & Marañón, 2009).

Según (Rodrigues et al., 2015) los nuevos compuestos con fibras naturales son adecuados para el desarrollo sostenible, aprovechar la materia residual forestal para su aplicación arquitectónica contribuye con el medio ambiente, ya que alarga el ciclo de vida de cada material y logra dar un mayor valor para el cual estaba destinado. Las fibras naturales se utilizan como refuerzo, con mayor o mínimo acierto, entre las más conocidas están las de

yute, plátano, algodón, caña de azúcar, residuos forestales, coco y bambú principalmente, (Amigó et al., 2008).

Existen múltiples tipos de fibras naturales forestales como, por ejemplo: hierbas, cañas, hojas, tallos, semillas y fibras maderables, éstas últimas se las puede clasificar como fibras de madera duras y suaves, dentro de las maderas suaves se encuentra el maple, eucalipto y pino. Dentro de los estudios se ha profundizado en diferentes métodos de modificaciones superficiales a las fibras naturales para llegar a incrementar la adherencia de fibras naturales con matriz polimérica “entre ellos la incorporación de agentes compatibilizadores, plasma frío, corona, tratamiento con ozono entre otros”. Últimamente se ha estudiado el resultado método superficial de fibras celulósicas y polipropileno con ozono antes del mezclar con las fibras, y esto ha dado como resultado un aumento en la adhesión de las fibras de kenaf y ha mejorado el porcentaje de filtración del agua en la matriz de polipropileno.” Con un 0.5% en peso de MAN se incrementa significativamente el esfuerzo tensil y de flexión, la elongación a ruptura, y la resistencia al impacto, comparando con una muestra 100% polipropileno”, (Tapia, Paredes, Simbaña, & Bermúdez, 2006).

Las industrias automotrices están haciendo uso de los compuestos reforzados con fibras naturales. La firma Daimler Chrysler utiliza éstos materiales compuestos en 27 partes para automóviles, de marca Mercedes Benz, en sillas, compartimientos y tableros; la industria reconoce que al hacer uso de fibras naturales en materiales compuestos reduce el peso, genera comodidad debido a sus propiedades de amortiguamiento, tiene confort térmico, reduce el consumo de materiales fósiles, (Contreras et al., 2009). Desde el punto de vista tecnológico, los productos WPC pueden fabricarse fácil, rápido y con gran variedad de forma, empleando métodos de formaciones típicas de polímeros termoplásticos, tales como extrusión o moldeo por inyección, (Mazzanti & Mollica, 2015).

PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Hoy en día una gran cantidad de recursos no renovables son destinados a la construcción y esto ha provocado un aumento de la contaminación del medio ambiente, además de no ser sustentables su extracción y producción demanda un significativo consumo de materiales fósiles como el carbón, gas natural y petróleo aumentando así las emisiones de dióxido de carbono en el planeta, (Contreras et al., 2009).

Según el *Atlas Bioenergético del Ecuador* anualmente en Ecuador se registra una producción de residuos forestales de 206.519 toneladas. En el caso de la industrialización de madera procedente de bosques implantados, en un volumen de explotación de 840.000 m³/año se estima que se produce un potencial de residuos de 150.000 ts/año, donde no se incluye los volúmenes destinados a la industria del papel y a actividades artesanales, por otra parte, en los bosques nativos se estima un total de residuos de 850.000 ts/año por un volumen total de explotación de 2.590.000 m³/año. Debido a la importante cantidad de recursos forestales y materia residual que genera la explotación e industrialización de madera se hace necesario un estudio más detallado, especialmente enfocado a la reutilización de dichos residuos (*Atlas Bioenergético del Ecuador*, 2014).

Según el *Atlas Bioenergético del Ecuador* “los residuos forestales constituyen una importante fuente de biomasa, se estima que, por cada árbol utilizado para la producción maderera, sólo se aprovecha comercialmente alrededor del 20%, un 40% queda entre ramas y raíces y el restante 40% en el proceso de aserrado; en forma de astillas, corteza y aserrín”, en consecuencia, según los datos mencionados al hacer uso de materiales compuestos con residuos de madera que se propone utilizar se llegaría a usar aproximadamente el 60% de cada árbol (*Atlas Bioenergético del Ecuador*, 2014).

En la ciudad de Loja la mayor parte de los recursos con los cuales se construye no son renovables y se ha evidenciado una gran cantidad de residuos que no son aprovechados para un fin constructivo, por ello se ha considerado desarrollar un material compuesto utilizando dichos residuos para luego emplearlos en aplicaciones arquitectónicas.

Debido a los aspectos mencionados, es necesario generar nuevas alternativas de materiales para aplicaciones arquitectónicas, ya que al existir un gran volumen de materia residual podemos dar nuevas alternativas constructivas y sobre todo biodegradables, lo cual nos va a permitir que los costos sean más bajos y generaremos menos contaminación que las construcciones que se desarrollan hoy en día.

Actualmente varias disciplinas buscan fomentar el consumo responsable ya sea para la construcción o industria, pero el propósito siempre es estar relacionado con hacer uso de los recursos naturales de manera responsable y amigable con el medio ambiente por ello se han buscado nuevas alternativas de materiales como son los compuestos con fibras naturales, para esto se propone realizar un composite de matriz polimérica y resina poliéster con refuerzos de fibras de madera de pino para aplicaciones arquitectónicas en interiores, debido a sus múltiples beneficios en el confort térmico, acústico y la flexibilidad de usos dentro de la construcción y por su condición renovable.

OBJETIVOS

General:

Desarrollar un composite de matriz polimérica a base de fibras de madera de pino para aplicaciones arquitectónicas de interiores.

Específicos:

- Investigar fundamentos teóricos de composites desarrollados con resina poliéster y residuos de fibras de madera de pino de los últimos años.
- Evaluar física (peso específico, hinchazón, absorción, humedad, densidad, transferencia de calor, aislamiento acústico bruto, ruido aéreo, y resistencia al fuego) y mecánicamente (flexión e impacto) el compuesto de matriz polimérica con refuerzos de fibra de madera y resina poliéster.
- Evaluar la muestra desarrollada para aplicaciones arquitectónicas.

METODOLOGÍA

Para la realización de este trabajo se aplica principalmente dos métodos que son: método lógico deductivo y método experimental. Dentro de los capítulos uno y dos se desarrolla el método lógico deductivo y dentro de los capítulos tres y cuatro se desarrolla el método experimental, de acuerdo con el ensayo nos basaremos en las siguientes normativas:

La determinación y clasificación de tableros de partículas se ha hecho en base a la norma **UNE 56.707**.

El desarrollo de las probetas para los ensayos se ha realizado según dicta la norma **UNE 56.708**.

La determinación de la resistencia a la flexión se realiza de acuerdo con la norma **UNE 56.711**.

Para determinar la resistencia al impacto se usó la norma **ISO 10545-5**

La determinación del peso específico se obtuvo según la norma **UNE 56.709**.

Para la determinación de la humedad se hizo uso de la norma **UNE 56.710**.

Para determinar la hinchazón y la absorción de agua por inmersión total nos basamos en la norma **UNE 56.713**.

Para determinar la transferencia de calor de los materiales nos basamos en la **ley de Fourier de la conducción de calor**, del libro "*Transferencia de calor y masa*" (Cengel, 2007).

Para determinar el aislamiento acústico bruto y ruido aéreo se usó la norma **UNE 74-040-84(3)**.

Para la determinación de la resistencia al fuego se tomó como referencia las siguientes normas **NTE INEN 804 y NCh935/1 Of.97**.

CAPÍTULO I
MARCO TEÓRICO

1.1. Pino

1.1.1. Antecedentes del pino

El pino una especie maderera de la familia *pinaceae*, es la especie que con mayor frecuencia se usa al momento de reforestar, principalmente debido a su fácil adaptabilidad a diferentes climas y suelos relativamente desfavorables, otra ventaja del pino es su rápido crecimiento para abastecer de materia prima necesaria (madera, papel y más) (Murphy, 2002).

Se ha expandido por varios países del mundo debido a su capacidad de adaptarse en diferentes climas. En nuestro medio se utiliza su madera y se puede encontrar con facilidad en cualquier aserrío, por tanto, se ha decidido estudiar esta especie.

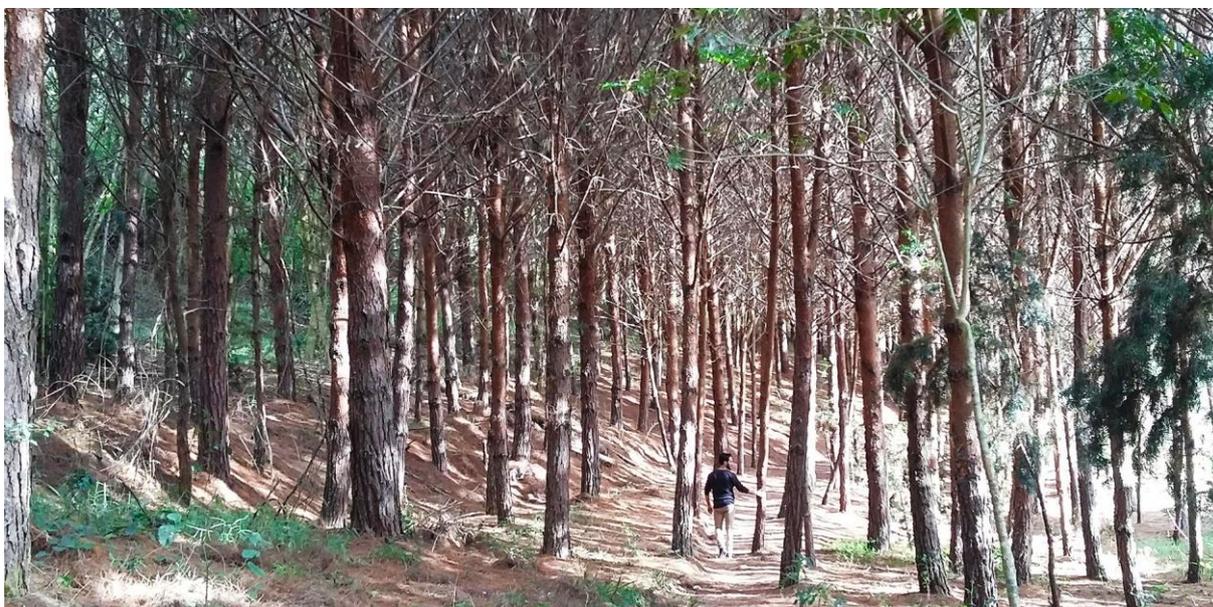


Figura 1. El pino.

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Tabla 1: Condiciones climáticas óptimas para el pino.

CONDICIONES CLIMÁTICAS ÓPTIMAS PARA EL PINO	
Temperatura en °C	11 a 17
Precipitación mensual en mm	800 a 1300
Rango altitudinal m.s.n.m	1800 a 3500

Fuente: (ECUADOR FORESTAL, n.d.)

Elaboración: La autora

1.1.2. Origen y distribución natural del pino

El pino es una especie originaria de California, de las regiones subtropicales de México, parte de la Sierra Madre Oriental y el norte del estado de Hidalgo hasta Cofre de Perote. En Colombia las especies han sido traídas de Sudáfrica y México, (Ospina et al., 2011).

En Ecuador el pino fue introducido por Luciano Andrade Marín en 1925, se dice que después del eucalipto es la especie forestal más sembrada en la Sierra. Se inició plantando en la provincia de Bolívar en la parroquia Simiatug y en Cotopaxi, las dos especies de pino *Radiata* y *Patula* que actualmente se da en gran parte de la Sierra ecuatoriana. Los árboles están plantados tanto en grandes macizos como en pequeños rodales o cortinas rompe vientos y tanto en el páramo como trepando por los cerros a más de 4000 m.s.n.m. (Murphy, 2002).

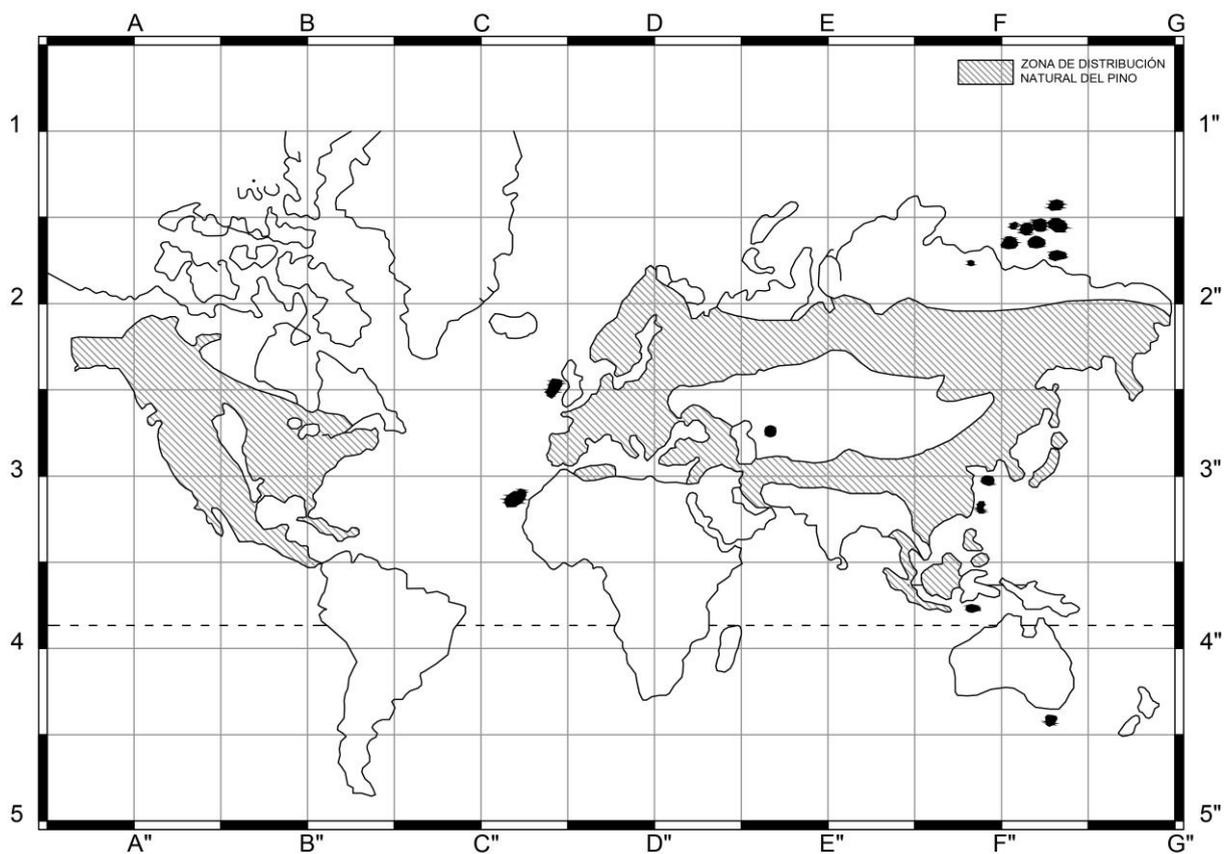


Figura 2. Zonas de origen y distribución natural de pino.

Fuente: (Dhote, 2018)

Elaboración: La autora

1.1.3. Distribución actual del pino

El pino actualmente se encuentra en Centro y Sur América (Argentina, Brasil, Venezuela, Colombia y Ecuador) se ha distribuido a Sudáfrica, África del Este (Malawi, Kenia, Tanzania, Uganda, Etiopía, Ruanda y Burundi), África del Oeste (Camerún, Nigeria y Congo), Nueva Zelanda y Australia (Queensland, Nueva Gales del Sur, Papua – Nueva Guinea) (Ospina et al., 2011).

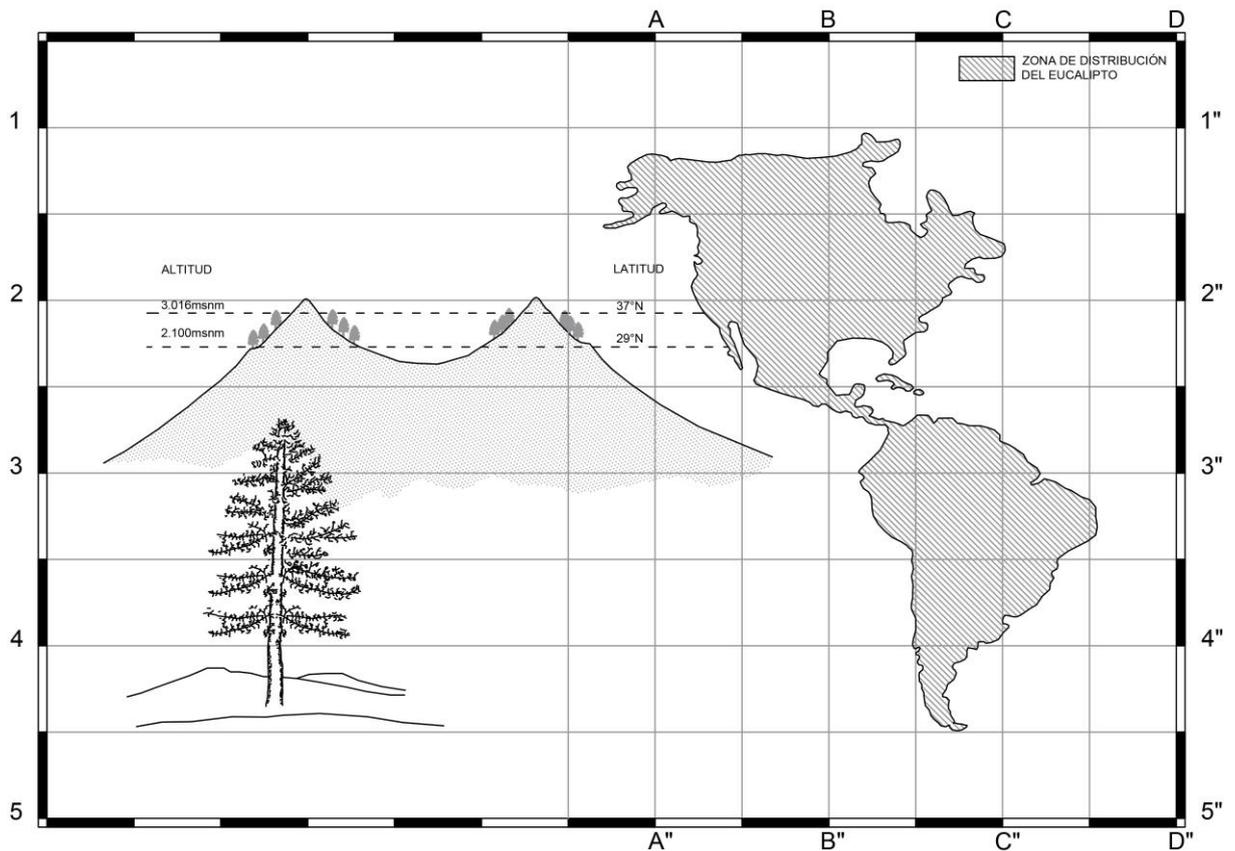


Figura 3. Zonas de distribución actual del pino.

Fuente: (Ospina et al., 2011)

Elaboración: La autora

1.1.4. Morfología general del pino

El pino es un árbol que de acuerdo con su edad puede alcanzar hasta 40m x 1.20m de diámetro, su tronco recto inicia tubular y termina cónico en casi toda su longitud, sus ramas se tornan des-uniformes y la copa es extendida con ramas largas y colgantes (Ospina et al., 2011).

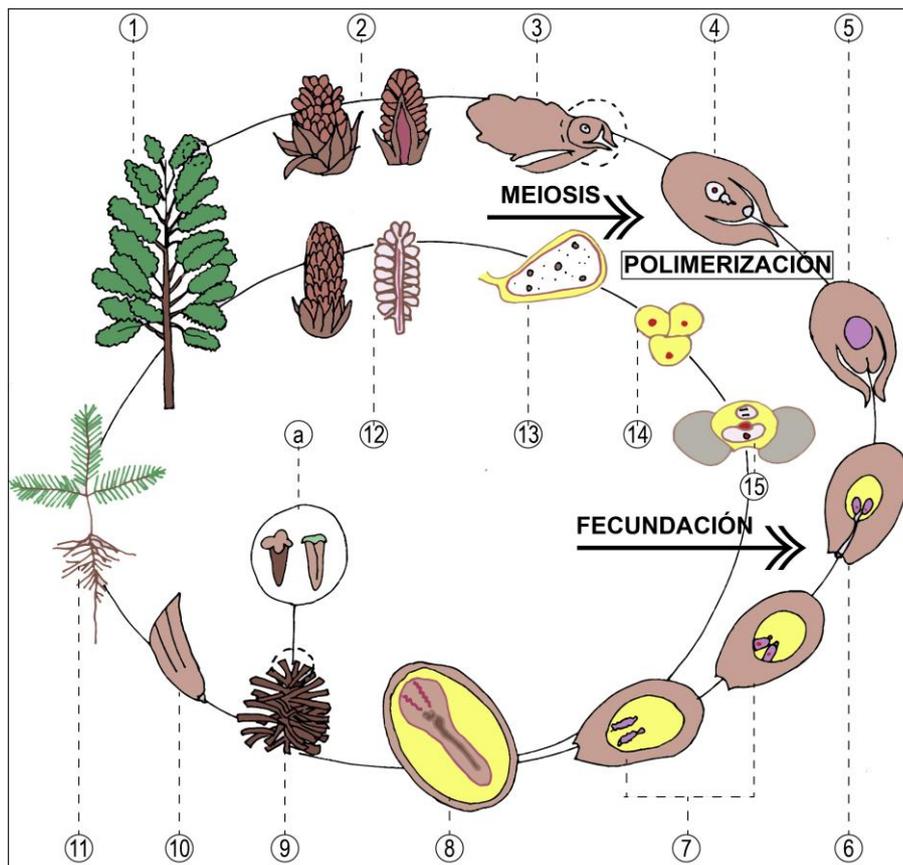


Figura 4. Esquema del Ciclo de vida del Pino.

1. Árbol o esporofito maduro
2. Inflorescencia femenina
3. Escama ovulifera
4. Gametofito haploide
5. MITOSIS/ Saco embrionario o gametofito femenino
6. Arquegonios
7. Proembriones
8. Embrión
9. Cono maduro
10. Escama seminífera
11. Semilla
12. Plántula
13. Flor masculina o cono portador de polen
14. Microsporocitos / Estambre o microsporofilo
15. Micrósporas
16. MITOSIS / Grano de polen o gametofito masculino

Fuente: (Ana Maria Gonzalez, 2012)

Elaboración: La autora

1.1.1.1. Hojas.

Normalmente están agrupadas de 3 ó 4 agujas de 0.20m, raramente presentan 2 ó 5, están persistentes en el árbol por 2 a 4 años y aunque alcanzan longitudes entre 0.15m y 0.30 m son flexibles. Sus péndulas son de color verdeazulado con los bordes finamente aserrados y dos haces fibrovasculares, las vainas de las acículas son de color ceniza persistentes y de 0.015m de largo y las yemas terminales son largas, erguidas y amarillentas (Ospina et al., 2011).

1.1.1.2. Flores.

Son hermafroditas, los capullos femeninos son de color púrpura, pedunculadas, solitarias o en pequeños racimos de hasta ocho escamas, con pequeñas espinas deciduas. Los capullos masculinos son amentos, ubicados en la parte terminal de las ramas, de color verde cuando jóvenes y amarillos al madurar, de hasta 0.01m de diámetro (Ospina et al., 2011).

1.1.1.3. Frutos.

De forma ovoidal, duros, punzantes, asimétricos, curvados en el extremo, persistentes en el árbol, de 0.04 a 0.12m de largo por 0.025 a 0.05 m de diámetro, dispuestos en pedúnculos cortos hasta de 0.015m y generalmente agrupados de tres a siete. Las escamas que recubren los frutos son redondeadas, con espinas gruesas de 0.02m de largo por 0.01m de ancho y se abren periódicamente (Ospina et al., 2011).

1.1.1.4. Semillas.

Pequeñas de forma casi triangular, de color marrón a negruzcas, de 0.003 a 0.005m de longitud, el ala que las recubre tiene 0.02m de largo y 0.01m de ancho, con líneas oscuras engrosadas al final, (Ospina et al., 2011).

1.1.1.5. Madera.

De color ligeramente amarillento, cuando se la corta presenta aroma agradable a resina, de durabilidad natural baja; por ello es susceptible al ataque de insectos xilófagos y de hongos. Tiene buena capacidad de secado tanto al aire libre como artificial, cuando se seca al aire libre suele presentar ligeras torceduras, por sus características favorables es ampliamente utilizada en los aserríos. Su densidad anhidra mediana es de 0,48 g/cm³ y su densidad básica varía entre 0,39 gr/cm³ y 0,43 gr/cm³ (Ospina et al., 2011). Su composición física es aproximadamente 60-75% de celulosa, 20-30% de lignina, 1-10% de extractos y 0-0.5% de ceniza (Marra,1992) y la composición química de la madera varía entre las especies.

Tabla 2: Propiedades físicas de la madera de pino.

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE PINO			
	Verde	Seco al aire	Básico
Densidad (gr/cm³)	1.04	0.48	0.39-0.43
	Tangencial	Radial	Volumétrica
Contracción normal %	5.2	3.0	1.73

Fuente: (Ospina et al., 2011) (ECUADOR FORESTAL, n.d.)

Elaboración: La autora

Tabla 3: Propiedades mecánicas de la madera de pino.

PROPIEDADES MECÁNICAS DE PINO			
	ELP	555.00	Kg/cm ²
FLEXIÓN ESTÁTICA	MOR	973.00	Kg/cm ²
	MOE	110.20	Ton/cm ²
	ELP	299.00	Kg/cm ²
COMPRESIÓN	MOR	434.00	Kg/cm ²
PARALELA	MOE	107.80	Ton/cm ²
COMPRESIÓN	ELP	74.00	Kg/cm ²
PERPENDICULAR	MOR	136.00	Kg/cm ²
	Lados	348.00	Kg
DUREZA JANKA	Extremos	472.00	Kg

ELP: Esfuerzo en el límite proporcional **MOE:** Módulo de elasticidad **MOR:** Módulo de ruptura

Fuente: (ECUADOR FORESTAL, n.d.)

Elaboración: La autora

1.1.5. Derivados del pino

Entre sus principales derivados se encuentran: Energía, biofertilizantes, suplementos alimenticios, sustancias bioactivas y productos naturales (cera, derivados clorofílicos, aceites esenciales y harina vitamínica), resinas y sus derivados (colofonia y trementina), mobiliario y tableros (muebles y tableros de partículas) (Esther et al., 2005).

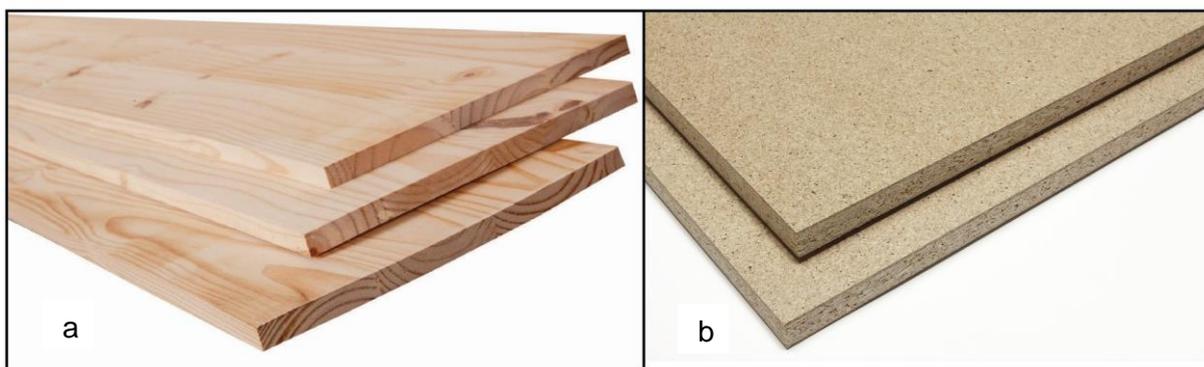


Figura 5. Derivados de pino.

a. Madera de pino

b. Tableros de partículas de pino

Fuente: (AKÍ, 2018) (Masisa, 2010)

Elaboración: La autora

1.1.6. Desechos de Pino

Actualmente la acumulación de residuos forestales se ha convertido en un problema, a pesar de que se puede dar uso a estos de una forma ecológica y económica como por ejemplo para generar energía alternativa, producir combustibles, usar en la industria farmacéutica, cosmética y en el sector agrícola, aun no se ha logrado aprovechar todos los beneficios de éstos residuos que siguen acumulándose y aumentando la contaminación ambiental (Esther et al., 2005).

Tabla 4: Cantidades de residuos de pino en Ecuador.

ATLAS BIOENERGÉTICO DEL ECUADOR	
Residuos forestales	206.519 ts/año
Industrialización, volumen de explotación	840.000m ³ /año (420.000 t/año)
Potencial de residuos a partir de la industrialización	150.000 ts/año
Bosques nativos	2.590.000m ³ /año (1.295.000 t/año)
Potencial de residuos a partir de la explotación de bosques nativos	850.000 ts/año

Fuente: (Atlas Bioenergético del Ecuador, 2014)

Elaboración: La autora

En los últimos años se ha visto las ventajas que brindan los desechos madereros al enfocarlos a los materiales compuestos, por ejemplo, la resistencia a las bacterias, al fuego entre otros aspectos son solo algunas de las ventajas que nos ofrecen los composites a base de fibra de pino.

Tabla 5: Características físicas de la biomasa.

FUENTE GENERADORA DE BIOMASA	TIPO DE RESIDUO	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS
	restos de aserrío: corteza, aserrín, astillas	polvo sólido, H 30-45%
RESIDUOS FORESTALES	restos de ebanistería: aserrín, trozos de astillas	sólido de baja humedad
	restos de plantaciones: ramas, corteza, raíces	sólido, H > 55%

Fuente: (Atlas Bioenergético del Ecuador, 2014)

Elaboración: La autora

1.1.7. Usos y aplicaciones de los residuos de pino en la ciudad de Loja

Según las encuestas realizadas a los aserríos que se indican en la Fig. 7 en la ciudad de Loja el pino se usa con fines madereros principalmente y sus residuos son usados básicamente para quema de ladrillos artesanales o abono, el resto se desecha y genera problemas de contaminación, debido a la elevada temperatura que adquieren estos desechos, al descomponerse mata la vegetación de su alrededor y se produce una serie de hongos perjudiciales para el medio ambiente y la flora en general.

Actualmente no se conoce el aprovechamiento de materiales compuestos con residuos de madera en la ciudad de Loja, según encuestas realizadas los principales usos de residuos en aserríos son destinados para quema de ladrillos, abono, camas de animales de granjas y relleno sanitario.



Figura 6. Usos comunes del aserrín de pino en la ciudad de Loja.

- a y b)** Preparación para quema de bajilla de cerámicas
- c y d)** Quema de cerámica
- e)** Prendida del horno para quema de ladrillos
- f)** Contaminación que genera la quema de ladrillos
- g)** Transporte de avícolas
- h)** Botadero de aserrín

Fuente: ("INFOMADERAS," 2014)

Elaboración: La autora

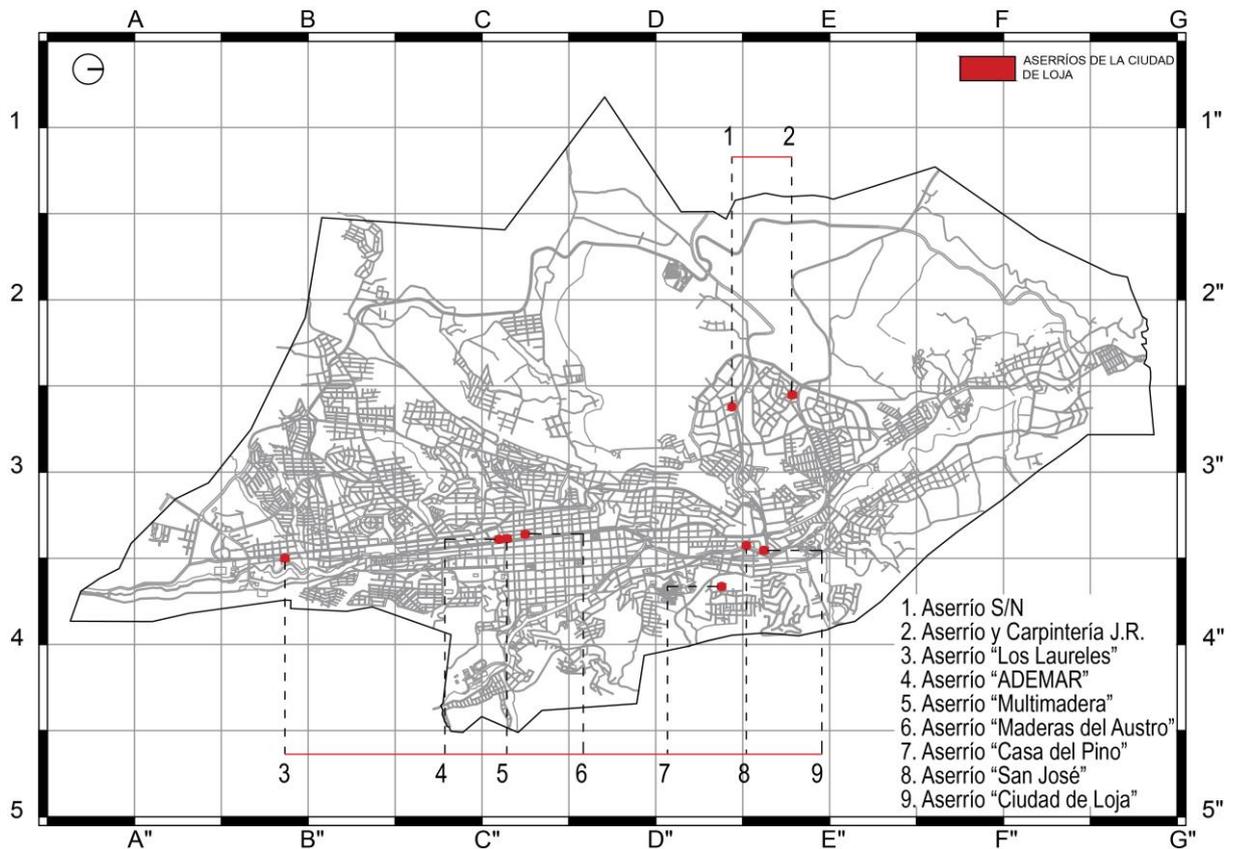


Figura 7. Mapa de aserríos encuestados en la ciudad de Loja.

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

1.2. Composites

Ahora se va a explicar de manera más detallada lo que son los composites o materiales compuestos, sus características, su clasificación y sus ventajas de aplicabilidad en diferentes disciplinas.

1.1.8. Definición

Composites es un término de reciente uso, se utilizó por primera vez en 1950 y una década después se fue conociendo en el mundo. Se considera a los composites como un sistema, son la unión de dos o más componentes y debido a ello sus propiedades son superiores a las que tendría un material individualmente, al estar unidas siguen manteniendo las características, pero además obtienen mejores (Wang, Zheng, & Zheng, 2011).

Tabla 6: Materiales compuestos.

	MATERIAL	MATRIZ	FIBRA / REFUERZO	
EN LA NATURALEZA	MADERA	RESINAS NATURALES	FIBRA DE CELULOSA	
	ANTIGÜEDAD	ADOBE BARRO YESO ARMADO YESO	PAJA CRINES DE CABALLO	
INVESTIGACION HUMANA PARA LA CONSTRUCCIÓN MODERNAS		HORMIGÓN ARMADO	ARMADURA DE ACERO	
		ADMIANTO	AMIANTO	
		CEMENTO	CEMENTO	
		MORTEROS Y HORMIGONES FIBROSOS	MORTERO	ACERO, VIDRIO, POLIMÉRICAS, CARBONO, VEGETALES.
		YESO ARMADO	HORMIGÓN	VIDRIO, POLIMÉRICAS Y VEGETALES
		COMPOSITES	RESINA	VIDRIO, POLIMÉRICAS, CARBONO Y ARAMIDA
		MORTEROS POLIMÉRICOS	RESINA	ÁRIDOS

Fuente: (Olivares Santiago, Galán Marín, & Roa Fernández, 2003)

Elaboración: La autora

1.1.9. Componentes de los composites

En general los composites están constituidos por dos etapas, la una la *matriz* que es la que menos resistencia tiene y la otra la *reforzante* que tiene mayor resistencia y módulo de elasticidad, entonces dureza y blandura, fragilidad y tenacidad hace que los composites bien diseñados tengan mayor número de aplicaciones y respondan a las necesidades constructivas. En definitiva, la fibra aporta rigidez y resistencia y la matriz es flexible y poco resistente, aglomera las fibras, les da forma y transmite los esfuerzos entre fibras (Olivares Santiago et al., 2003).

Se establecer tres tipos (*Figura 8*):

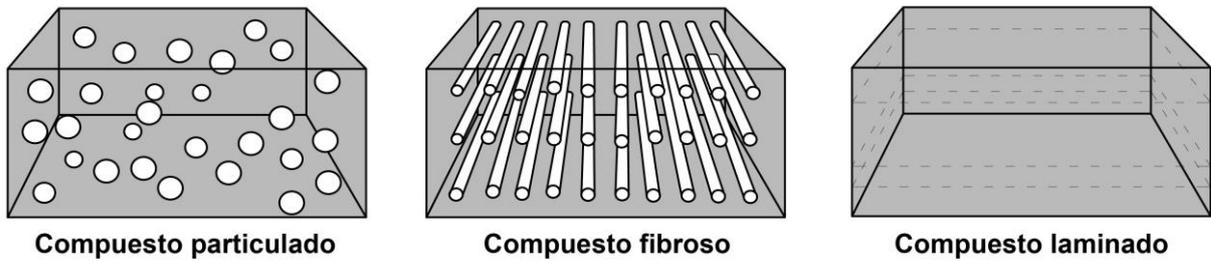


Figura 8. Tipos de orientación de composites fibrosos.

Fuente: (Olivares Santiago et al., 2003)

Elaborado: La autora

1.2.1.1. *Composites particulados.*

Cuya fase inmersa en la matriz está formada de partículas de forma aproximada a la esférica (Olivares Santiago et al., 2003).

1.2.1.2. *Composites fibrosos.*

Denominados así por su material de refuerzo que está compuesto por fibras. Al momento de colocar los refuerzos las fibras pueden estar orientadas de diferentes formas (Figura 9) (Olivares Santiago et al., 2003).

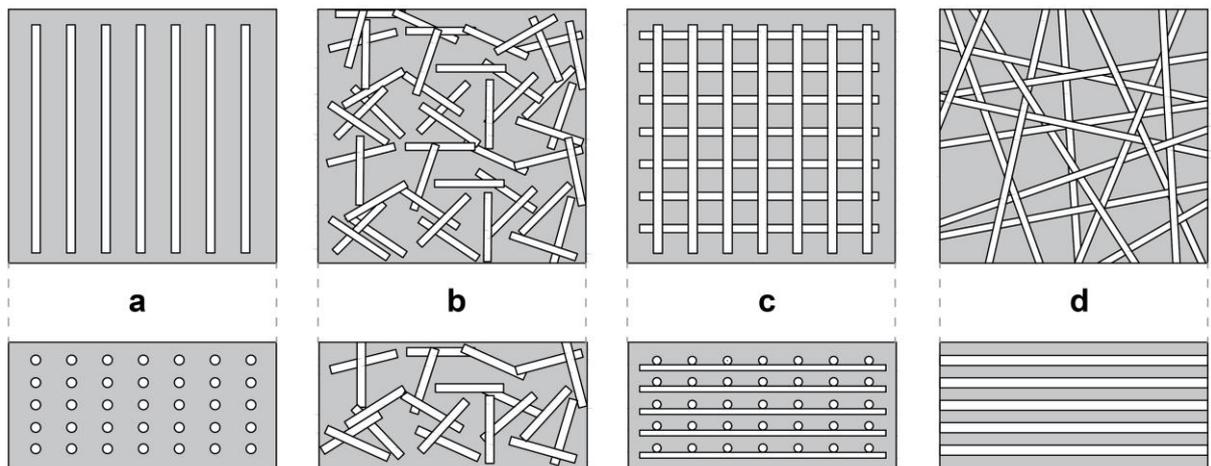


Figura 9. Tipos de orientación de composites fibrosos.

- a) de forma unidireccional (fibras largas)
- b) de manera aleatoria (fibras cortas)
- c) con disposición ortogonal (mallas ortogonales)
- d) en varias capas alternadas.

Fuente: (Olivares Santiago et al., 2003)

Elaborado: La autora

1.2.1.3. Composites laminados.

Son aquellos que se alternan las fases componentes en forma laminar y no siempre con espesores semejantes (Olivares Santiago et al., 2003).

1.1.10. Clasificación de los composites

Los materiales compuestos se clasifican en diferentes grupos dependiendo de su matriz, los más importantes son:

- Composites de matriz metálica
- Composites de matriz cerámica
- Composites de matriz polimérica
- Composites de matriz cementicia

(Besednjak, 2005)

1.1.11. Composite de matriz polimérica

Es el que se compone de un polímero y refuerzo de fibra, ya sea sintética u orgánica (Besednjak, 2005). Los composites de matriz polimérica son los más usados en la actualidad y también se les conoce como plásticos reforzados con fibras (Juan, Kirschenbaum, & Crowe, 2011).

Los composites de matriz polimérica poseen buenas propiedades mecánicas, resisten a la corrosión y agentes químicos, gracias a sus características flexibles de moldeado se puede lograr una variedad de formas con este material (Besednjak, 2005).

1.1.12. Polímeros

Polímeros proviene de los vocablos griegos polys (*mucho*) y meros (*parte*) y significa “muchos miembros o partes”. Químicamente se define a un polímero como material formado por grandes moléculas que se componen a partir de la agrupación de átomos simples, vinculadas entre sí por enlaces primarios, estas unidades estructurales simples dan origen a los polímeros llamados monómeros (Besednjak, 2005).

1.1.13. Clasificación

Existen varios tipos de polímeros, podemos clasificarlos en primera instancia según su origen (Besednjak, 2005):

- Polímeros naturales
- Polímeros sintéticos

Dentro de los polímeros naturales se encuentra la lana, la seda, el caucho natural, entre otros, mientras que entre los polímeros sintéticos están los plásticos, el caucho sintético, pinturas y recubrimientos, adhesivos, pegamentos, material textil sintético y resinas endurecibles (Besednjak, 2005).

De acuerdo con el comportamiento térmico los polímeros se clasifican en:

- Polímeros termoplásticos
- Polímeros elastómeros
- Polímeros termoestables

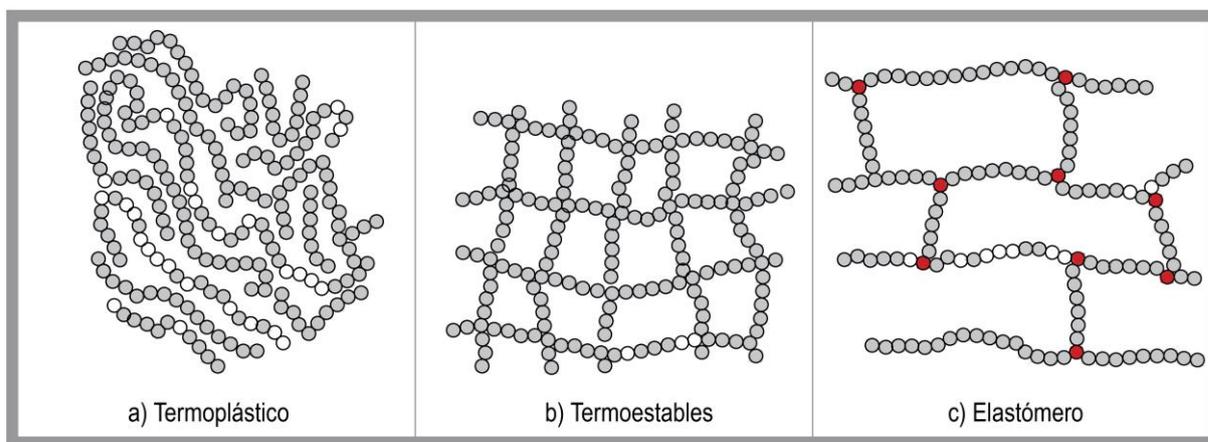


Figura 10. Clasificación de polímeros.

Fuente: (Besednjak, 2005)

Elaboración: La autora

1.1.14. Polímeros termoplásticos

Un termoplástico es un polímero que se ablanda o se funde al calentar y vuelve a un estado sólido durante el enfriamiento. Se pueden repetir múltiples ciclos de calentamiento y enfriamiento que permiten el reprocesamiento y reciclaje. Los polímeros termoplásticos son la clase más utilizada en todas las aplicaciones industriales, de hecho, el consumo de termoplásticos es aproximadamente el 80% del consumo de plástico total en el mundo. Los polímeros termoplásticos más comúnmente utilizados incluyen polietileno (PE) y copolímeros de etileno, polipropileno (PP), poliestireno (PS), policloruro de vinilo (PVC), poliamida (PA), policarbonato (PC), poli tereftalato de etileno (PET), poli tereftalato de butileno (PBT) y poli metacrilato de metilo (PMMA) (Scaffaro & Botta, 2014).

Los polímeros termoplásticos son aquellos que funcionan correctamente dentro de un rango de temperatura dado. Conocer el rango de temperatura en la que su composición química y sus propiedades permanecen sin cambios es un tema importante. (Okabe, Sasayama, & Koyanagi, 2014).

1.1.15. Polímeros elastómeros

Son aquellos que poseen cadenas con flexibilidad de movimiento molecular. Según *Besednjak* *“Presentan dobles enlaces a lo largo de la cadena, pero reticulados en menor extensión debido a sus características gomo-elásticas. Son infusibles e insolubles, pero hinchables”* (Besednjak, 2005).

Ejemplos de los elastómeros son: Caucho natural, caucho sintético, caucho nitrilo entre otros.

1.1.16. Polímeros termoestables

Son aquellos que no fluyen por efecto de la temperatura para ser moldeados, son polímeros entrecruzados que forman resinas rígidas y al estar sometidos a altas temperaturas se descomponen químicamente (Alves et al., 2016).

Según Alves, claros ejemplos de polímeros termoestables son: resina poliéster, resina vinilíéster, resina epóxica, resina fenólicas y otras (Alves et al., 2016).

Las resinas termoestables se mezclan con diferentes tipos de materiales de refuerzo para mejorar sus características mecánicas (Alves et al., 2016).

CAPÍTULO II
MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Matrices poliméricas

Las matrices establecen, junto con elementos de refuerzo, los dos materiales básicos e inseparables del composite. A continuación, se destacarán unas de las funciones principales que cumplen las matrices:

- Transmiten los esfuerzos a las fibras de refuerzo a través de la interfaz.
- Protegen las fibras de esfuerzos de compresión.
- Unen diferentes fibras de refuerzo por medio de fuerzas adhesivas.
- Aseguran las fibras de refuerzo de acuerdo con el orden preestablecido.
- Resguardan las fibras de los agentes externos como humedad, ataque químico, etcétera.

(Besednjak, 2005).

Tabla 7. Clasificación de matrices en los composites.

MATRICES POLIMÉRICAS U ORGÁNICAS	
<u>Termoestables</u>	Termoplásticas
<u>Poliésteres insaturados</u>	Nylon
Viniléster o ésteres vinílicos	Poliésteres saturados
Epoxi	Policarbonato
Fenólicas	Poliacetato
Polyimidas	Poliamida
	Poliéter-Éter Ketona
	Polisulfonato
	Elastómeros
	Poliuretano
	Siliconas

Fuente: (Olivares Santiago et al., 2003)

Elaboración: La autora

2.1.1. Propiedades de matrices poliméricas termoestables.

Tabla 8: Propiedades de las matrices poliméricas termoestables.

MATRICES TERMOESTABLES				
PROPIEDADES	POLIÉSTER INSATURADO (UP)	RESINA EPOXI (EP)	FENOPLASTOS (PF)	RESINA VINILIESTER (VE)
Densidad (g/cm ³)	1.17-1.26	1.17-1.25	1.25-1.3	1.17-1.25
Alargam. a rotura (%)	<3	6-8	<3	3.5-7
Fluencia	Muy baja			
Temperatura de moldeo (*C)	T.Amb. a 180	T.Amb. a 170	150 a 190	T.Amb. a 175
Temp. de rebland. (0 C)	80-160	80-130	100-150	100-150
Resistencia a deform.lérm. (*C)	55-90	60-110	150	55-85
Cualidades de flujo a temper. trabajo	Muy buenos (fluidos)			
Calor de reacción	Reacción exotérmica con mayor desarrollo térmico según la pieza			
Contracción fraguada (%)	6-10 1.8*2.4	1-3	0.5-1.5	0.1-1
Contricciones desiguales	Contracción compensable por adición de partículas termoplásticas			
Contracción posterior (%)	Para mesas de molde casi nula			
	<3	Nula	<0.4	Nula
Tiempo de almacenaje (meses)	<6 sin aire/luz	6-12 según present	<6 sin hum. A T.Amb	<6 a T.Amb
Resistencia	Aguas acuosas Fuel Gasolina	Alcohol Gasolina, Benzol A. miner Grasas	Agua Aceites, Grasas, Gasolina, Benzol Alcohol	37% HCL Diosx.clor Agua mar Alquitranes
No resistencia a	Agua hirv Ácidos c., Lejía c., Benzol Alcohol Toluol	Agua hirv Ésteres c. Álcalis c. Cetonas Acetonas	Ácidos y Álcalis c. concentr	SO ₄ Il ₂ (75%) Agua hirv. NaOCl(6%) NaOIl(15%)
Inflamabilidad	No autocxtng	Deficilm. Inflamable Arde	Dific. Inflamable No funde	No Autocxtng.
Reparación	Sobre laminación y encolado			

Fuente: (Olivares Santiago et al., 2003)

Elaboración: La autora

3.1.1. Tratamiento superficial de fibras en matriz polimérica

Existen algunos tipos de tratamientos para las fibras naturales, los más comunes son los que se mencionarán a continuación debido a sus facilidades para adquirirlos. Según Macías A, el tratamiento con hidróxido de calcio es de todos el más económico y el que contiene menos grado de riesgo, siendo su peligro muy bajo (Macías Almazán, 2014).

2.1.1.1. Tratamiento con hidróxido de calcio o cal muerta

Se considera pertinente emplear este proceso debido a la facilidad y economía para adquirirlo, los beneficios que se pueden lograr y sobre todo al no tener riesgos tomando en cuenta unas normas de seguridad muy fáciles. Para el desarrollo del mismo no se requiere de grandes componentes, además su proceso es bastante rápido y deja muy buenos beneficios (Macías Almazán, 2014).

El primer paso que damos es disolver la cal con agua, la cal apagada tiene características de sustancias alcalinas las mismas que son útiles para evitar daño a la matriz adherente. Siguiendo con el proceso dejamos reposar el agua con la cal apagada por 72 horas, pasado ese tiempo agregamos la fibra de madera sumergiéndola totalmente, nuevamente dejamos reposar por 24 horas, terminado ese tiempo sacamos la fibra y lavamos con agua a temperatura ambiente hasta quitar toda la cal, posterior a ello procedemos a secar la fibra en un horno a 100 °C aproximadamente (hay que tomar en cuenta que no debemos sobrepasar los 120°C para evitar la calcinación de la fibra), terminado el proceso de secado la fibra estará lista para la realización del material compuesto, (Macías Almazán, 2014).

2.1.1.2. Tratamiento de Hidróxido de Sodio

Para lograr una mayor eficiencia de adherencia de la fibra, se ha determinado hacer algunos tratamientos superficiales. El procesamiento es un “tratamiento alcalino que rompe enlaces de hidrógeno presentes en la estructura química de la fibra y remueve lignina, cera y aceites, compuestos que recubren la superficie externa de la pared celular”. Hay que tomar en cuenta tipo y concentración de la solución alcalina, la temperatura de proceso, la duración del tratamiento, la especie vegetal fuente de la fibra son variables que afectan la efectividad del proceso, (Arnoldo E. Delgado, William Aperador, 2014).

La realización de este proceso es principalmente para quitar impurezas que se encuentren en las fibras. La fórmula del tratamiento a desarrollar para quitar impurezas de la fibra y aumentar el área superficial de esta es: $\text{Cell} - \text{OH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{Cell} - \text{O}^- \text{Na} + \text{H}_2\text{O} + \text{Impurezas de la superficie}$ (Hidróxido de sodio, ácido acético glacial, agua destilada) (Arnoldo E. Delgado, William Aperador, 2014).

3.1.2. Resinas

Según M. Olivares Santiago, C. Galán Marín, J. Roa Fernández, las resinas a parte de sus especificaciones, también se les puede encontrar características como: baja viscosidad antes del curado, estabilidad térmica, baja fluencia y relajación por tensión, buena capacidad de pre-impregnado, facilidad de fabricación y economía (Olivares Santiago et al., 2003).

Existen varios tipos de resinas que son:

- Resina poliéster
- Resina Viniléster
- Resina Fenólicas
- Resina Epóxica

A continuación, nos concentraremos en la resina poliéster ya que en ella se centra el desarrollo de este trabajo.

3.1.3. Resina de poliéster

La matriz del composite es de resina poliéster, su color es transparente de apariencia líquida-viscosa, la misma que actúa con la unión de aditivos. Dentro de la ciudad de Loja se la puede encontrar con facilidad en las marmolerías (Besednjak, 2005).

La resina poliéster viene en un estado líquido-viscoso, se llega a solidificar con la ayuda de un catalizador en el caso de la resina pre-acelerada y en el caso de la resina pura se la lleva a un estado sólido con la ayuda de un acelerador y un catalizador (Gil, 2012).

Dentro de este proceso se hizo uso de la resina termoestable (plástico termoestable) para el desarrollo del composite. Se considera una de las resinas más utilizadas, se comercializa industrialmente y se puede tener una garantía de esta. La resina Poliéster se disuelve hasta obtener la fluidez suficiente para lograr que las fibras absorban. Por lo general viene acompañada de un acelerador para que ayude al catalizador a descomponerse, para así empezar la reacción química de reticulación (Besednjak, 2005).

Los beneficios de las resinas poliéster son:

- *“Baja viscosidad, buena trabajabilidad”.*
- *“Tiempo de curado rápido”.*
- *“Muy alta contracción durante el curado”*
- *“Gran rango de aplicaciones debido a los diferentes tipos de resinas de poliéster que puedan conseguirse”.*
- *“Posibilidades de curado tanto a temperatura ambiente como a altas temperaturas”.*

- *“Buena resistencia eléctrica”.*
- *“Magnífica relación calidad/precio”.*
- *“Buenas propiedades del composite, aunque inferiores a las conseguidas con otras resinas”.*

(Olivares Santiago et al., 2003).

2.1.1.3. Diferencia entre plásticos termo estables y plásticos termo plásticos.

Los plásticos termoestables son aquellos que requieren de un catalizador para cambiar su estructura a una distinta, una vez que esto suceda no puede volver a su estado natural, a diferencia de los plásticos termo plásticos (Gil, 2012).

3.1.4. Formulación

Para el proceso del desarrollo de aplicación de la resina no se puede definir especificaciones para determinadas aplicaciones, es un tanto compleja y varía de acuerdo con diferentes factores ambientales, por ejemplo:

- La transformación de líquido a sólido se llama curado, la misma que suele venir acompañada con una reacción exotérmica (desprendimiento de calor).
- Este cambio de estado no se presenta inmediatamente, se adicionan los promotores de curado (acelerador y catalizador), es una reacción que ocurre a medida que pasa el tiempo y se genera de forma gradual, pasando de estado líquido a estado gelatinoso (conocido como estado o tiempo de gel) y finalmente ha estado sólido.
- En las resinas de poliéster el acelerante o acelerador se llama octoato de cobalto y el catalizador se llama mek (metil-etil-cetona) peróxido.

(Gil, 2012)

3.1.5. Propiedades

No se ha podido definir con exactitud las propiedades genéricas de la resina poliéster, por su variedad y por estar constituidas para requerimientos específicos:

- Cuando la resina pasa de estado de gel a sólido se conoce como curado, para que se dé el endurecimiento la resina misma tiende a desprender calor.
- Durante el proceso de solidificación tienden a contraerse entre el 6 al 10%, considerándose sus puntos débiles.
- El proceso de curado se produce de forma progresiva, al adicionar el catalizador se llega a un punto de gel y cuando se adiciona acelerador llega alcanzar un punto sólido.

- La resina poliéster siempre usa un acelerante que es el cobalto y un catalizador que es el peróxido metil-etil-cetona.

(Gil, 2012)

3.1.6. Aditivos para resina poliéster

Cada uno de los aditivos tiene una función primordial, primeramente, se pesa la resina en gramos y dependiendo del peso agregamos el 1.5% de cobalto en ml y el 2% de mek en ml, la mezcla se la realiza primero la resina con el cobalto lo que nos da un color entre rosa y lila, luego agregamos el mek que nos da un color café oscuro, ahí es cuando procedemos a mezclar con la fibra (Ruiz Cueva, 2016).

3.1.7. Catalizador para resina poliéster

Catalizador es una sustancia líquida, que tiene por objetivo iniciar el proceso de gelificación, por lo general son orgánicos, uno de ellos es el peróxido de etilmetilcetona o más conocido como mek.

3.1.8. Aceleradores para resina poliéster

El acelerador en la resina poliéster es el cobalto, tiene propiedades que son capaces de acelerar el proceso de secado de la resina, se presenta en estado líquido denso de color morado, que al mezclarse con la resina da un color entre rosa-lila.

3.1.9. Proceso de curado de resina poliéster

Los principales factores que intervienen en el proceso de curado son:

- El tipo y referencia de resina empleada.
- La temperatura ambiente (La mayoría de las resinas no curan a temperaturas inferiores a 16 °C).
- La naturaleza y cantidad de catalizador y acelerador (A mayor cantidad de ambos, menos tiempo de gelificación).
- La naturaleza y cantidad de las cargas (Si estas son elevadas retrasan el curado).
- La humedad relativa (Es necesario mantener una humedad relativa entre 40 y el 54 %).
- El exceso de exposición al sol (El incremento de la temperatura del proceso, la cual reduce el tiempo de gelificación).
- A temperatura ambiente no se debe sobrepasar los 27°C por cuestiones puramente lógicas.
- Espesor del laminado (Cuyo aumento es proporcional al tiempo de gelificación).

(Gil, 2012)

Tabla 9: Tipos de resinas de poliéster más utilizadas y sus aplicaciones.

TIPOS	APLICACIONES
Ortoftálicas	Semirrígidas: estratificados industriales, placas onduladas. Rígidas: barnices, pre-impregnados.
Isoftálicas	Gel coats, depósitos, ingeniería química...
Tereftálicas	Ingeniería química, estratificados con alta resistencia química.
Tetrahidroftálicas	Barnices, depósitos de alimentos, cubas.
Bisfenólicas	Aplicaciones anticorrosión, alta resistencia química.
Resinas del ac. tetraeloroftálico	Comportamiento al fuego mejorado.
<u>Resinas del ac. Het</u>	Resistencia al fuego, anticorrosión.
Resinasal MMA	Estratificados para el transporte, placas, cúpulas.

Fuente: (Olivares Santiago et al., 2003)

Elaboración: La autora

3.1.10. Proceso de curado de las resinas

Se llama proceso de curado donde la resina se transforma de un estado líquido a sólido. Para que este cambio se realice, es necesario adicionarle diferentes sustancias, con el catalizador y el acelerador. Al momento de que se mezcla, se puede decir que el proceso de endurecimiento ha empezado. En la fig. 11 se puede observar que no existe un incremento notable de la temperatura de mezcla, pero si empieza a aumentar su viscosidad hasta transformarse a punto de gel y determinar las limitantes de tiempo de trabajo de la resina (Besednjak, 2005).

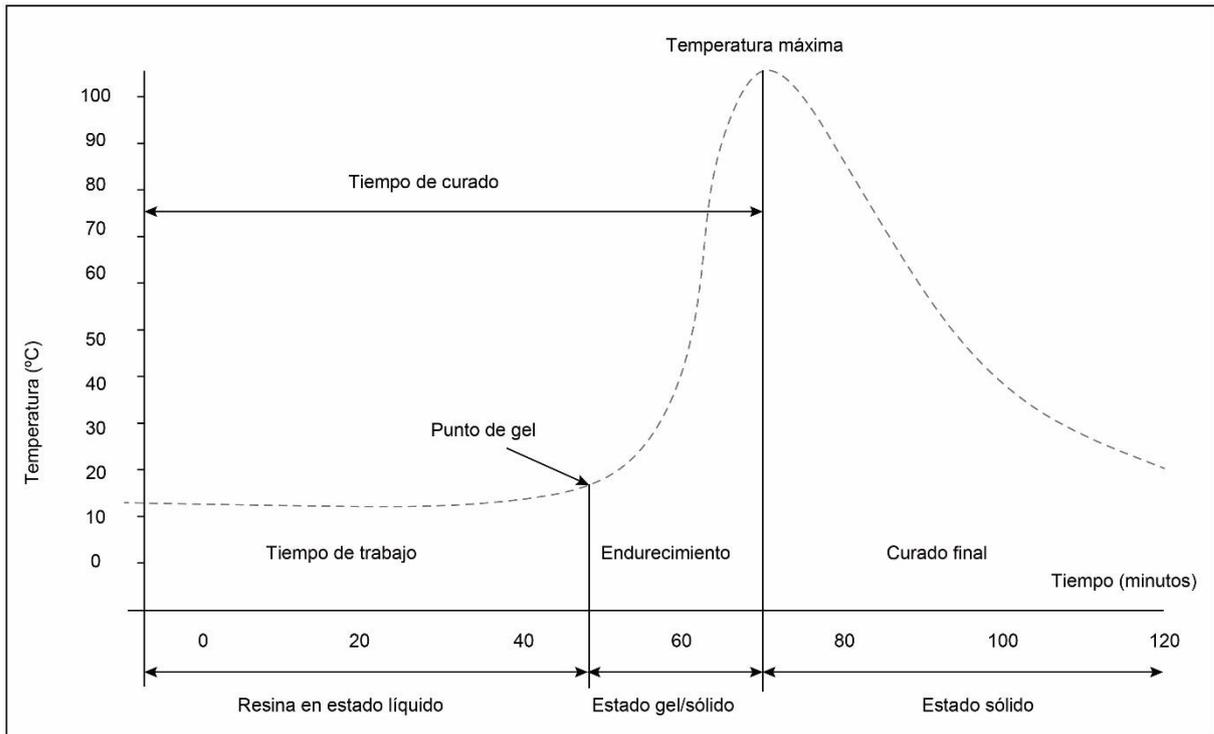


Figura 11. Curva exotérmica característica de una resina.

Fuente: (Besednjak, 2005)

Elaboración: La autora

Después de un estado de gel empieza el endurecimiento de la resina, al alcanzar la temperatura máxima, ésta empieza a descender de manera muy lenta hasta alcanzar temperatura ambiente, esto varía de acuerdo con el tipo de resina. La resina poliéster necesita una temperatura de 20°C por un tiempo de 24 a 48 horas para lograr un 90% de curado, sin embargo podemos extraer la pieza del molde a partir de las 8 horas de curado, pues en este lapso la resina ha adquirido la mayor parte de sus características físicas y químicas, para que adquiera su totalidad de características tardaría unas semanas o incluso un mes (Besednjak, 2005).

3.1.11. Descripción del proceso

El curado de la resina empieza cuando ésta cambia de estado líquido a sólido, se desarrolla en tiempos y por temperaturas, inicia llegando a la temperatura máxima y lentamente empieza a bajar hasta llegar a temperatura ambiente, este proceso se denomina polimerización. Todo depende también del catalizador para curado de resinas. En la actualidad las resinas vienen con catalizador incorporado con su dosis exacta, debido a que anteriormente se han producido muchos accidentes por el uso exagerado del mismo (Besednjak, 2005).

La resina es trabajable cuando está en un estado gelatinoso ya que nos permite moldear a gusto y se puede hacer innumerables formas dependiendo la necesidad (Besednjak, 2005).

3.1.12. Proceso de fabricación de un composite de matriz polimérica

Existen dos maneras de fabricar materiales compuestos, la primera forma a molde abierto y la segunda a molde cerrado. En este caso estudiaremos el proceso de molde abierto ya que este nos sirve para el desarrollo del presente trabajo (Besednjak, 2005),.

3.1.13. Proceso de molde abierto

A continuación se explicará todo el desarrollo que contempla el proceso de molde abierto.

2.1.1.4. Proceso manual para laminados

El laminado manual se encuentra entre las técnicas de molde por contacto, es una de las más antiguas entre las técnicas de fabricación de materiales compuestos.

Principalmente la técnica de laminado por contacto aprovecha las ventajas de los sistemas de matrices poliéster y viniléster en el proceso de curado, esta no requiere del calor externo para su procesamiento de polimerización ni de alta presión de molde para su estratificación. Se considera que todo depende del operario para desarrollar ésta técnica sencilla que se la realiza de manera artesanal, en la actualidad se ha ido desarrollando con más frecuencia debido a que se puede lograr diferentes formas geométricas y tamaños (Besednjak, 2005).

2.1.1.5. Concepto fundamental

El desarrollo del laminado manual consiste en la acumulación sucesiva de capas de material de refuerzo sobre un determinado molde, para así irse compactando con la resina de manera gradual con aplicación de rodillos y brochas (Figura. 14) (Besednjak, 2005).

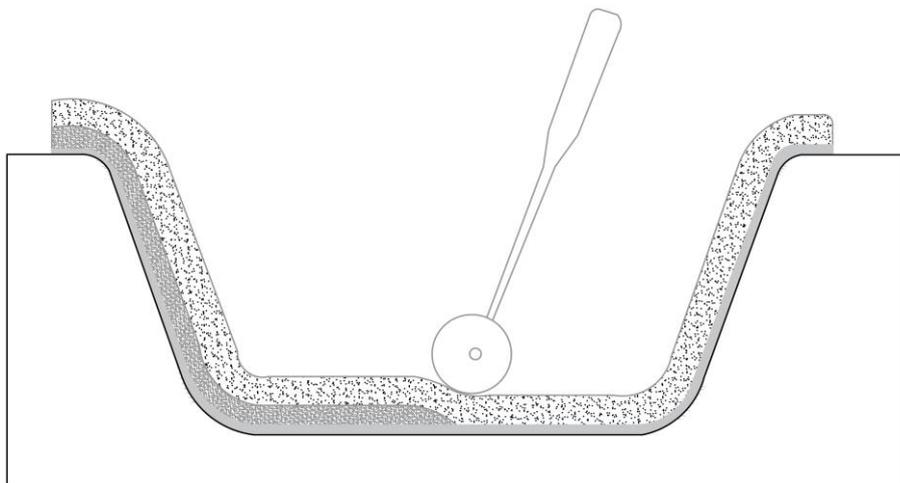


Figura 12. Laminado manual.

Fuente: (Besednjak, 2005)

Elaboración: La autora

Pasar el rodillo sobre la superficie ayuda a:

- a) La compactación del refuerzo
- b) Evitar que queden burbujas de aire entre las capas del estratificado.

2.1.1.6. Herramientas

Existen dos grupos de herramientas para la aplicación de la técnica manual.

- Herramientas de laminado
- Herramientas de corte

Las herramientas necesarias para el desarrollo de laminados permiten unir la fibra de refuerzo con la resina, compactar las capas y eliminar burbujas de aire que por lo general suelen quedar atrapadas dentro de los laminados. Para este proceso son necesarios los rodillos, espátulas y brochas, los rodillos son ideales para la distribución de la matriz polimérica uniforme, el rodillo más apto para esto es el rodillo de lana debido a la resistencia que tiene a los componentes químicos de la resina, por ello no se ve afectado y es más duradero (Besednjak, 2005).

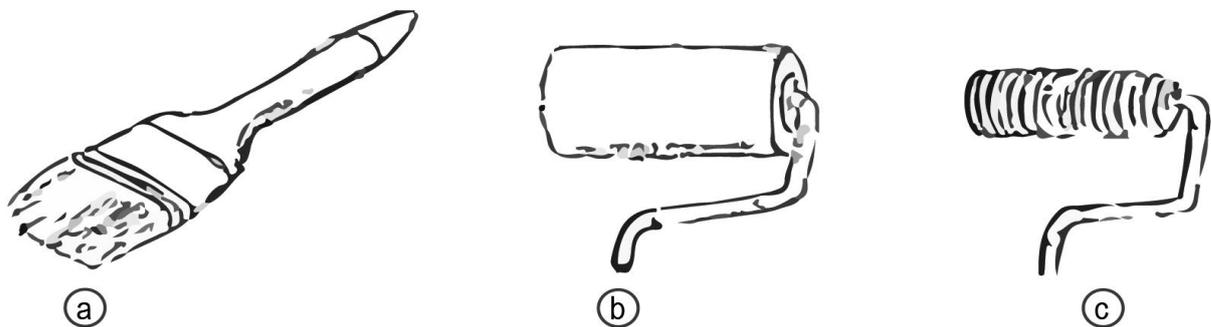


Figura 13. Brocha y rodillos.

- a) Brocha
- b) Rodillo de lana
- c) Rodillo metálico

Fuente: (Besednjak, 2005)

Elaboración: La autora

2.1.1.7. Materiales

- Matrices

Con el método de laminado manual se pueden emplear la mayoría de las matrices poliéster, vinilíéster y epoxi. Tenemos que tomar en cuenta que su viscosidad debe encontrarse entre los 300 a 600 cPs (Ciclos por segundo) para facilitar el desarrollo del trabajo al momento de impregnarse, generalmente se usa en mayor porcentaje de resinas que no requieran del

proceso de curado o post-curado, pero también se puede realizar en matrices más complejas. Se puede poner cargas y aditivos en las resinas para adquirir mejores propiedades, (Besednjak, 2005).

- **Refuerzos**

Los tejidos o refuerzos también se pueden aplicar en el laminado manual, pero existe recomendaciones para mejorar su calidad en las piezas.

Es importante que el trabajo se lo haga considerando las recomendaciones, una de ellas es que la primera capa de contacto con el molde deberá ser un velo de superficie, depende de ello el aspecto de la superficie de la pieza, esto disminuirá el riesgo de aparición de la osmosis de las piezas al ponerse en contacto con el agua (Besednjak, 2005).

Hay que tomar en cuenta el riesgo que se puede correr al hacer piezas de tamaños muy grandes, se debe realizar el estratificado por partes para evitar el calentamiento que genera la reacción exotérmica de la matriz, además para que el laminado salga uniforme y con las mejores características se debe adquirir una superficie lisa que se logra gracias al uso de los fieltros (antes de la realización de la misma tomar en cuenta que los moldes estén libres de polvo o algunas impurezas) (Besednjak, 2005).

Al terminar con el proceso la lámina final debe presentar un aspecto uniforme, éste es el objetivo de utilizar el fieltro sobre las capas finales de laminados.

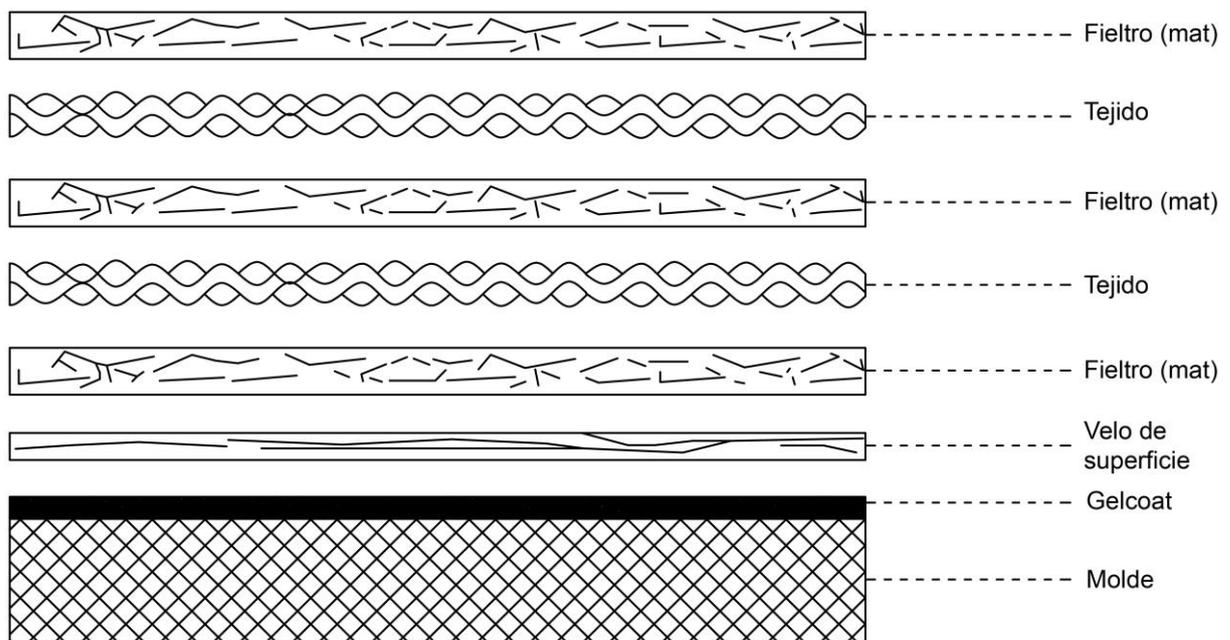


Figura 14. Secuencia del laminado recomendada.

Fuente: (Besednjak, 2005)

Elaboración: La autora

Hay que tomar en cuenta si debido al tamaño de las piezas los tejidos no pueden ser colocados enteros, habrá que realizar traslapes, el ancho de traslape mínimo es de 50mm, todo dependerá del material de refuerzo y de la matriz que se está desarrollando. Para ello se debe variar los traslapes de una misma capa, también se debe distribuir los traslapes entre capas para lograr mayor uniformidad en los laminados (Besednjak, 2005).

2.2. Composites derivados de la madera

Existen una variedad de materiales compuestos derivados de la madera, en la actualidad son muy usados por sus múltiples beneficios como por ejemplo el tamaño, resistencia a los parásitos, economía y facilidad de conseguirlos.

3.1.14. Maderas prefabricadas

Las maderas prefabricadas son aquellas que se obtienen a partir de los residuos de madera natural. Por lo general se venden en forma de láminas o planchas de distintos grosores. Estas maderas son más empleadas en la actualidad en vez de las maderas naturales por diversas razones:

- Se los puede obtener de cualquier tamaño, mientras que las maderas naturales no.
- Tienen mejor trabajabilidad que las naturales.
- Tienen menor posibilidad de ser atacados por roedores de madera.
- Son más económicas que las naturales

(Masisa, 2010).

3.1.15. Referente de maderas prefabricadas.

Dentro de las referencias se ha tomado como base los prefabricadas de *MASISA* y *Pelikano* que están disponibles en el mercado. Se ha tomado como referencia productos de esta fábrica ya que son los más comunes y usados en el medio, estos nos servirán para hacer comparaciones y en base a ello determinar aplicaciones dentro de la arquitectura de interiores:

3.1.16. Tablero MDP

Es un tablero de partículas de densidad media, su adherencia se da gracias al proceso de prensado continuo dando un resultado de alta definición entre capas finas y gruesas (Figura 15, literal a).

MDP son aptos para aplicaciones de muebles de líneas rectas, residenciales y comerciales en usos como: laterales, puertas, traseras, entre otros. Y como revestimiento de tabiques, muros y pisos en zonas no expuestas a la humedad (Masisa, 2010).

Tabla 10: Especificaciones de dimensiones de tablero MDP.

ESPECIFICACIONES DE DIMENSIONES DE TABLERO MDP		
Formato	(mts)	1.52 x 2.44*
Espesor	(mm)	9, 12, 15*, 18*, 24, 32

Fuente: (Masisa, 2010)

Elaboración: La autora

2.2.1.1. Tablero MDP melamina

Es un tablero aglomerado de partículas, recubierto por ambas caras con láminas impregnadas con resinas melamínicas, lo que le otorga una superficie totalmente cerrada, libre de poros, dura y resistente al desgaste superficial. También cuenta con protección antimicrobiana exclusiva, que disminuye hasta en un 99,9% la presencia de bacterias y moho en la superficie de los muebles (Figura. 15, literal b).

Para que este tablero sea antimicrobiano se usa un aditivo natural que tiene un rendimiento de protección anti-microbial (Masisa, 2010).

Tabla 11: Especificaciones de dimensiones de tablero MDP Melanina.

ESPECIFICACIONES DE DIMENSIONES DE TABLERO MDP MELANINA		
Formato	(mts)	1.83 x 2.50
Espesor	(mm)	9*, 15, 18, 24*

Fuente: (Masisa, 2010)

Elaboración: La autora

2.2.1.2. Tablero MDP enchapado

Es un tablero recubierto por ambas caras con chapas de maderas naturales seleccionadas y unidas entre sí. Sus principales ventajas son: grandes dimensiones, variedad de especies, superficies finamente pulidas y libres de imperfecciones, fáciles de teñir o barnizar (figura. 15, literal c) (Masisa, 2010).

Tabla 12: Especificaciones de dimensiones de tablero MDP Enchapado.

ESPECIFICACIONES DE DIMENSIONES DE TABLERO MDP ENCHAPADO		
Formato	(mts)	2.40 x 1.50
Espesor	(mm)	15, 18

Fuente: (Masisa, 2010)

Elaboración: La autora

2.2.1.3. Tablero MDP RH

Tablero recubierto por ambas caras con chapas de maderas naturales. Es un tablero de partículas de madera, unidas entre sí mediante un adhesivo de melamina úrea formaldehído y pigmentado de color verde en su capa media, para diferenciarlo de otros tipos de aglomerados. Es un Tablero de Partículas para ser utilizado en ambientes húmedos, con propiedades físicas que cumplen las del Tipo P3 (tableros no estructurales utilizados en ambientes húmedos) del estándar UNE – EN 312: 2004 (figura. 15, literal d) (Masisa, 2010).

Tabla 13: Especificaciones de dimensiones de tablero MDP RH.

ESPECIFICACIONES DE DIMENSIONES DE TABLERO MDP RH		
Formato	(mts)	1,52 x 2,44 y 1,52 x 4,88*
Espesor	(mm)	12*, 15 y 18mm

Fuente: (Masisa, 2010)

Elaboración: La autora



Figura 15. Tableros.

- a) Tableros MDP
- b) Tableros MDP de melanina.
- c) Tableros MDP enchapado.
- d) Tableros MDP RH.

Fuente: (Masisa, 2010)

Elaborado: La autora

2.2.1.4. Propiedades de los tableros

Los tableros MDP, MDP Melamina, MDP Enchapado y MDP RH están compuestos de partículas de madera de pino radiata unidas por adhesivos urea-formaldehído. Las partículas se obtienen a través de procesos termo-mecánicos que generan astillas de madera en el proceso de producción industrial, por lo tanto, se considera como contenido reciclado pre-consumo (Masisa, 2010).

Tabla 14: Porcentaje de materia prima del producto.

PORCENTAJE DE MATERIA PRIMA DEL PRODUCTO	
Madera	79%
Resina	18%
Otros Químicos	3%

Fuente: (Masisa, 2010)

Elaboración: La autora

Tabla 15: Especificaciones técnicas de tableros.

PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS							
ESPEJOR/ PROPIEDAD	(mm)	9	12	15	18	24	32
Emisión	(mg/100gr)	Max.8	Max.8	Max.8	Max.8	Max.8	Max.8
Densidad	(kg/m ³)	680±40	660±20	640±20	630±20	600±20	570±20
Flexión	(N/mm ²)	16±1,5	16±1,5	15±1,5	15±1,5	15±1,5	13±1,5
Tracción	(N/mm ²)	0,50±0,1	0,50±0,1	0,50±0,15	0,50±0,1	0,45±0,1	0,45±0,1
Tornillo perpendicular	(N)	N/A	2	2	5	5	5
Tornillo paralelo	(N)	N/A	N/A	900	900	900	900
Hinchamiento 24 horas	(%)	Max.25	Max.25	Max.25	Max.25	Max.25	Max.25
Humedad	(%)	8 ± 3	8 ± 3	8 ± 3	8 ± 3	8 ± 3	8 ± 3
Tolerancia largo-ancho	(mm/m)	2	2	2	2	2	2

Tabla 15: Especificaciones técnicas de tableros. (Continuación)

Diferencia	(mm/m)	2	2	2	2	2	2
en diagonales							
Tolerancia	(mm)	± 0,2	± 0,2	± 0,2	± 0,2	± 0,2	± 0,2
espesor							
Formato	mm	1520x244			0		

Fuente: (Masisa, 2010)

Elaboración: La autora

2.3. Transferencia de calor de los materiales

“El calor es una forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia en la temperatura” (Cengel, 2007).

3.1.17. Conductividad térmica

Los diferentes materiales tienen la capacidad de almacenar calor de manera distinta, por ello se define la propiedad de calor específico como C_p que se refiere a la medida de la capacidad de un material para almacenar energía térmica (Cengel, 2007).

Tabla 16: Conductividad térmica de materiales.

Material	Densidad aparente kg/m ³	Conductividad térmica, λ W/(m x K)
Adobe	1100 - 1800	0,90
Aluminio	2700	210
Arcilla 2 100 0,93	2100	0,93
Arena	1500	0,58
Aserrín de madera	190	0,06
Enlucido de yeso	800	0,35
Enlucido de yeso con perlita	570	0,18
Fibro-cemento	920	0,22
Fundición y acero	7850	58
Hormigón armado (normal)	2400	1,63
Hormigón con áridos ligeros	1000	0,33
Hormigón de viruta de madera	450 - 650	0,26
Hormigón de fibras de madera	300 - 400	0,12
	400 - 500	0,14
	500 - 600	0,16
Ladrillo macizo hecho a máquina	1000	0,46
Ladrillo hecho a mano	-	0,5
Maderas		
- álamo	380	0,091
- alerce	560	0,134
- coigüe	670	0,145
- lingue	640	0,136
- pino insigne	410	0,104
- raulí	580	0,121
- roble	800	0,157

Tabla 16: Conductividad térmica de materiales. (Continuación)

Maderas, tableros aglomerados de partículas	400	0,095
Maderas, tableros de fibra	850	0,23
Morteros de cal y bastardos	1600	0,87
Mortero de cemento	2000	1,40
Papel	1000	0,13
Perlita expandida	90	0,050
Plancha de corcho	100	0,040
Plomo	11300	35
Poliestireno expandido	10	0,0430
Poliuretano expandido	25	0,0272
	30	0,0262
Vidrio plano	2 500	1,2
Yeso-cartón	650	0,24

Fuente: (NCh853, 2007)

Elaboración: La autora

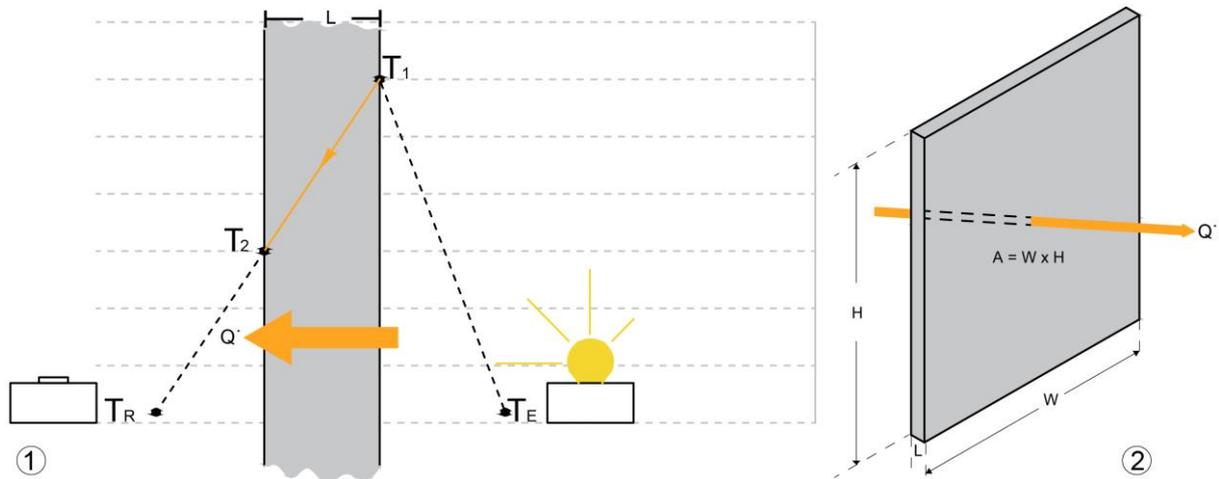


Figura 16. Conducción de calor a través de una pared plana.

1. Gráfico de transferencia de calor en corte.

T_E = Temperatura inicial del emisor

T_1 = Temperatura máxima en el emisor

T_2 = Temperatura máxima en el receptor

T_R = Temperatura inicial del receptor

L = Espesor del material

2. Gráfico de transferencia de calor en vista axonométrica.

H = Altura del material

L = Espesor del material

A = Área del material

W = Ancho del material

Q' = Índice de transferencia de calor

Fuente: (Cengel, 2007)

Elaborado: La autora

Tabla 17: Fórmulas para determinar el índice de transferencia de calor y transferencia total de calor.

FÓRMULAS PARA DETERMINAR LA TRANSFERENCIA DE CALOR	
Fórmula para calcular el índice de transferencia de calor	Fórmula para calcular la transferencia total de calor
$Q' = kA \frac{T_1 - T_2}{L}$ (Eq.1)	$Q = Q' \Delta t$ (Eq.2)

Fuente: (Cengel, 2007)

Elaboración: La autora

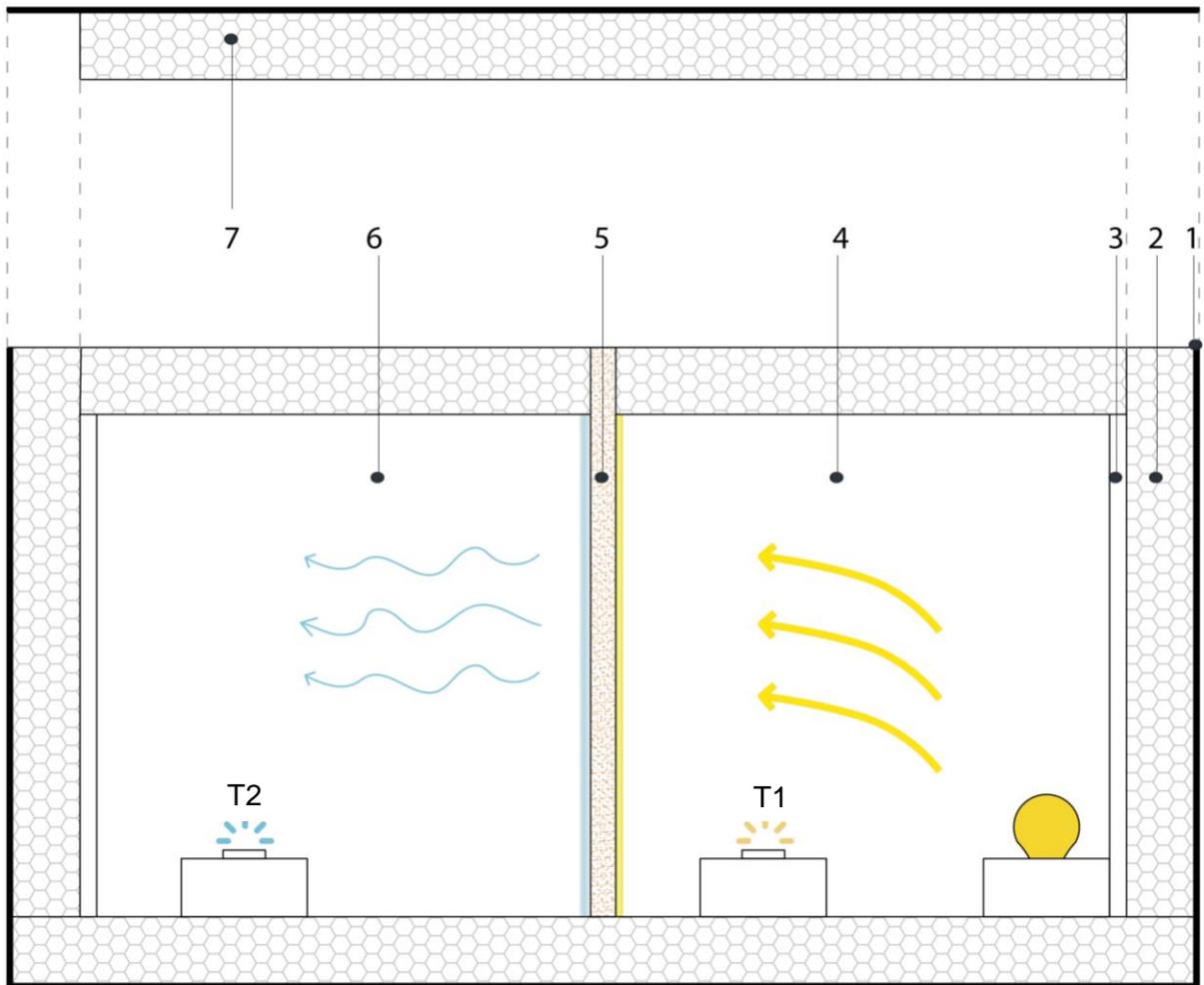


Figura 17. Corte frontal de caja para pruebas de transferencia de calor.

1. Recubrimiento de MDF 3mm
2. Recubrimiento de placas de poliestireno
3. Recubrimiento de yeso para evitar incendio
4. Área de emisión
5. Probeta para ensayar
6. Área receptora

Fuente: (Hernández et al., 2008)

Elaborado: La autora

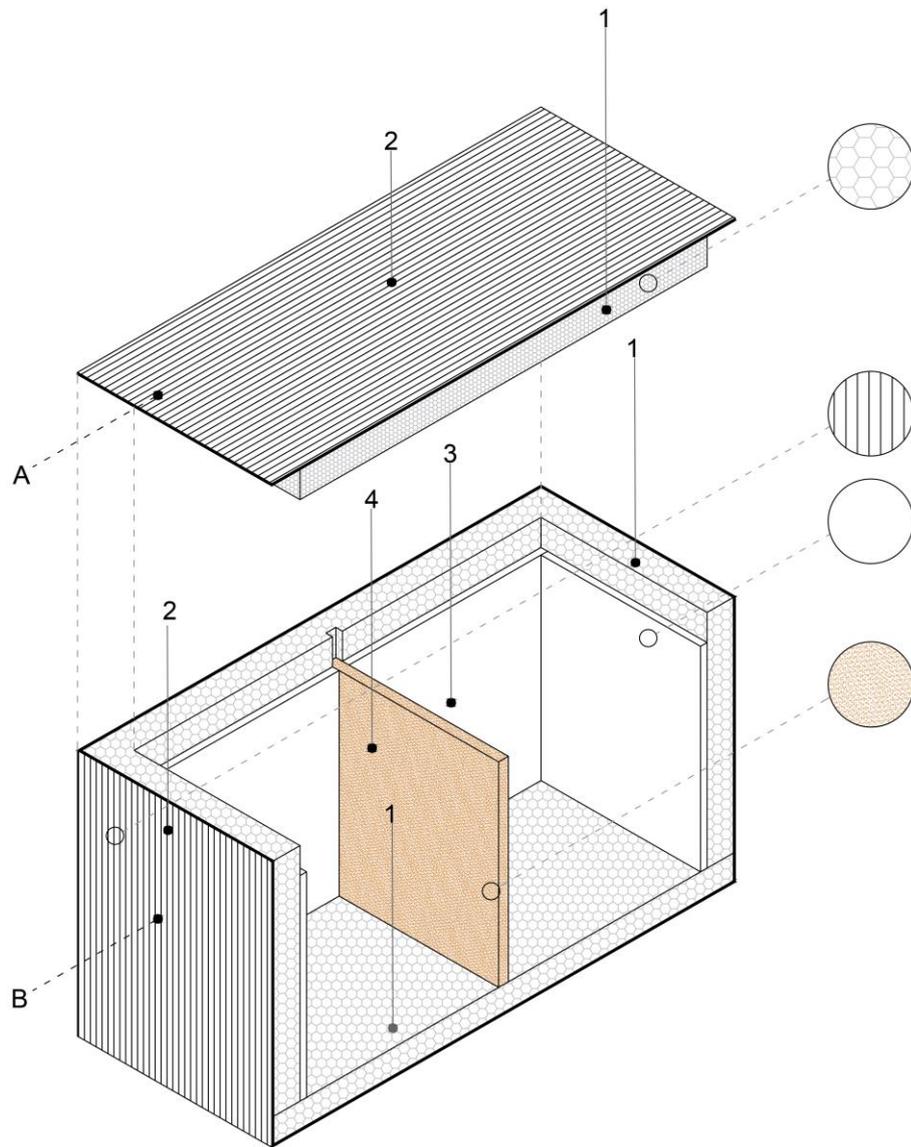


Figura 18. Corte Isométrico de caja para pruebas de transferencia de calor.

A. Tapa

B. Caja

1. Recubrimiento de placas de poliestireno

2. Recubrimiento de MDF 3mm

3. Recubrimiento de yeso

4. Probeta de aserrín y resina poliéster

Fuente: (Hernández et al., 2008)

Elaborado: La autora

2.4. Acústica

Es la rama de la ciencia parte de la física, que se ocupa de los fenómenos sonoros perceptibles por el oído humano (Estellés, 2007).

Tabla 18: Nomenclatura para determinar el aislamiento acústico bruto y ruido aéreo.

NOMENCLATURA DEL AISLAMIENTOA ACÚSTICO BRUTO Y RUIDO AÉREO	
D	Aislamiento acústico bruto de un local con respecto a otro.
LI1	Nivel de intensidad acústica en el local emisor.
LI2	Nivel de intensidad acústica en el local receptor.
R	Aislamiento acústico normalizado o ruido aéreo
S	Es la superficie del elemento separador, en m ²
A	Área de absorción del recinto receptor, en m ²

Fuente: (NCh853, 2007)

Elaboración: La autora

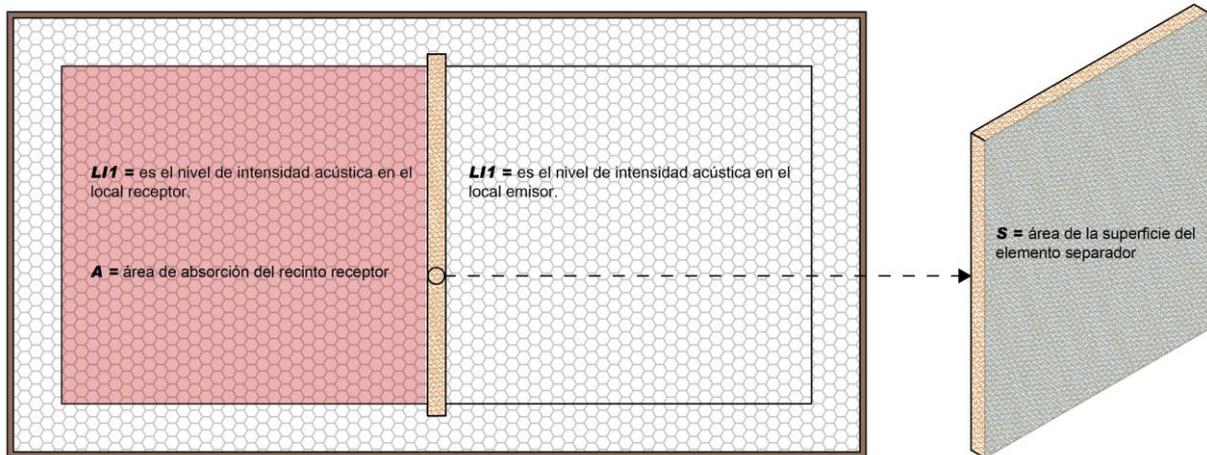


Figura 19. Caja para ensayos de acústica.

Fuente: (Hernández et al., 2008)

Elaborado: La autora

3.1.18. Aislamiento acústico bruto de un local respecto a otro

Unidad = decibelio dB

Este ensayo es el aislamiento acústico específico con un elemento separador de los dos locales donde uno es el emisor y el otro el receptor (Gobierno de España, 1979).

Se calcula con la siguiente fórmula:

$$D = LI1 - LI2, \text{ en dB} \quad (\text{Eq.3})$$

L_{11} = es el nivel de intensidad acústica en el local emisor.

L_{12} = es el nivel de intensidad acústica en el local receptor.

3.1.19. Aislamiento acústico normalizado a ruido aéreo

Unidad= decibelio dB

Se determina midiendo un elemento constructivo según indica la Norma UNE 74-040-84 (3) “Medida de aislamiento acústico de los edificios y de los elementos constructivos” (Gobierno de España, 1979).

Se calcula mediante la fórmula:

$$R = D + 10 \log (S/A) = L_{11} - L_{12} + 10 \log (S/A), \text{ en dB. (Eq.4)}$$

S = es la superficie del elemento separador, en m^2

A = área de absorción del recinto receptor, en m^2

3.1.20. Ruido

Es la mezcla de sonidos con frecuencias esenciales diferentes, se considera ruido a cualquier sonido que interfiera en actividades humanas (Gobierno de España, 1979).

2.4.1.1. Ruido rosa

Son ruidos utilizados para efectuar las medidas normalizadas. El ruido rosa es aquel que el espectro en tercios de octava es un valor constante (Gobierno de España, 1979).

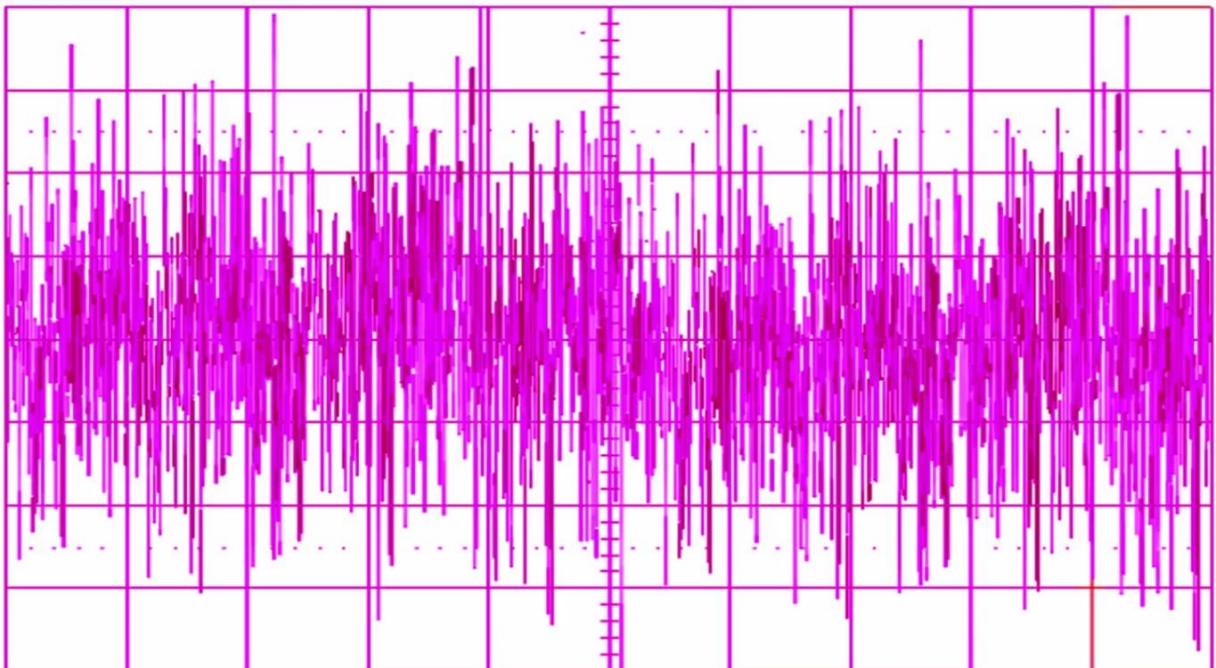


Figura 20. Ruido rosa.

Fuente: (Hernández et al., 2008)

Elaborado: La autora

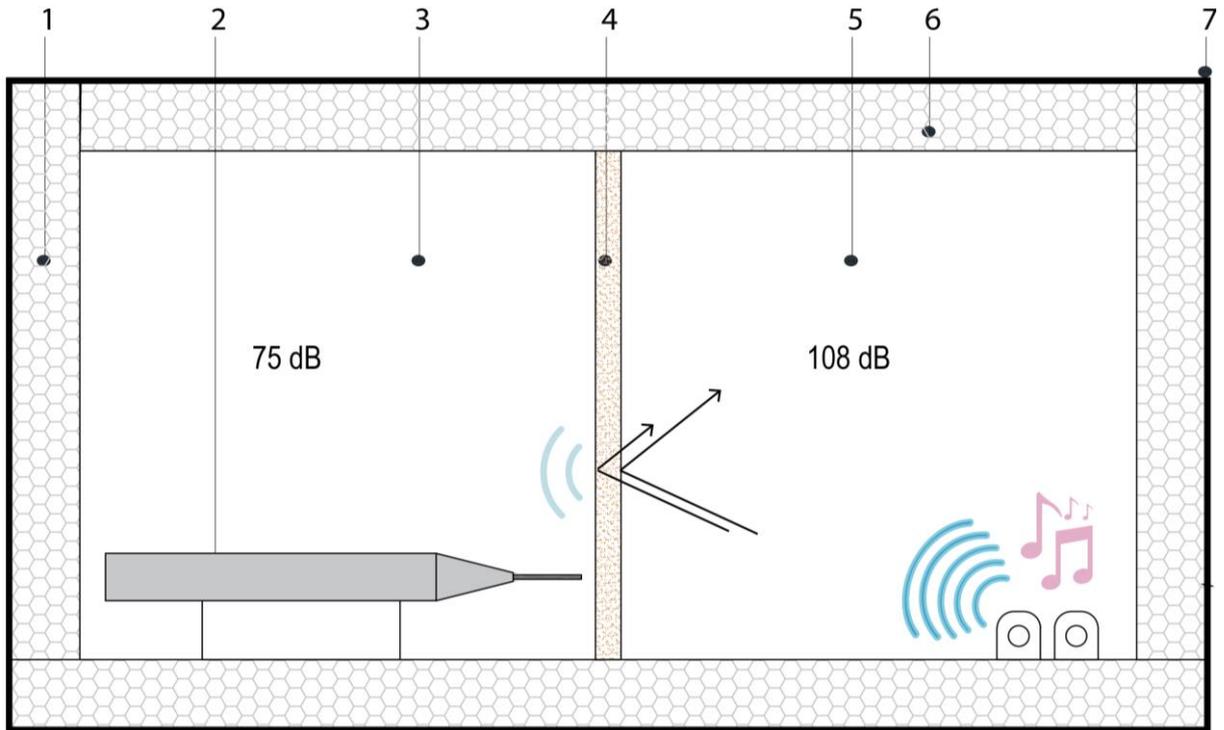


Figura 21. Corte frontal de caja para medir el aislamiento acústico bruto y ruido aéreo.

1. Recubrimiento de placas de poliestireno como aislamiento
2. Sonómetro
3. Área receptora
4. Panel a medir
5. Área de emisión
6. Tapa de la caja
7. Recubrimiento de MDF 3mm

Fuente: (Hernández et al., 2008)

Elaborado: La autora

2.5. Resistencia al impacto

Para la realización de este proceso se lo hizo de manera experimental ya que se utilizó una máquina elaborada por estudiantes de arquitectura, la misma que podemos observar sus características en la Figura 19. Para el desarrollo de este ensayo nos basaremos en el siguiente artículo (Castello, 2014) principalmente en la “*descripción del deterioro*” Tabla 20.

MÁQUINA DE IMPACTO PARA MATERIALES

1. Base metálica
2. Prensa para ajustar la muestra
3. Motor manual o eléctrico
4. Cuerda de tensión
5. Barra de acero de 10kg para el impacto
6. Imán para sostener la barra
7. Polea

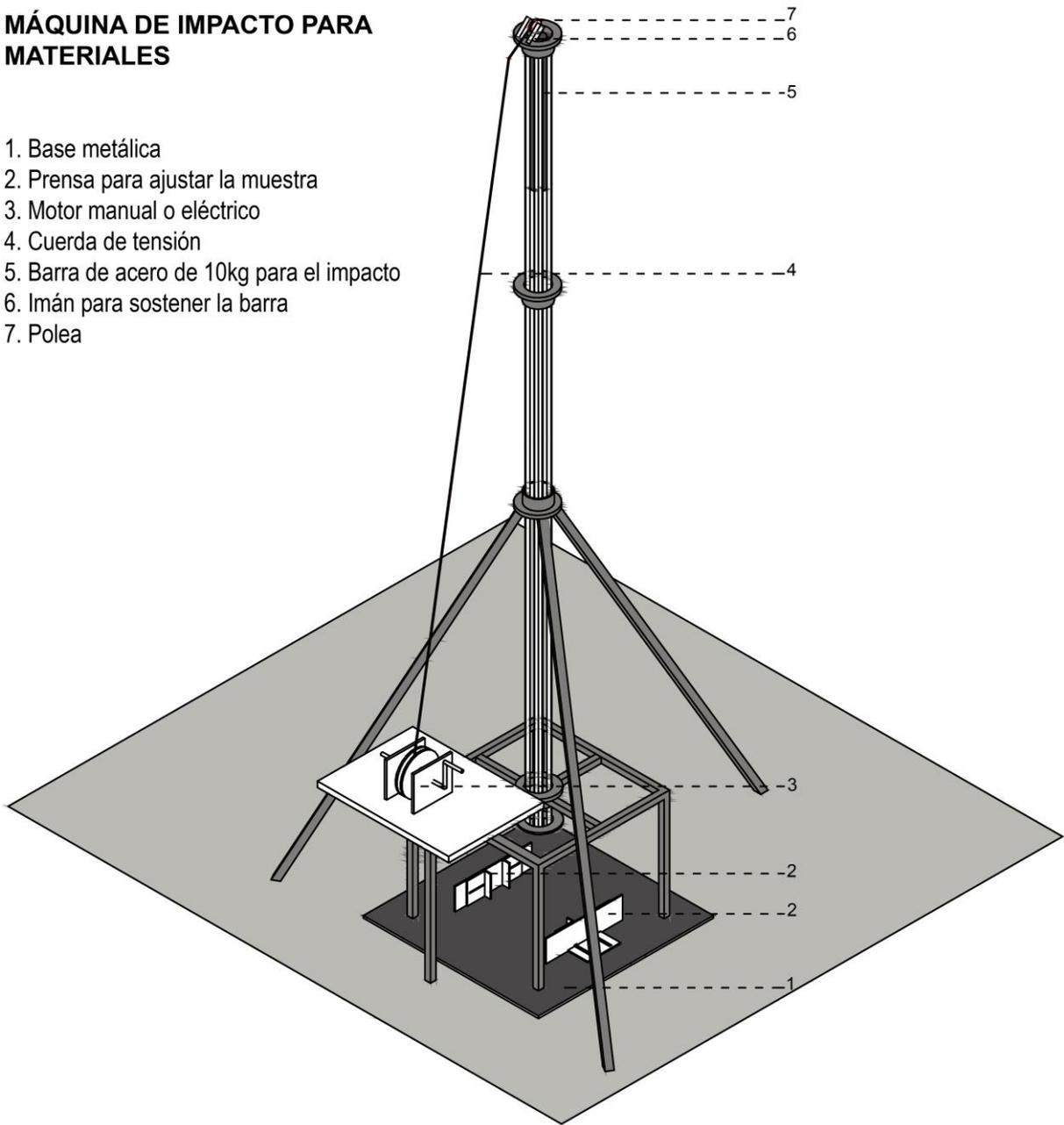


Figura 22. Máquina para prueba de impacto de materiales.

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

Tabla 19: Descripción del deterioro con el impacto.

NIVEL	DESCRIPCIÓN DEL DETERIORO
a	Ningún deterioro apreciable a la vista en la superficie de la probeta.
b	Líneas o trazos circulares alrededor del impacto Ni fisuras radiales ni desprendimiento de material
c	Fisuras radiales de longitud $5 < l \leq 10$ mm Sin desprendimiento de material
d	Fisuras radiales de longitud $l > 10$ mm Sin desprendimiento de material
e	Desprendimiento de material en forma de escamas

Fuente: (Castello, 2014)

Elaboración: La autora

2.6. Resistencia al fuego

La resistencia al fuego de una probeta es la capacidad que tiene para resistir un determinado tiempo expresado en minutos desde que inicia el calentamiento hasta que ocurre la falla o traspasa el material (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

Para la determinación de la resistencia al fuego se tomó como referencia la norma NTE INEN 804 “Prevención de incendios. Determinación de la resistencia al fuego de elementos constructivos” (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

Para el desarrollo de este ensayo requerimos de los siguientes materiales:

- Estructura metálica como apoyo
- Probeta
- Soplete

La estructura metálica debe tener una inclinación de 45° para sobre de ella colocar la probeta que sirva como soporte de ésta, tomamos un soplete encendido a gas y apuntamos hacia la probeta perpendicularmente véase en la Figura 22, lo mantenemos ahí hasta que falle y controlamos el tiempo, entonces la resistencia de la probeta será el tiempo que tardó en fallar (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

3.1.21. Clasificación de la resistencia al fuego.

Según la normativa NCh935/1 Of.97 la clasificación de la resistencia al fuego (Gutierrez, 2013) está dada como se puede observar en la *tabla 20*.

Tabla 20: “Prevención de incendios en edificios – Ensayo de resistencia al fuego – Parte 1: Elementos en construcción en general”.

Clase F(t)	t (min)
F0	< 15 minutos
F15	≥ 15 minutos < 30 minutos
F30	≥ 30 minutos < 60 minutos
F60	≥ 60 minutos < 90 minutos
F90	≥ 90 minutos < 120 minutos
F120	≥ 120 minutos < 150 minutos
F150	≥ 150 minutos < 180 minutos
F180	≥ 180 minutos < 240 minutos
F240	≥ 240 minutos

F= Clase t= tiempo en minutos

Fuente: (Gutierrez, 2013) y (AITIM, 2006)

Elaboración: La autora

Tabla 21: Resistencia al fuego suficiente para los elementos estructurales.

RESISTENCIA AL FUEGO SUFICIENTE PARA LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES				
Uso del sector de incendio considerado ¹	Plantas de sótano	Planta sobre rasante altura de evacuación del edificio.		
		≤ 15m	≤ 28m	>28m
Vivienda unifamiliar ²	F30	F30	-	-
Residencial vivienda, Residencial público, Docente, Administrativo	F120	F60	F90	F120
Comercial, Pública concurrencia, Hospitalario	F120 ³	F90	F120	F180
Aparcamiento (edificio de uso exclusivo o situado sobre otro uso)		F90		
Aparcamiento (situado bajo un uso distinto)		R120 ⁴		

¹ La resistencia al fuego suficiente R de los elementos estructurales de un suelo que separa sectores de incendio es función del uso del sector inferior. Los elementos estructurales de suelos que no

Tabla 21: Resistencia al fuego suficiente para los elementos estructurales. (Continuación)

delimitan un sector de incendios, sino que están contenidos en él, deben tener al menos la resistencia al fuego suficiente R que se exija para el uso de dicho sector.

² En viviendas unifamiliares agrupadas o adosadas, los elementos que formen parte de la estructura común tendrán la

resistencia al fuego exigible a edificios de uso Residencial Vivienda.

³ R 180 si la altura de evacuación del edificio excede de 28 m.

⁴ R 180 cuando se trate de aparcamientos robotizados.

Fuente: (AITIM, 2006) y (Gutierrez, 2013)

Elaboración: La autora

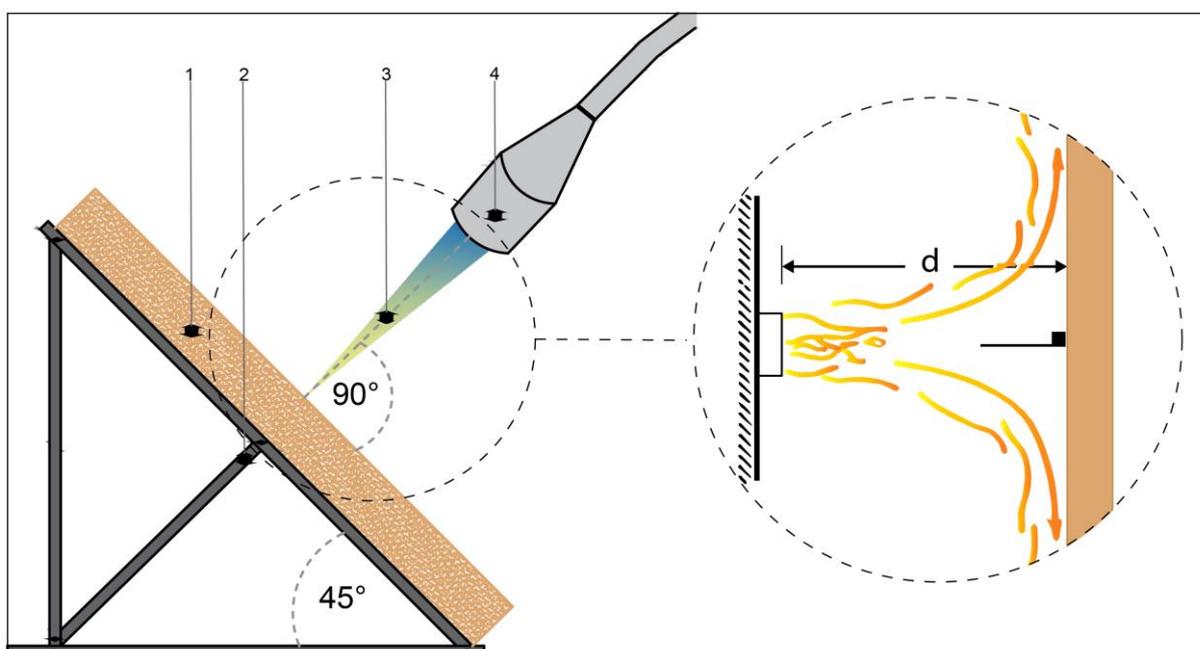


Figura 23. Elementos para el desarrollo de pruebas de resistencia al fuego.

1. Probeta
2. Estructura metálica para sostener la probeta
3. Fuego para probar el tiempo que dura en penetrar
4. Soplete

Fuente: (MATTIEU, 2013)

Elaborado: La autora

2.7. Normativas utilizadas para ensayos físicos y mecánicos

Para el desarrollo de los ensayos físicos-mecánicos se hará uso de las siguientes normas para tablero de partículas:

Tabla 22: Normativas y artículos científicos referenciales

NORMATIVAS REFERENCIALES PARA PRUEBAS FÍSICAS Y MECÁNICAS	
NORMATIVAS O ARTÍCULOS	ESPECIFICACIONES
Norma UNE 56.707. Definición y clasificación.	3.2. Por el proceso de prensado 3.2.2. Prensado por extrusión (PE) 3.4. Por el acabado de sus caras. 3.4.2. No lijados.
Norma UNE 56.708. Preparación de probetas para ensayos.	3. Formas y medidas de las probetas 5. Medición de las dimensiones de las probetas.
Norma UNE 56.709. Determinación del peso específico.	5. Proceso operatorio 6. Obtención de los resultados
Norma UNE 56.710. Determinación de la Humedad.	4. Procedimiento operatorio 5. Obtención de los resultados
Norma UNE 56.711. Determinación de la resistencia a la flexión.	Todas sus especificaciones
Norma UNE 56.713. Determinación de la hinchazón y de la absorción de agua por inmersión total.	Todas sus especificaciones
Norma UNE 56.714. Características Físico-Mecánicas.	2.1. Contenido de humedad. 2.2. Resistencia a la flexión. 2.4. Hinchazón en grosor expresado en % del grosor inicial. 2.5. Características térmicas. 2.6. Características acústicas.
Norma UNE 74-040-84. Ensayo de aislamiento a ruido aéreo	3. <i>“Medida de aislamiento acústico de los edificios y de los elementos constructivos”</i>
NTE INEN 804. Prevención de incendios.	<i>“Determinación de la resistencia al fuego de elementos constructivos”</i>
NCh 935/1 Of.97	<i>“Prevención de incendios en edificios – Ensayo de resistencia al fuego – Parte 1: Elementos en construcción en general”.</i>

Fuente: (AITIM, 2012)

Elaboración: La autora

CAPÍTULO III
PROCESO EXPERIMENTAL

4.1. Elaboración de composites a base aserrín y resina poliéster

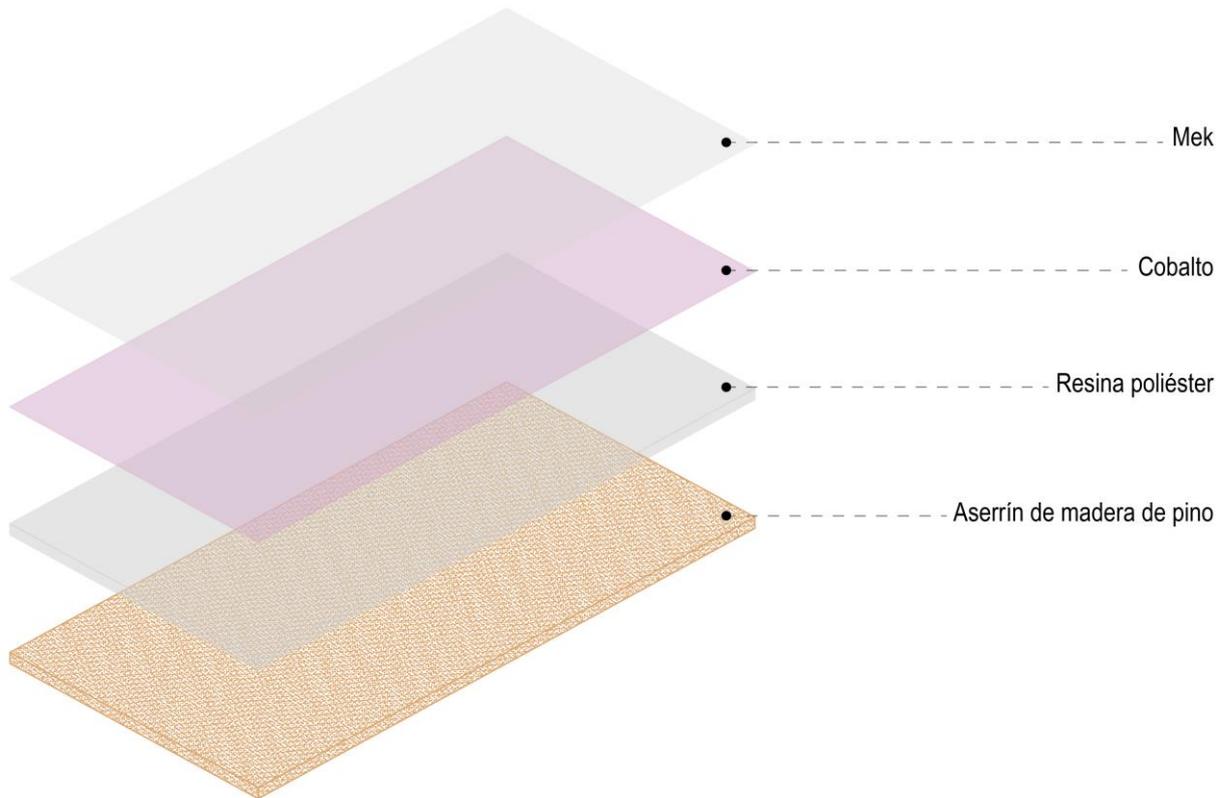
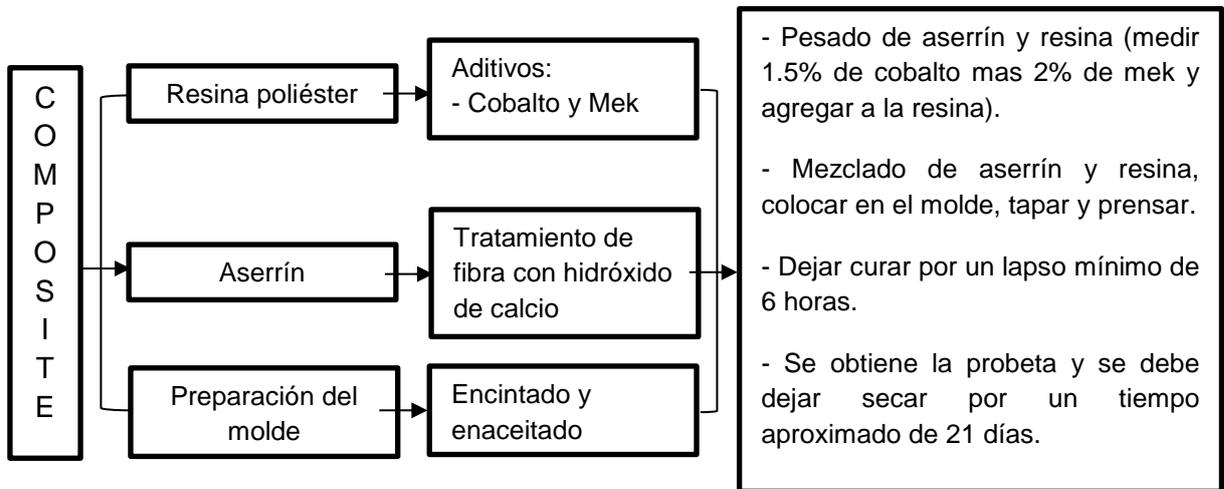


Figura 24. Composite y sus elementos.

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

4.1.1. Tratamiento a la fibra de madera de pino.

El tratamiento que se ha escogido para esta ocasión es el que se desarrolla con hidróxido de calcio, debido a sus beneficios económicos, proceso sencillo y fácil adquisición.

Se realiza un tratamiento previo al uso de la fibra de madera debido a que ayuda por ejemplo a la eliminación de microorganismos como también a que la fibra tenga mayor adherencia al momento de combinarse con la resina (Macías Almazán, 2014).

Colocamos en un bote 15 litros de agua y le agregamos el 10% de cal apagada con respecto a esta, en este caso corresponde 150gramos.

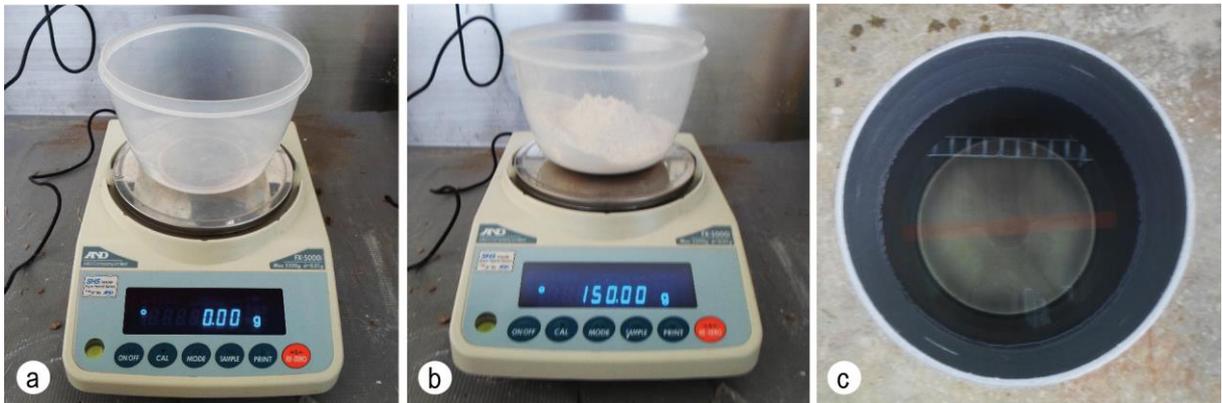


Figura 25. Pesado de cal apagada.

- a) Balanza encerrada
- b) Pesado de cal apagada
- c) Medida de agua

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

Una vez el agua esté lista agregamos los 150 gramos de cal apagada (hidróxido de calcio), pesamos y revolvemos hasta mezclar completamente.



Figura 26. En 15 litros de agua se diluye 150gr de cal apagada.

- d) 15 litros de agua
- e) Agregamos 150 gr de cal apagada
- f) Revolvemos completamente

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

Se deja reposar, se revuelve después de cada lapso de 24 horas hasta cumplir 72 horas.



Figura 27. Bote de agua con cal apagada.

- g)** Reposo por 24 horas de agua con cal apagada
- h)** Revolver cada 24 horas
- i)** Dejar reposar hasta que cumpla el tiempo establecido del agua con la cal apagada

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

Pasado el tiempo requerido de 72 horas se agrega la fibra de madera (aserrín) y se deja sumergida por 24 horas.



Figura 28. Sumergir el aserrín en agua con cal apagada.

- j)** Sumergir el aserrín
- k)** Revolver
- l)** Reposo

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

Después de dejar sumergida la fibra por 24 horas lavamos con agua a temperatura ambiente hasta retirar completamente la cal, se usa una funda de lienzo para impedir que las partículas se vayan con el agua al lavarlas.

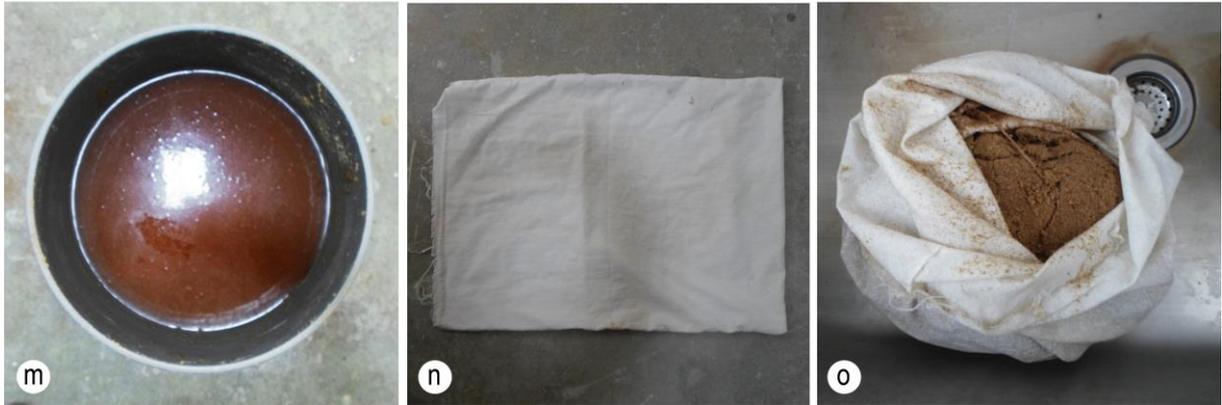


Figura 29. Reposado 24 horas colocamos el aserrín en una funda de lienzo y lo lavamos completamente.

- m)** Agua, cal apagada y aserrín reposado por 24 horas
- n)** Funda de lienzo
- o)** Lavado del aserrín en una funda de lienzo

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

Esparcimos la fibra en una mesa grande hasta que se evapore el exceso de agua por un tiempo aproximado de una hora y luego procedemos a colocar en latas, para poner al horno y secar de 5 a 16 horas a 212 °F, lo que equivaldría a 100°C (Hossain, Islam, & Islam, 2014).

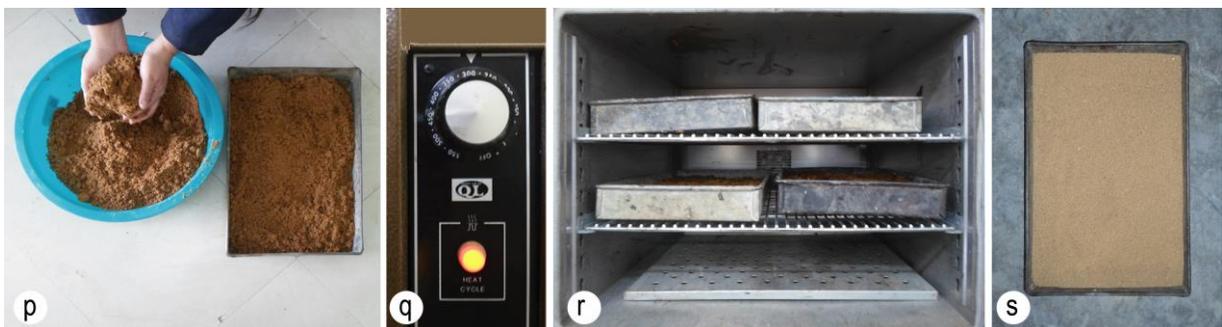


Figura 30. Secado de la fibra de pino.

- p)** Colocación de la fibra húmeda en la lata
- q)** Temperatura del horno
- r)** Latas colocadas en el horno
- s)** Fibra seca después de 16 horas en el horno a temperatura de 212 °F

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

Una vez esté seca la fibra se procede a tamizar así se obtiene partículas de las mismas dimensiones, la fibra tamizada que se tomó para el desarrollo de las probetas fueron

equivalentes al tamaño del tamiz número 30 (equivale a 600 micras, marca STANDARD TEST SIEVE, de las normativas ASTM E-11).



Figura 31. Tamizado de la fibra de pino.

t) Proceso de tamizado de la fibra.

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

4.2. Materiales y herramientas

Se detalla los aspectos más relevantes de cada uno de los componentes usados en este proceso.

4.2.1. Residuos de madera

Los residuos de madera han sido tomados de un aserrío situado en la ciudad de Loja, “*Casa del pino*” nos proporcionó aserrín de pino que no se ha mezclado con partículas de otras maderas.



Figura 32. Aserrín.

i) Diferencias entre aserrín de pino y aserrín mezclado (ambos sin tratar).

ii) Diferencias entre aserrín de pino y aserrín mezclado (ambos tratados).

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

4.2.2. Molde

El molde para la elaboración de las probetas se compone de tres partes:

Cajón: Está formado de placas metálicas de 9mm de espesor que ayudan a que no se deforme al momento que la prensa hidráulica ejerce presión, su espacio interno tiene las siguientes dimensiones: 300x200x150mm.

Tapa superior: Está elaborada de una placa metálica de 9mm de espesor, sus dimensiones son de 300x150mm, tiene un eje en la parte central y en las esquinas 4 ángulos metálicos de 1" de grosor que se conectan al eje central por medio de varillas corrugadas para la mejor distribución de fuerzas al momento de ejercer presión.

Tapa inferior: Elaborada de una plancha metálica de 9mm de espesor, presenta unas dimensiones de 310x160mm.

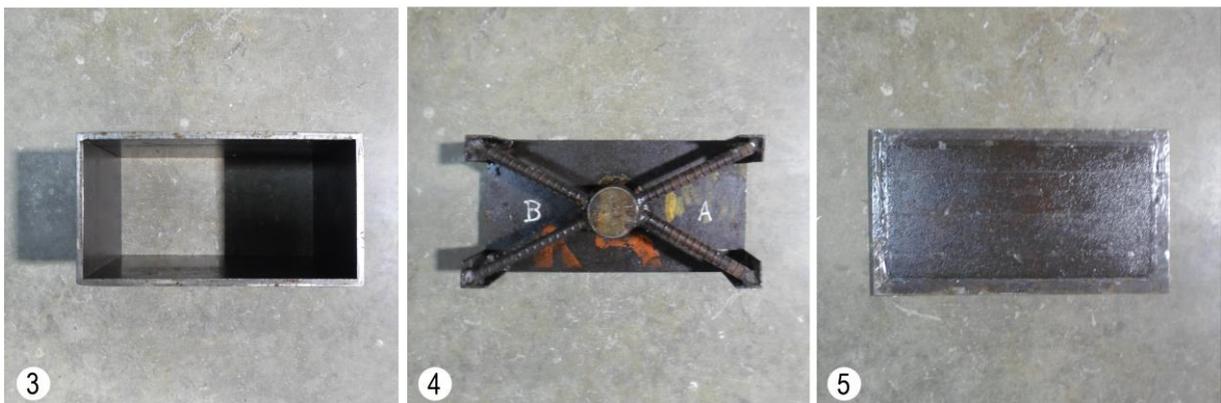


Figura 33. Molde para el desarrollo de probetas.

3) Cajón

4) Tapa superior

5) Tapa inferior

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

4.2.3. Materiales para elaboración de las muestras

El composite está formado principalmente por estos cuatro elementos.



Figura 34. Materiales para el desarrollo del composite.

6. Peróxido de etilmetilcetona (Mek)

7. Cobalto

8. Resina poliéster

9. Aserrín de pino

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

4.2.4. Utensilios para elaboración de probetas

Estos son los utensilios básicos para el desarrollo de las probetas:

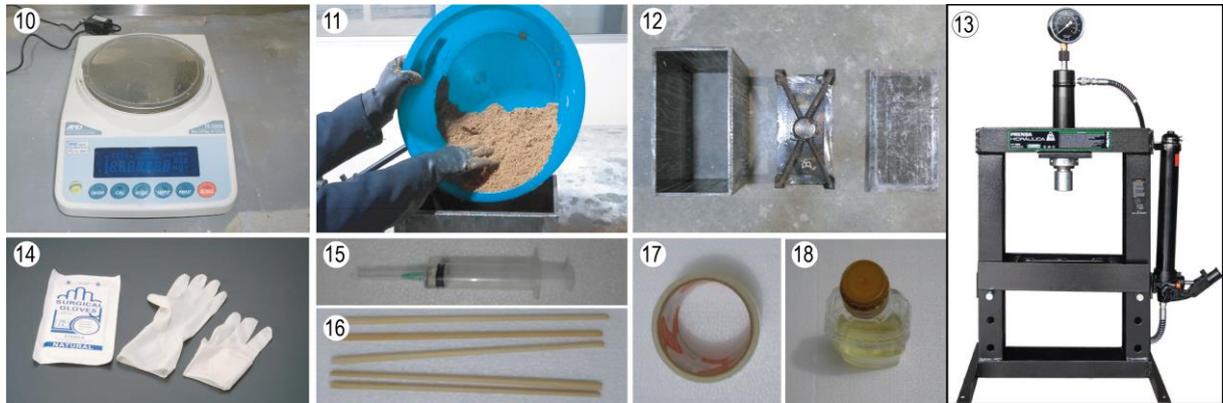


Figura 35. Utensilios y equipo para el desarrollo del composite.

10. Balanza digital (Century Tools)

11. Bandeja plástico

12. Molde de acero

13. Prensa Hidráulica MUTH-10 toneladas

14. Guantes quirúrgicos

15. Jeringa

16. Palillos

17. Cinta adhesiva

18 Aceite vegetal

Fuente: La autora

Elaborado: La autora



Figura 36. Equipo para el desarrollo del composite.

19. Mascarilla 3M

20. Tamiz STANDART TEST SIEVE Nro.30

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

4.2.5. Herramientas para pruebas de laboratorio

A continuación, se muestra la maquinaria que se ha usado para el desarrollo de las pruebas físicas y mecánicas:



Figura 37. Herramientas para las pruebas de laboratorio.

21. Máquina para determinar la resistencia del material Versa Tester

22. Horno Humboldt

23. Calibrador digital

24. Máquina de impacto con masa de 10kg y altura de 2.5m

Fuente: La autora

Elaborado: La autora



Figura 38. Caja para pruebas de acústica global y transferencia de calor.

25. Caja vista en planta.

26. Caja en perspectiva.

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

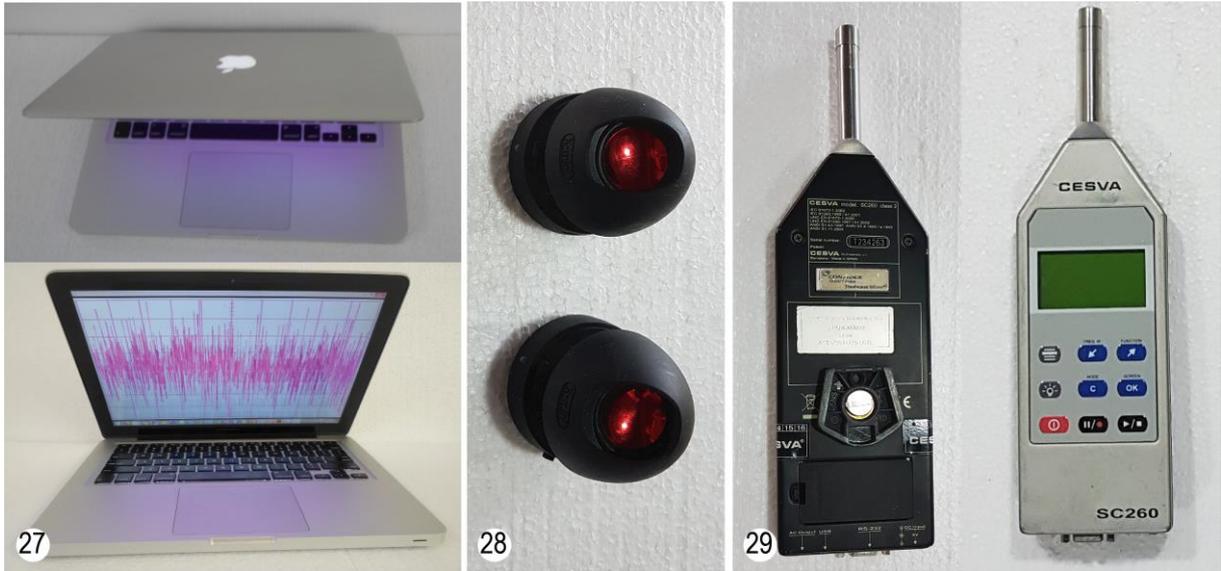


Figura 39. Instrumentos para medir la acústica.

27. Dispositivo para reproducir el ruido rosa.

28. Parlantes.

29. Sonómetro CESVA model:SC260 class 2.

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

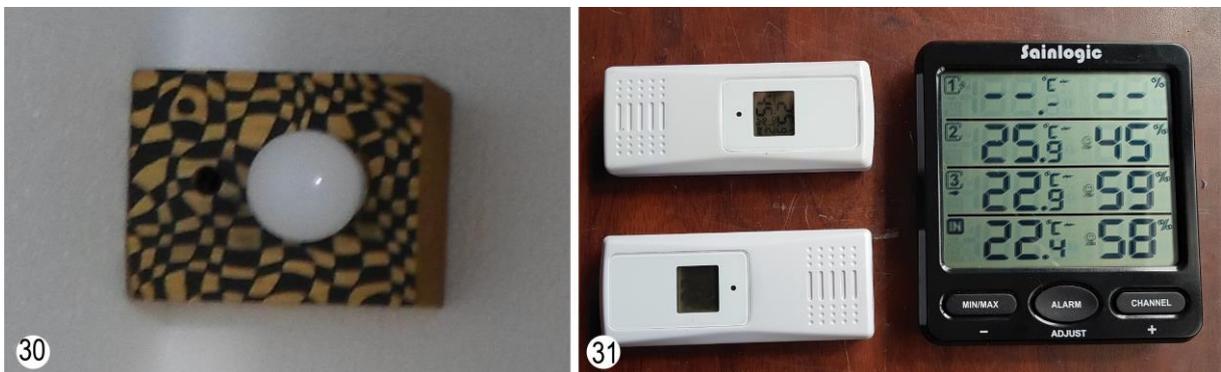


Figura 40. Instrumentos para medir transferencia de calor.

29. Foco incandescente de 110w.

30. Tres termómetros, dos van en el interior de la caja y uno de monitoreo que va al exterior.

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

4.3. Proceso de elaboración del composite

4.3.1. Variables de estudio

Para la realización de este trabajo se ha tomado en cuenta tanto las variables dependientes como las independientes.

Tabla 23. Variables dependientes e independientes.

VARIABLES	DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE	CONSTANTE	NO CONSTANTE
Resina (matriz)		x		x
Cantidad de residuos (gr)		x	x	
Carga de compresión		x	x	
Tiempo de prensado		x	x	
Densidad	x			x
Flexión y módulo de elasticidad	x			x
Hinchazón y de la absición del agua por inmersión total	x			x
Humedad	x			x
Peso específico	x			x
Transmitancia térmica	x			x
Resistencia al fuego	x			x
Acústica global	x			
Densidad	x			

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Las variables independientes son aquellas que influyen en el proceso de elaboración de las probetas y las condicionantes se las irá desarrollando en la siguiente tabla.

Tabla 24. Variables independientes.

VARIABLES	UNIDADES	OBSERVACIONES
Refuerzo (fibra de pino)	gr	Después de hacer algunas pruebas se ha determinado la aproximación de la cantidad de fibra que es 300 gr para adquirir un tablero de aproximadamente 15mm de espesor. Para determinar la cantidad de resina necesaria para el desarrollo del composite se ha experimentado y se ha determinado unos porcentajes para que el composite no se resquebraje ni tenga apariencia plastificada, estos porcentajes son: 60%, 70% y 80% de resina con respecto a la fibra.
Matriz (resina poliéster)	gr	Según las especificaciones los aditivos pueden variar sus porcentajes con respecto a la resina de la siguiente manera:
Aditivos	ml	Mek= 1 a 3% Cobalto = 0.5 a 1.5%

Tabla 24. Variables independientes. (Continuación)

Carga (Toneladas de compresión)	Ton/m	Se determinó después de experimentar y se decidió que el desarrollo de todas las probetas se realice con una carga de 6 TON/m.
Tiempo de prensado	h	Mediante experimentación se determinó dar un tiempo de prensado y curado mínimo de 6 horas.
Temperatura	°C	La temperatura ambiente con la que se trabajó no es constante, por tanto se recomienda que la temperatura ambiente no sea menor a los 17 °C, dado que podría variar las características de las probetas.

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

4.3.2. Elaboración de muestras del composite a base de fibras de madera

Para cada probeta se pesa 300gr de fibra de pino y el 70%, 80% o 90% de resina con respecto a ésta, de igual manera sucede con el mek que puede variar del 1% al 3% y el cobalto del 0.5% a 1.5%, el exceso de estos puede alterar la resina.

Por último, mezclamos la resina con los aditivos, revolvemos con la fibra ya tratada y la prensamos con una fuerza de 6 toneladas por un mínimo de 6 horas, (hay que tomar en cuenta que la temperatura ambiente sea mayor a 17 ° C).

4.3.3. Preparación del molde

Primeramente se encinta las tapas (inferior y superior) para evitar que la probeta no se pegue y luego se cubre levemente el interiormente el molde con aceite vegetal.

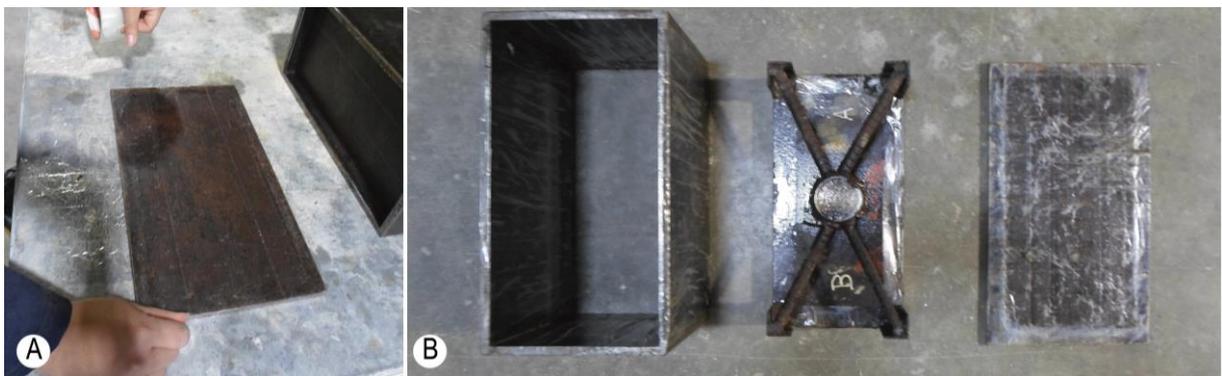


Figura 41. Adecuación de moldes.

A) Encintado de la tapa inferior del molde.

B) Colocación del aceite en el interior del cajón para evitar la adherencia del material.

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

4.3.4. Preparación de materia prima

La materia prima se la obtiene de un aserrío ubicado en la ciudad de Loja llamado “Casa del Pino”, viene de diferentes tamaños, pero para la realización del composite se ha determinado trabajar con el tamaño de 600μ , que corresponde a la malla 30 según las normas ASTM (E-11), lo más conveniente es hacer uso de la harina de madera de rangos de malla equivalente 10-120, debido a que entre menor sea el tamaño de la fibra en los compuestos de matriz polimérica se adquiere mejores propiedades mecánicas, es decir mejor resistencia a la tracción y a la flexión respectivamente (Khan & Khan, 2014).



Figura 42. Tamizado del aserrín.

- C) Tamizado de las partículas en la malla Nro. 30 según indica las normas ASTM E-11
- D) Partículas de madera pasadas por la malla Nro. 30
- E) Partículas restantes.

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

Para pesar las partículas de pino primeramente ubicamos el recipiente y encerramos la balanza, tomamos 300gr de aserrín tamizado y estará listo para mezclarse con la resina y sus aditivos.

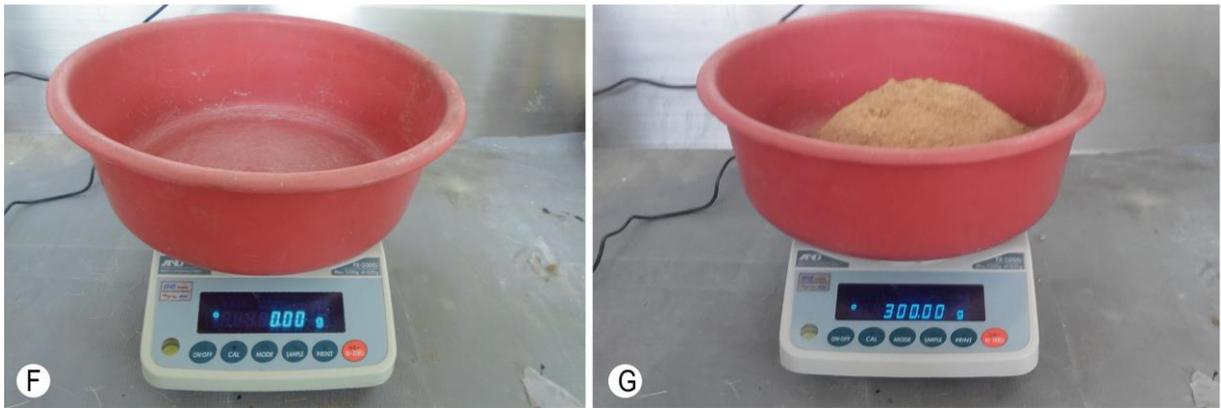


Figura 43. Pesado del aserrín de pino.

- F) Balanza encerada con recipiente donde se colocará la fibra tamizada
- G) Pesado de la fibra (300gr para cada probeta)

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

4.3.5. Preparación de la resina



Figura 44. Pesado de la resina poliéster.

- H) Encerado de la balanza con el recipiente
- I) Colocación de la resina
- J) Peso de la resina para una probeta

Fuente: La autora

Elaborado: La autora



Figura 45. Mezclado de la resina poliéster con el cobalto y mek.

- K) Resina poliéster ya pesada
- L) Resina poliéster más cobalto
- M) Resina poliéster con cobalto y mek.

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

4.3.6. Mezclado



Figura 46. Mezclado.

- N) Agregado de resina
- O) Mezclado
- P) Colocación en el molde
- Q) Nivelado de la mezcla de partículas

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

4.3.7. Curado

El proceso de curado se desarrolla por el desprendimiento de calor o acción exotérmica que se da debido a la unión de los componentes, se debe mantener presión aplicada por un tiempo mínimo de 6 horas.



Figura 47. Curado de la probeta.

- R) Colocación de tapa superior
- S) Prensado
- T) Curado de compuesto

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

4.3.8. Desmoldado

Una vez pasado el tiempo de curado, se procede a quitar la presión, retiramos el molde con la muestra de la prensa, la colocamos sobre una mesa y empujamos lentamente con la tapa superior hasta desprender la muestra del molde.



Figura 48. Desmoldado.

- U) Colocación del molde en una mesa
- V) Se ejerce presión con la tapa superior del molde
- W) Obtenemos la probeta

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

4.4. Pruebas de resistencia mecánica.

Las pruebas mecánicas de los materiales nos permiten tener una percepción de las características que poseen los materiales al estar sometidos a cargas, también ayudan a saber cuáles son sus capacidades y aplicaciones dentro de la construcción.

4.4.1. Determinación de la resistencia a la flexión.

Según las normas UNE 56. 711 se debe medir el largo, ancho y espesor de las probetas con un calibrador y se debe pesar en una balanza con precisión de 0.01gr (figura 41), para tener los datos establecidos al momento del desarrollo (AITIM, 2012).

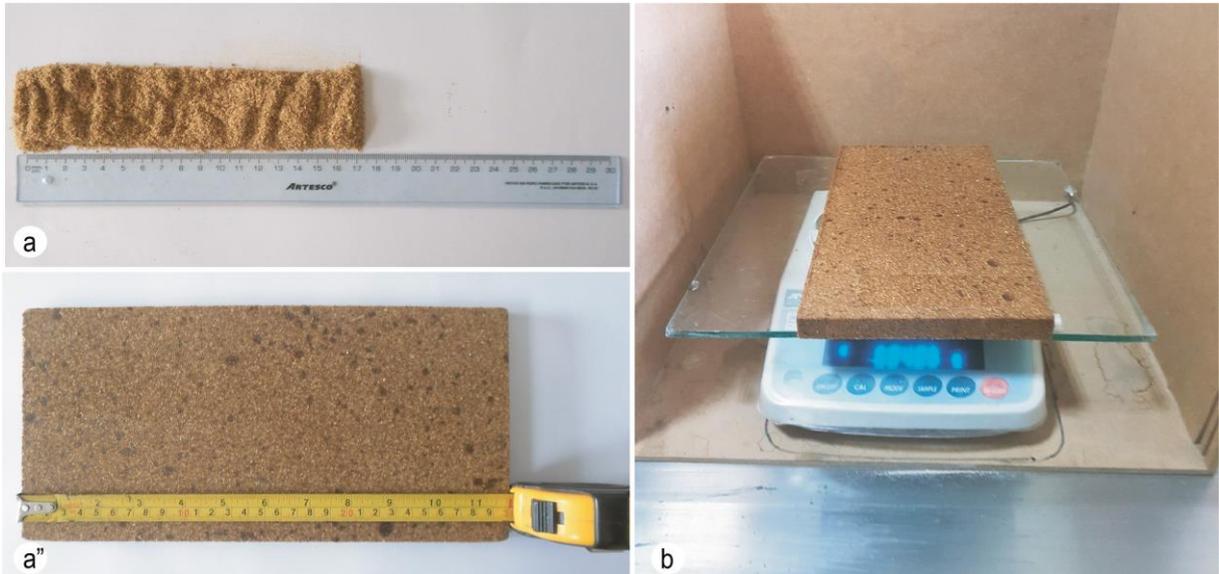


Figura 49. Pesado de probetas.

- a. Tamaño de fibra
- a''. Medir la probeta
- b. Pesar la probeta

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

Para el desarrollo de las pruebas a flexión se han realizado 9 probetas con porcentajes distintos de resina de tres en tres con respecto a la fibra (Tabla 20). Este proceso se desarrolló según indica la NORMA UNE 56. 711 (AITIM, 2012).

Tabla 25. Probetas determinadas a la resistencia de flexión.

PROBETAS DESTINADAS A LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN							
PROBETAS	ASERRÍN DE PINO (gr)	RESINA (%)	RESINA (gr)	COBALTO 1.5% (ml)	MEK 2 % (ml)	PRESIÓN (Ton-m)	TAMAÑO (mm)
PA701	300	70	210	3.15	4.20	6	300x150x13
PA702	300	70	210	3.15	4.20	6	300x150x13
PA703	300	70	210	3.15	4.20	6	300x150x13
PA801	300	80	240	3.60	4.80	6	300x150x13
PA802	300	80	240	3.60	4.80	6	300x150x13
PA803	300	80	240	3.60	4.80	6	300x150x13

Tabla 25. Probetas determinadas a la resistencia de flexión. (Continuación)

PA901	300	90	270	4.05	5.40	6	300x150x13
PA902	300	90	270	4.05	5.40	6	300x150x13
PA903	300	90	270	4.05	5.40	6	300x150x13

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Según la normativa UNE 56.711, se mide la probeta, se deja 25mm de los lados, se traza una línea a cada lado y también en el centro de la probeta (*figura 42*).

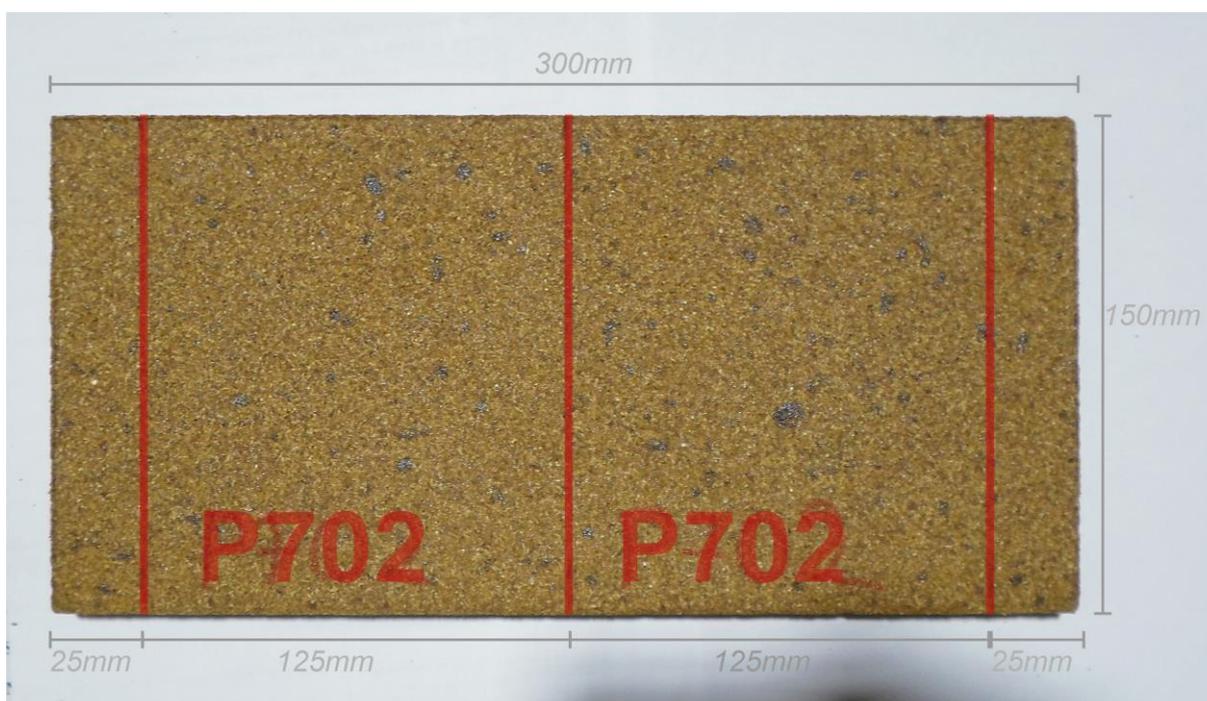


Figura 50. Medidas de la probeta

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

Una vez señalada la probeta se la coloca en la máquina para establecer la resistencia a la flexión, se aplica la fuerza y se va tomando datos de intervalos de tiempo hasta lograr que se produzca el fallo.

Al momento de someter la probeta a flexión constatamos la importancia de estas medidas ya que nos sirven de referencia para el desarrollo de la prueba (*figura 51*).

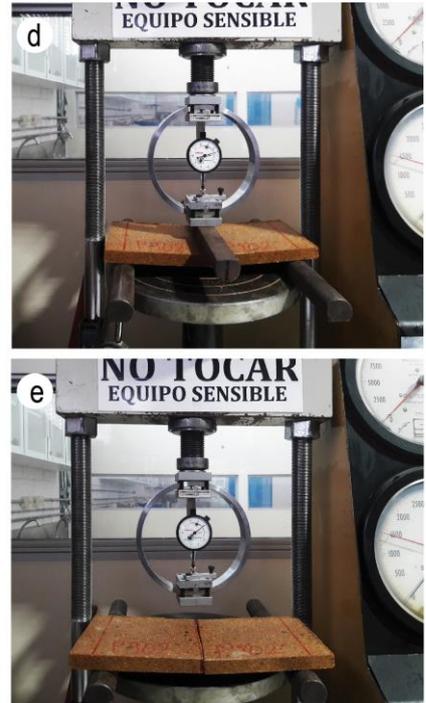
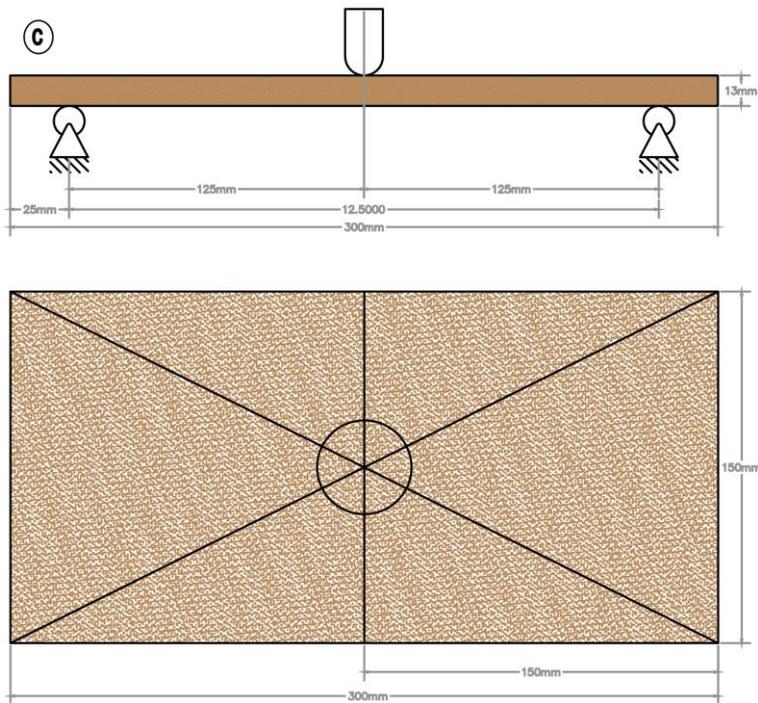


Figura 51. Pruebas a flexión

c. Diagrama de resistencia a la flexión

d. Probeta sometida a flexión

e. Probeta rota en su punto de falla

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

Fórmula para calcular la resistencia a la flexión:

$$B = \frac{3G.l}{be^2} \text{ (Eq.5)}$$

G = Carga de rotura en kgf

l = distancia entre apoyos en cm

b = anchura de las probetas en cm

e = grosor efectivo de las probetas en cm



Figura 52. Probetas ensayadas y falladas.

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

Tabla 26. Cálculo de la resistencia a flexión.

Dial de Deform. .001"	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (KG/CM ²)								
	P701	P702	P703	P801	P802	P803	P901	P902	P903
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	5.21	5.21	5.82	6.43	6.43	7.05	5.82	6.43	7.05
30	7.05	7.66	8.28	12.57	10.73	10.12	11.35	12.57	13.43
40	9.50	10.12	10.98	16.26	15.03	14.05	16.26	17.73	18.10
50	11.96	12.57	12.94	20.55	18.71	17.49	21.17	22.15	22.52
60	14.54	14.66	15.77	25.83	24.24	21.78	24.85	25.47	26.08
70	16.87	16.75	18.47	30.38	29.76	27.31	30.99	32.22	33.45
80	19.33	19.45	20.68	34.67	33.69	31.61	36.52	37.38	38.36
90	21.78	22.03	23.01	38.36	38.97	35.90	41.43	42.66	43.27
100	24.61	24.48	25.71	42.04	42.66	40.81	44.50	45.72	46.95
110	27.06	27.18	28.54	45.97	46.71	44.50	50.02	51.25	51.86
120	29.27	29.39	31.61	49.65	50.64	47.20	54.93	55.55	56.78
130	31.24	31.24	34.18	53.09	54.93	51.25	58.00	59.35	60.46
140	33.45	33.57	37.13	56.78	56.78	54.32	61.69	63.16	64.63
150	35.66	35.78	39.59	59.48	59.97	57.39	65.37	66.97	68.19
160	37.74	37.87	42.04	62.91	63.53	60.46	68.44	70.16	70.40
170	39.83	39.71	44.50	65.98	65.62	63.53	71.75	73.23	74.21
180	41.55	41.80	47.32	69.67	69.67	66.60	75.19	77.89	79.37
190	43.27	43.39	49.90	70.89	73.35	69.05	81.33	82.93	83.91

Tabla 26. Cálculo de la resistencia a flexión. (Continuación)

200	44.50	44.74				71.51	83.79	86.00	86.61
210	45.72	46.22		73.35		74.21	86.24	88.82	91.15
220	47.08	47.93		76.05		76.42	88.82	91.15	93.36
230	48.18	49.16		78.26		78.88	91.77	95.45	97.05
240	49.29	51.86	53.09	80.10	75.44	80.35	93.61	97.66	99.63
250	50.02	53.71	54.69	81.31	77.65	81.58	96.19	100.98	102.45
260	50.27	56.04	56.41	82.56	79.49	83.17	98.89	104.66	106.26
280	50.64	57.39	53.09	82.80	81.09	80.10	100.49	106.75	108.47
290	49.16	54.44	48.18	80.10	81.33	76.42	97.29	100.98	103.43
300	43.27	49.41	43.27	73.96	80.72	69.05	92.38	88.70	100.98
310	16.26	17.49	18.71	67.83	76.42	65.37	81.33	78.88	88.70
RESULTADOS									
A FLEXIÓN	50.64	57.39	56.41	82.80	81.33	83.17	100.49	106.75	108.47
kg/cm²									
PROMEDIO		54.81			82.43			105.24	

Fuente: La autora
Elaboración: La autora

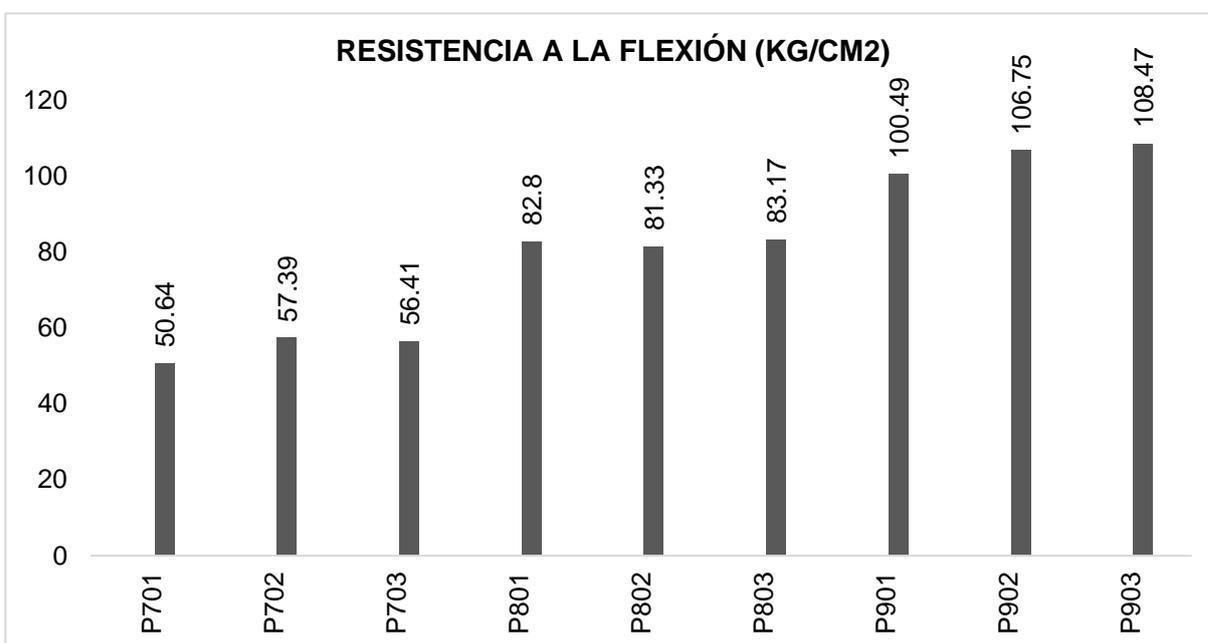


Figura 53. Resumen de la resistencia a flexión.

Fuente: La autora
Elaborado: La autora

4.4.2. Ensayo al impacto.

Para el desarrollo de las pruebas al impacto se ha hecho un ensayo de manera experimental usando una máquina realizada por estudiantes de arquitectura de resistencia de materiales, la misma que tiene las siguientes características:

Masa de la barra = 10kg

Diámetro de la barra = 0.07m

Altura de impacto máximo = 2m

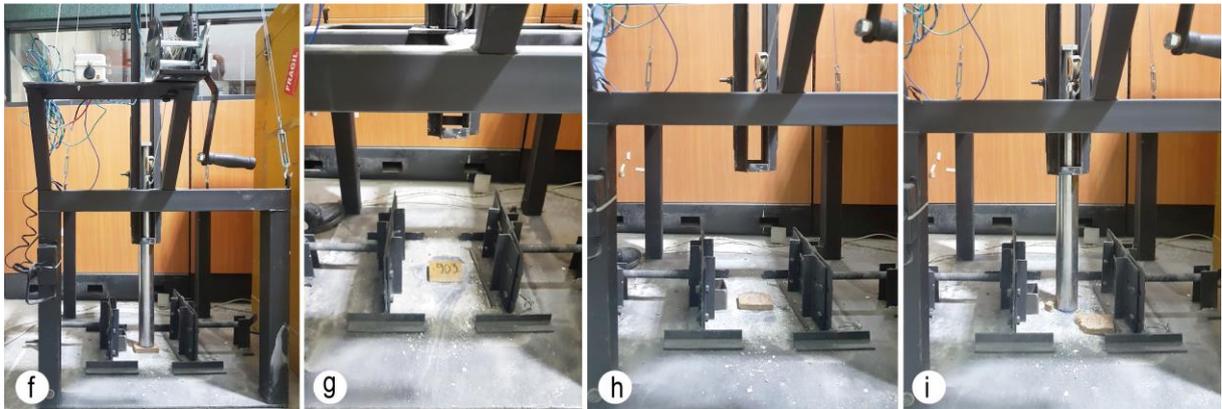


Figura 54. Proceso del ensayo al impacto.

- f) Primer impacto, probeta de nivel a (ningún deterioro apreciable a la vista en la superficie de la probeta)
- g) Segundo impacto, probeta de nivel b (líneas o trazos circulares alrededor del impacto)
- h) Tercer impacto, probeta de nivel d (sin desprendimiento de material)
- i) Cuarto impacto, probeta de nivel e (desprendimiento de material en forma de escamas)

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

Cabe indicar que las probetas ensayadas no tuvieron ningún material que sirva como amortiguador, a pesar de ello obtuvieron buena resistencia al impacto de la carga de 10kg, generalmente se realiza con cargas mucho menores y un amortiguador que hace que el material resista a mayor cantidad de impactos.



Figura 55. Probetas impactadas.

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

Tabla 27. Probetas para las pruebas de impacto.

PROBETAS DESTINADAS A LOS ENSAYOS AL IMPACTO							
PROBETA	ASERRÍN	RESINA	RESINA	COBALTO	MEK 2	PRESIÓN	TAMAÑO
S	DE PINO	(%)	(gr)	1.5% (ml)	% (ml)	(Ton-m)	(mm)
	(gr)						
PB701	19	70	13.3	0.20	0.27	6	70x40x13
PB702	19	70	13.3	0.20	0.27	6	70x40x13
PB703	19	70	13.3	0.20	0.27	6	70x40x13
PB801	19	80	15.2	0.23	0.30	6	70x40x13
PB802	19	80	15.2	0.23	0.30	6	70x40x13
PB803	19	80	15.2	0.23	0.30	6	70x40x13
PB901	19	90	17.1	0.26	0.34	6	70x40x13
PB902	19	90	17.1	0.26	0.34	6	70x40x13
PB903	19	90	17.1	0.26	0.34	6	70x40x13

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Tabla 28. Determinación de la resistencia al impacto.

ENSAYOS AL IMPACTO							
Masa= 10kg							
Diámetro de la masa= 7cm							
F(gravedad)= 9.81 m/s²							
Probetas	Números de golpes	Altura de caída (m)	Tiempo (s)	Descripción del deterioro			
				1	2	3	4
PB701	4	0.50	1	a	b	b	d
PB702	4	0.50	1	a	a	b	d
PB703	4	0.50	1	a	b	d	e
PB801	3	0.50	1	b	c	d	
PB802	2	0.50	1	a	b	d	
PB803	3	0.50	1	a	c	e	
PB901	2	0.50	1	c	e		
PB902	2	0.50	1	c	d		
PB903	1	0.50	1	d			

a	Ningún deterioro apreciable a la vista en la superficie de la probeta.
b	Líneas o trazos circulares alrededor del impacto Ni fisuras radiales ni desprendimiento de material
c	Fisuras radiales de longitud $5 < l \leq 10$ mm Sin desprendimiento de material
d	Fisuras radiales de longitud $l > 10$ mm Sin desprendimiento de material
e	Desprendimiento de material en forma de escamas

Fuente: (Castello, 2014) y la autora

Elaboración: La autora

4.5. Ensayos físicos del material.

Los ensayos físicos son necesarios para determinar propiedades del material entre ellas encontramos hinchazón y absorción de agua por inmersión total, humedad, densidad, transferencia de calor de un material, absorción acústica y resistencia al fuego.

4.5.1. Determinación del peso específico

Para determinar el peso específico nos basaremos en la normativa UNE 56.709 y las especificaciones de las probetas que se detallan en la *tabla 29* (AITIM, 2012).

Al peso específico se lo define como el cociente del peso de la probeta (kgf), por el volumen de esta en cm³ (AITIM, 2012).

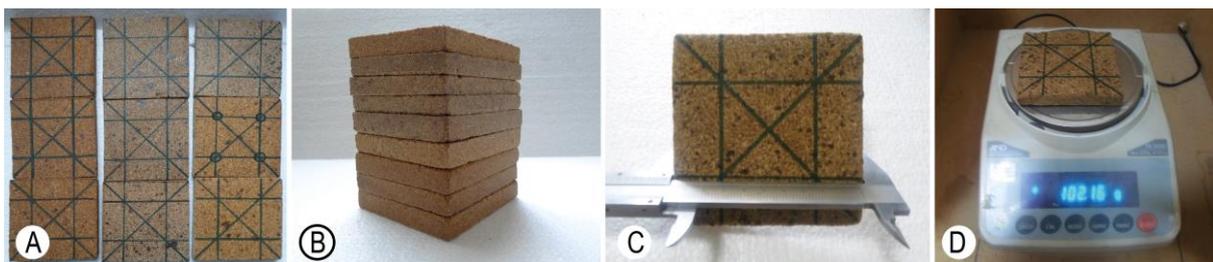


Figura 56. Probetas para determinación de peso específico.

- A) Probetas medidas y señaladas
- B) 9 probetas para el peso específico
- C) Medición de las probetas
- D) Pesado de las probetas

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

Las probetas deben tener las siguientes características:

- Forma cuadrada de 100mm de lado
- Bordes rectos, limpios y sin protección

(AITIM, 2012)

Se determinará el peso específico por la siguiente fórmula:

$$Y = \frac{G}{V} \times 1000 \quad (\text{Eq.6})$$

Y= Peso específico.

G= Peso en gramos.

V= Volumen en cm³.

Tabla 29. Probetas destinadas a la determinación del peso específico.

PROBETAS DESTINADAS A LA DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO							
PROBETAS	ASERRÍN DE PINO (gr)	RESINA (%)	RESINA (gr)	COBALTO 1.5% (ml)	MEK 2 % (ml)	PRESIÓN (Ton-m)	TAMAÑO (mm)
PC701	66.67	70	210	3.15	4.20	6	100x100x13
PC702	66.67	70	210	3.15	4.20	6	100x100x13
PC703	66.67	70	210	3.15	4.20	6	100x100x13
PC801	66.67	80	240	3.60	4.80	6	100x100x13
PC802	66.67	80	240	3.60	4.80	6	100x100x13
PC803	66.67	80	240	3.60	4.80	6	100x100x13
PC901	66.67	90	270	4.05	5.40	6	100x100x13
PC902	66.67	90	270	4.05	5.40	6	100x100x13

Tabla 29. Probetas destinadas a la determinación del peso específico. (Continuación)

PC903	66.67	90	270	4.05	5.40	6	100x100x13
-------	-------	----	-----	------	------	---	------------

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Tabla 30. Resultados del peso específico.

RESULTADOS DEL PESO ESPECÍFICO			
Probetas	Peso en kg	Volumen m3	Pero específico Kgf/m3
PC701	0.102	1.35	75.56
PC702	0.109	1.48	73.65
PC703	0.120	1.74	68.96
PC801	0.132	1.78	74.16
PC802	0.108	1.36	79.41
PC803	0.103	1.38	74.64
PC901	0.132	1.78	74.16
PC902	0.121	1.57	77.07
PC903	0.132	1.80	73.33

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

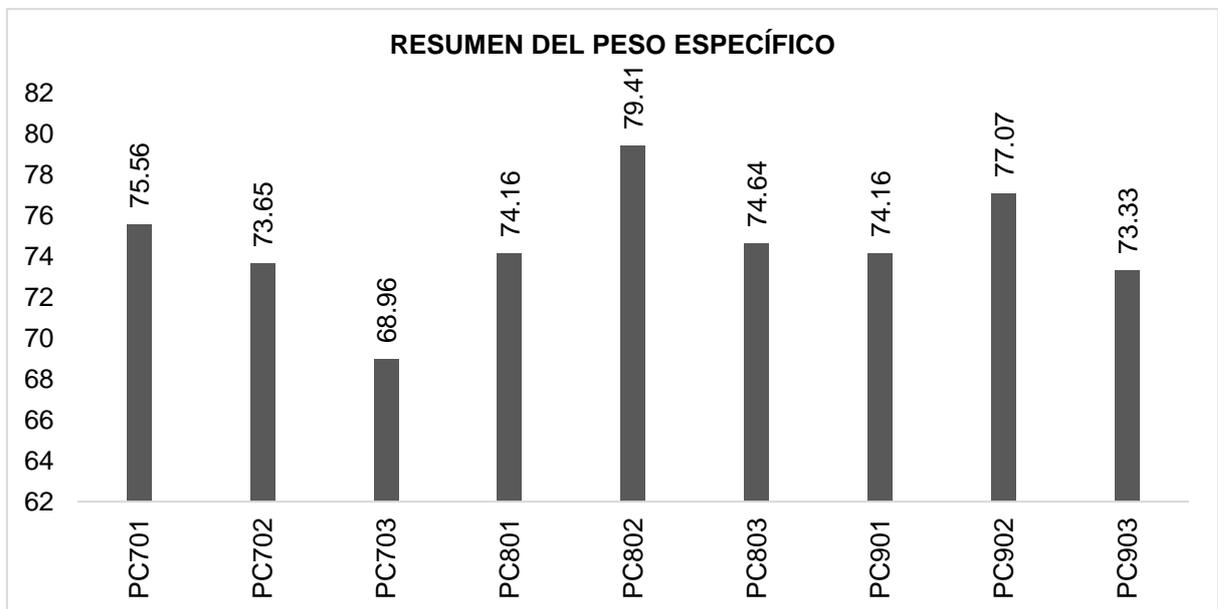


Figura 57. Resumen del peso específico.

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

4.5.2. Determinación de la hinchazón y de la absorción de agua por inmersión total.

Estas pruebas se desarrollarán según indica la norma UNE 56.713 (AITIM, 2012), sus especificaciones están detalladas en la *Tabla 31*.

Para los ensayos de la hinchazón y absorción de agua por inmersión total según la norma UNE 56.713 la probeta debe tener forma cuadrada de lado 100mm, bordes rectos, limpios y sin protección. La probeta se pesará con una aproximación de 0,01g antes y después de la inmersión. Se mide el espesor en 4 puntos, se saca un promedio de ello y ese será el grosor efectivo. *“La longitud y la anchura se miden entre dos puntos de lado con una precisión de 0.1mm. La media aritmética de cada dos medidas paralelas se considerará como longitud o anchura efectiva de la probeta”* (AITIM, 2012).



Figura 58. Preparación de las probetas para los ensayos de la hinchazón y de la absorción de agua por inmersión total.

E) Pesado de las probetas

F) Medición de probetas

G) Probetas listas para ser ensayadas

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

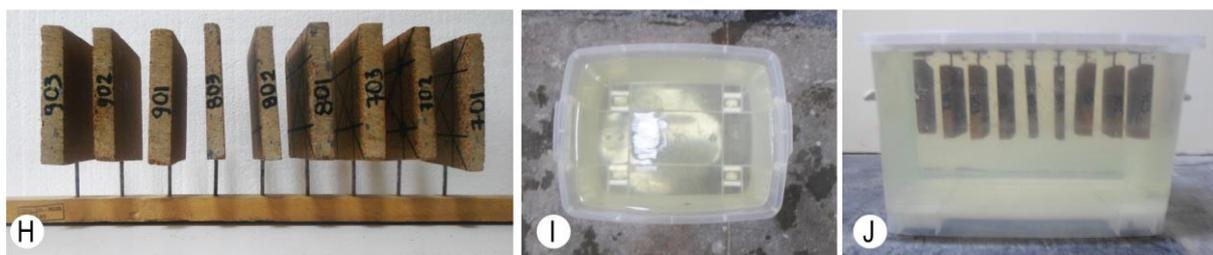


Figura 59. Proceso para los ensayos de la hinchazón y de la absorción de agua por inmersión total.

H) Probetas listas para la inmersión en el agua.

I) Tina de agua

J) Probetas sumergidas en el agua

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Para su determinación se usará la siguiente fórmula:

$$\text{Hinchazón \%} = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100 \quad (\text{Eq.7})$$

L_1 = Medida (grosor, longitud o anchura) después de la inmersión.

L_0 = Medidas antes de la inmersión.

$$\text{Absorción \%} = \frac{G_1 - G_0}{G_0} \times 100 \quad (\text{Eq.8})$$

G_1 = Peso después de la inmersión.

G_0 = Peso antes de la inmersión.

Tabla 31. Probetas determinadas a la hinchazón y de la absorción del agua por inmersión total.

PROBETAS DESTINADAS A LA DETERMINACIÓN DE LA HINCHAZÓN Y DE LA ABSORCIÓN DE AGUA POR INMERSIÓN TOTAL							
PROBET AS	ASERRÍN DE PINO (gr)	RESINA (%)	RESINA (gr)	COBALTO 1.5% (ml)	MEK 2 % (ml)	PRESIÓN (Ton-m)	TAMAÑO (mm)
PD701	66.67	70	210	3.15	4.20	6	100x100x13
PD702	66.67	70	210	3.15	4.20	6	100x100x13
PD703	66.67	70	210	3.15	4.20	6	100x100x13
PD801	66.67	80	240	3.60	4.80	6	100x100x13
PD802	66.67	80	240	3.60	4.80	6	100x100x13
PD803	66.67	80	240	3.60	4.80	6	100x100x13
PD901	66.67	90	270	4.05	5.4	6	100x100x13
PD902	66.67	90	270	4.05	5.4	6	100x100x13
PD903	66.67	90	270	4.05	5.4	6	100x100x13

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Tabla 32. Especificaciones de peso y medidas de las probetas de la hinchazón y absorción de agua por inmersión total.

HINCHAZÓN Y ABSORCIÓN DE AGUA POR INMERSIÓN TOTAL												
PESO Y MEDIDAS ANTES DE LA INMERSIÓN												
Prob.	Peso en gr	Espesor mm					Medidas de los lados mm					
		1	2	3	4	Pro.1	a	b	Pro.2	c	d	Pro.3
PD701	102.16	13.0	12.5	13.0	13.2	12.93	102.0	102.4	102.2	101.8	103.0	102.4
PD702	108.67	14.0	14.5	15.0	15.0	14.63	101.2	100.2	100.7	102.0	100.0	101.0
PD703	120.33	16.8	16.2	16.4	16.8	16.55	102.5	102.5	102.5	102.2	103.0	102.6
PD801	132.18	15.8	15.8	17.0	17.9	16.63	103.0	105.0	104.0	102.0	104.0	103.0
PD802	132.36	12.5	13.8	13.8	12.6	13.16	101.0	103.0	102.0	101.0	102.2	101.6
PD803	103.34	13.8	12.8	12.5	13.8	13.23	102.2	103.0	102.6	101.3	103.0	102.15
PD901	132.54	16.5	17.2	16.8	17.0	16.88	104.5	100.8	102.65	105.0	101.0	103.0
PD902	121.62	14.5	15.5	16.0	15.0	15.25	100.6	102.0	101.3	100.8	102.8	101.8
PD903	108.51	17.0	17.0	16.8	16.5	16.83	104.0	102.0	103.0	104.2	103.8	104.0
PESO Y MEDIDAS DESPUÉS DE LA INMERSIÓN												
Prob.	Peso en gr	Espesor mm					Medidas de los lados mm					
		1	2	3	4	Pro.1	a	b	Pro.2	c	d	Pro.3
PD701	144.75	13.5	13.0	13.3	13.4	13.30	103.6	105.2	104.40	104.0	104.6	104.30
PD702	166.62	14.5	14.9	15.2	15.3	14.98	103.5	102.2	102.85	104.8	102.5	103.65
PD703	184.66	17.2	17.1	17.0	17.5	17.20	109.0	105.0	107.00	105.5	106.0	105.75
PD801	185.44	16.1	17.0	17.2	17.5	16.95	107.0	104.0	105.50	106.0	104.5	105.25
PD802	179.24	13.0	14.0	13.9	13.1	13.50	104.2	103.0	103.60	104.5	103.0	103.75
PD803	138.94	13.8	13.2	12.9	14.2	13.53	105.5	104.0	104.75	105.0	103.8	104.40
PD901	177.30	16.9	17.5	17.2	17.4	17.25	102.6	107.5	105.05	103.5	107.0	105.25
PD902	159.20	14.9	15.8	16.4	15.3	15.60	103.0	105.0	104.00	103.5	104.5	104.00
PD903	138.49	17.3	17.4	17.1	16.7	17.13	106.6	104.5	105.55	104.9	104.0	104.45

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Tabla 33. Resultados de la hinchazón de las probetas.

RESULTADOS DE LA HINCHAZÓN										
FÓRMULA										
$\text{Hinchazón \%} = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100 \text{ (Eq.7)}$										
PROB.	Grosor (mm)			Largo (mm)			Ancho (mm)			Valores max. Permitidos
	L ₀	L ₁	Result. %	L ₀	L ₁	Result. %	L ₀	L ₁	Result. %	
PD701	12.93	13.30	2.86	102.20	104.40	2.15	102.40	104.30	1.86	Si
PD702	14.63	14.98	2.39	100.70	102.85	2.13	101.00	103.65	2.62	Si
PD703	16.55	17.20	3.93	102.50	107.00	4.39	102.60	105.75	3.07	No
PD801	16.63	16.95	1.92	104.00	105.50	1.44	103.00	105.25	2.18	Si
PD802	13.16	13.50	2.58	102.00	103.60	1.57	101.60	103.75	2.12	Si
PD803	13.23	13.53	2.28	102.60	104.75	2.09	102.15	104.40	2.20	Si
PD901	16.88	17.25	2.20	102.65	105.05	2.34	103.00	105.25	2.18	Si
PD902	15.25	15.60	2.30	101.30	104.00	2.67	101.80	104.00	2.16	Si
PD903	16.83	17.13	1.78	103.00	105.55	2.48	104.00	104.45	0.43	Si

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

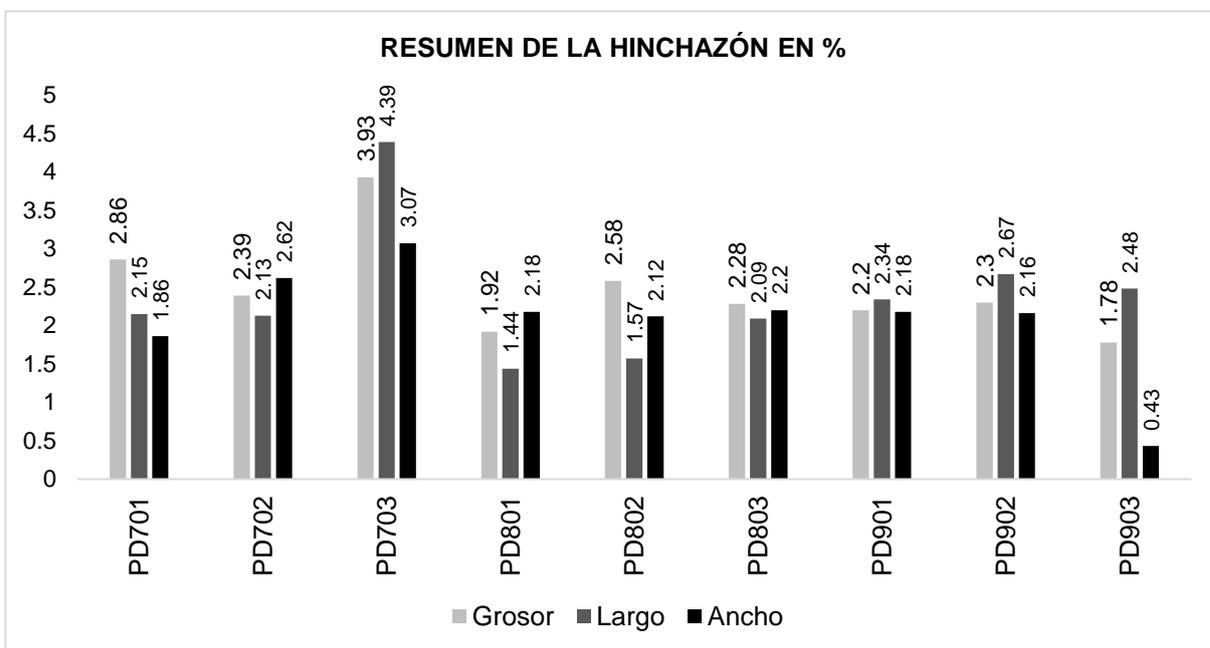


Figura 60. Resumen de la hinchazón.

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

Tabla 34. Resultados de la hinchazón de las probetas.

RESULTADOS DE LA ABSORCIÓN				
PROBETAS	G ₀	G ₁	FÓRMULA	RESULTADOS %
PD701	102.16	144.75	$\text{Absorción \%} = \frac{G_1 - G_0}{G_0} \times 100$ (Eq.8)	41.69
PD702	108.67	166.62		53.32
PD703	120.33	184.66		53.46
PD801	132.18	185.44		40.29
PD802	132.36	179.24		35.42
PD803	103.34	138.94		34.45
PD901	132.54	177.30		33.77
PD902	121.62	159.20		30.90
PD903	108.51	138.49		27.63

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

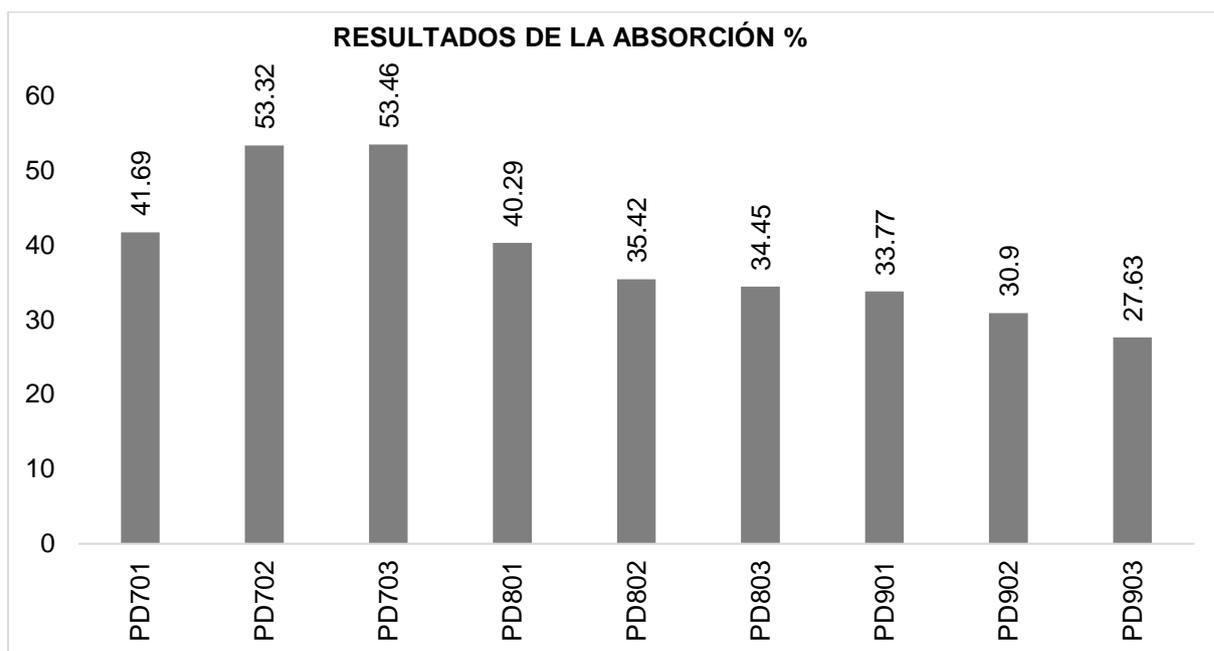


Figura 61. Resumen de la absorción.

Fuente: La autora

Elaborado: La autora

4.5.3. Determinación de la humedad.

Para la ejecución de este ensayo se toma en cuenta las características especificadas en la norma UNE 56.710, donde indica que se necesitará de un área mínima de 25cm² (AITIM, 2012). En la *tabla 34* se especifica sus características.

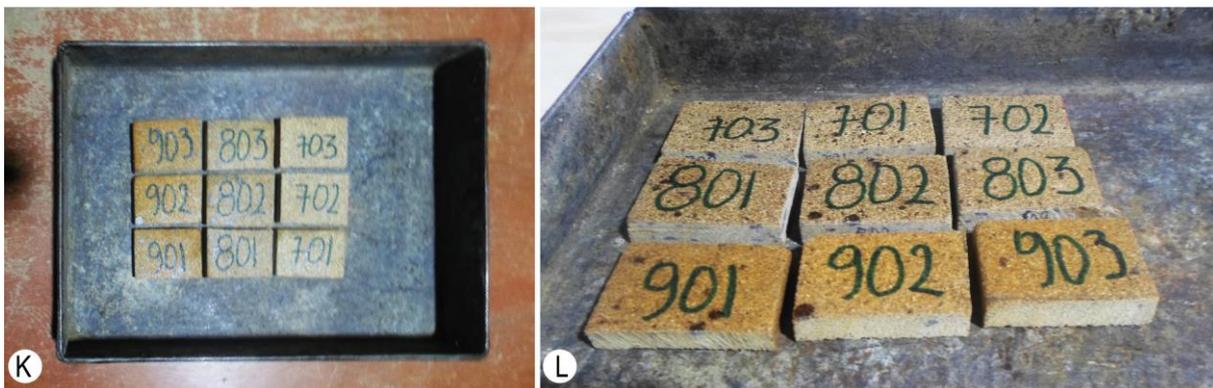


Figura 62. Probetas ensayadas para determinar la humedad.

K) Probetas antes de colocarlas en el horno

L) Probetas después de haber estado en el horno

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Una vez medidas y pesadas las probetas se colocan en el horno según la norma UNE 56.710 a una temperatura de 103 a 105 °C hasta que alcance un peso constante, lo probamos pesando periódicamente hasta que dos veces consecutivas nos den el mismo resultado, después de ello sacamos las muestras del horno, dejamos enfriar a temperatura ambiente y volvemos a pesar como se lo hizo al inicio.

Para su cálculo se hará uso de la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad \%} = \frac{G_1 - G_2}{G_2} \times 100 \text{ (Eq.9)}$$

G_1 = Peso inicial de la probeta en gramos.

G_0 = Peso después de la desecación de la probeta, en gramos.

Tabla 35. Probetas determinadas a humedad.

PROBETAS DESTINADAS A LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD							
PROBETA	ASERRÍN DE PINO (gr)	RESINA (%)	RESINA (gr)	COBALTO 1.5% (ml)	MEK 2 % (ml)	PRESIÓN (Ton-m)	TAMAÑO (mm)
PE701	19	70	13.3	0.20	0.27	6	70x40x13
PE702	19	70	13.3	0.20	0.27	6	70x40x13
PE703	19	70	13.3	0.20	0.27	6	70x40x13
PE801	19	80	15.2	0.23	0.30	6	70x40x13
PE802	19	80	15.2	0.23	0.30	6	70x40x13
PE803	19	80	15.2	0.23	0.30	6	70x40x13

Tabla 35. Probetas determinadas a humedad. (Continuación)

PE901	19	90	17.1	0.26	0.34	6	70x40x13
PE902	19	90	17.1	0.26	0.34	6	70x40x13
PE903	19	90	17.1	0.26	0.34	6	70x40x13

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Tabla 36. Resultados de los ensayos de la humedad.

RESULTADOS DE LA HUMEDAD			
PROBETA	PESO INICIAL (G₁) gr.	PESO DESPUES DE LA DESECACIÓN EN (G₂) gr.	RESULTADOS DE LA HUMEDAD %
PE701	43.36	42.10	2.99
PE702	45.71	44.32	3.14
PE703	43.86	42.43	3.37
PE801	45.48	44.01	3.34
PE802	51.99	50.50	2.95
PE803	42.16	40.69	3.61
PE901	42.51	40.98	3.73
PE902	45.88	44.29	3.59
PO903	50.19	40.50	3.48

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

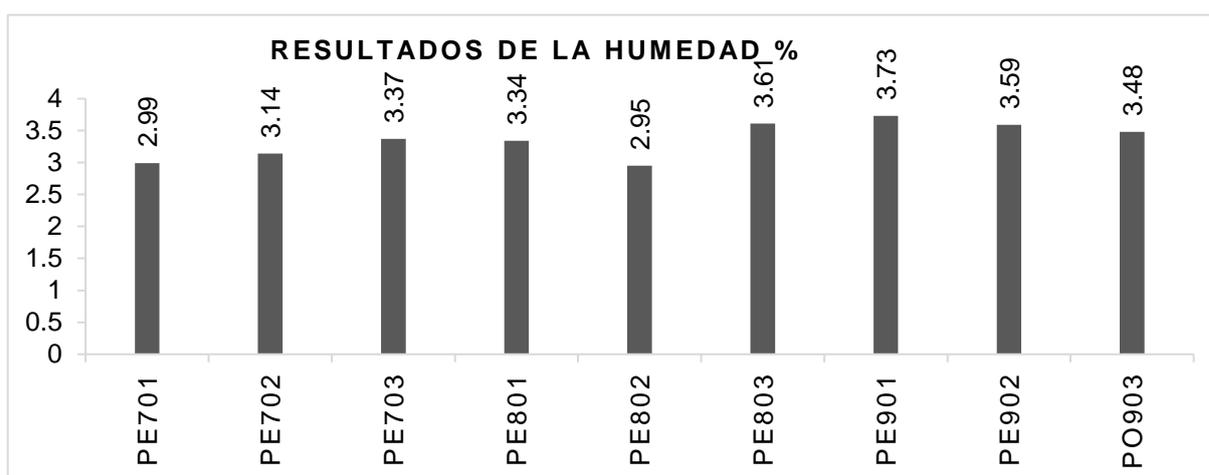


Figura 63. Resumen de resultados de la humedad.

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

4.5.4. Determinación de la densidad.

La densidad de un tablero se determina por la fuerza de compresión de las partículas con resina aplicada al momento de prensarlo y la capacidad que éstas tienen para adherirse. Para considerar un tablero de densidad media su densidad debe estar entre 400 y 800 kg/cm³, este se caracteriza por una buena estabilidad dimensional, tableros con densidad mayor a 800kg/cm³ tienen menor estabilidad y se consideran de alta densidad (Poblete, Loncomilla, & Inzunza, 2000).

Para determinar la densidad nos hemos basado en la norma UNE-EN 316 que dicta que la densidad para un tablero de partículas debe ser igual o superior a 450 kg/m³.

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ (Eq.10)}$$

ρ = Densidad en kg/m³

m = masa de la probeta en kg

V = Volumen de la probeta en m³

Tabla 37. Resultados de la determinación de la densidad.

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD				
PROBETAS	Dimensiones	Masa (kg)	Volumen (m³)	Densidad (kg/m³)
PF701	300x150x15mm	0.5141	0.000675	761.63
PF702	300x150x17mm	0.5840	0.000765	763.40
PF703	300x150x17mm	0.5849	0.000765	764.58
PF801	300x150x15mm	0.5177	0.000675	766.96
PF802	300x150x17mm	0.5853	0.000765	765.10
PF803	300x150x14mm	0.5241	0.000630	816.03
PF901	300x150x13mm	0.4855	0.000585	829.91
PF902	300x150x13mm	0.5122	0.000585	875.56
PF903	300x150x13mm	0.5245	0.000585	896.58

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Al obtener los resultados podemos ver en la *tabla 36* que los rangos de densidad del tablero de partículas están entre los de densidad media-alta, las probetas de porcentajes de resina entre 70 y 80% son aquellas que están dentro del rango de densidad media, mientras en las probetas con resina del 90% son tableros de alta densidad por lo tanto menor estabilidad dimensional según (Poblete et al., 2000).

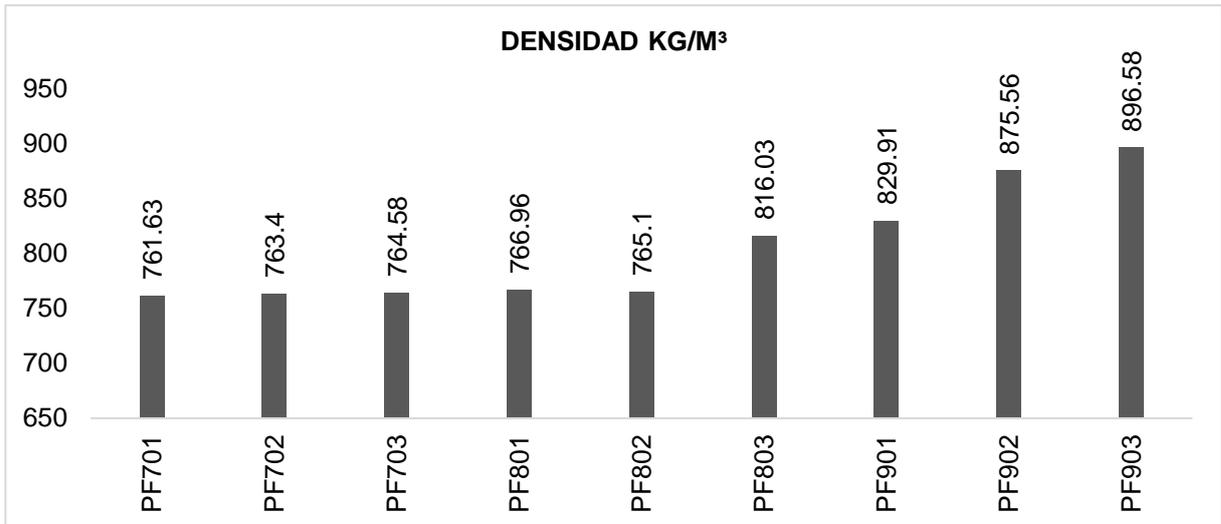


Figura 64. Resumen de resultados de la densidad.

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

4.5.5. Determinación de la transferencia de calor.

Para el cálculo de la transferencia de calor nos hemos basado en el libro de (Cengel, 2007) *“Transferencia de calor y masa”*.

Para el desarrollo del ensayo a la transferencia de calor se ha realizado una caja de espuma flex de dimensiones 70cm X 39cm X 34cm y un espesor de 4cm con una cobertura exterior de MDF de espesor de 0.5cm, la caja de espuma flex tiene una ranura para colocar el material en la parte central formando así dos espacios, el uno como emisor que da calor y el otro como receptor que recibe la cantidad de temperatura que es conducida mediante el material.

Para lograr esto colocamos un termómetro en cada espacio, lo cerramos de manera hermética para que no haya fuga de energía y con un termómetro de monitoreo desde afuera vamos anotando la temperatura inicial, a los 30, 60 y 90 minutos.

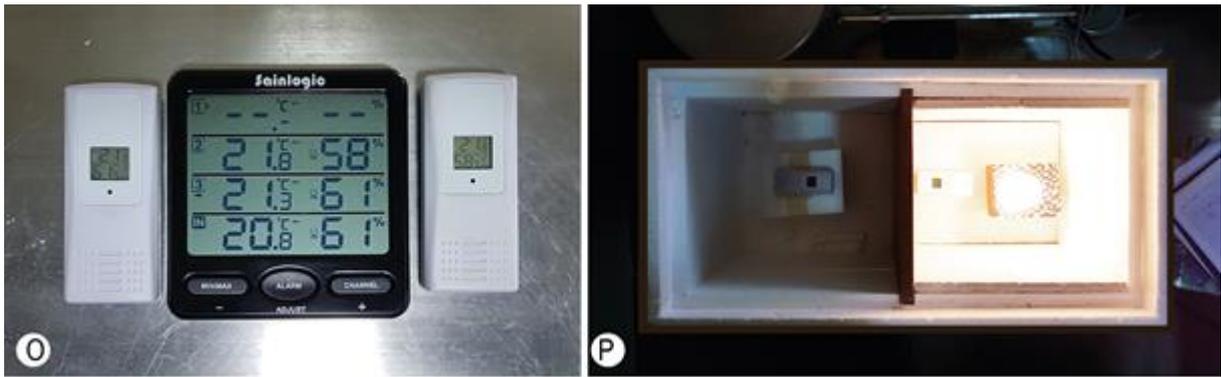


Figura 65. Artefactos necesarios para los ensayos de transferencia de calor.

O) Termómetros básicos y termómetro de monitoreo.

P) Caja acondicionada para el desarrollo del ensayo de transferencia de calor.

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Tabla 38. Probetas determinadas a la transferencia de calor del material.

PROBETAS DESTINADAS A LA DETERMINACIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR							
PROBETAS	ASERRÍN DE PINO (gr)	RESINA (%)	RESINA (gr)	COBALTO 1.5% (ml)	MEK 2 % (ml)	PRESIÓN (Ton-m)	TAMAÑO (mm)
PG701	600	70	420	6.30	8.40	6	300x300x15
PG702	600	70	420	6.30	8.40	6	300x300x15
PG703	600	70	420	6.30	8.40	6	300x300x15
PG801	600	80	480	7.20	9.60	6	300x300x15
PG802	600	80	480	7.20	9.60	6	300x300x15
PG803	600	80	480	7.20	9.60	6	300x300x15
PG901	600	90	540	8.10	10.8	6	300x300x15
PG902	600	90	540	8.10	10.8	6	300x300x15
PG903	600	90	540	8.10	10.8	6	300x300x15

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Tabla 39. Datos de transferencia de calor.

TRANSFERENCIA DE CALOR					
PROBETA	T° INICIAL EN °C	T° en °C a los 30 min	T° en °C a los 60 min	T° en °C a los 90 min	
PH70%	T2	21.3	37.1	50.1	59.8
	T1	21.0	21.0	25.4	29.9
	IN	20.4	20.0	20.1	20.1
PH80%	T2	21.6	37.4	50.4	60.1
	T1	21.2	21.3	25.7	30.2
	IN	20.7	20.6	20.3	20.3
PH90%	T2	21.8	37.6	50.6	60.3
	T1	21.3	21.3	25.7	30.2
	IN	20.8	19.8	19.8	19.2

T1= Temperatura en el emisor

T2= Temperatura en el receptor

IN= Temperatura exterior

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

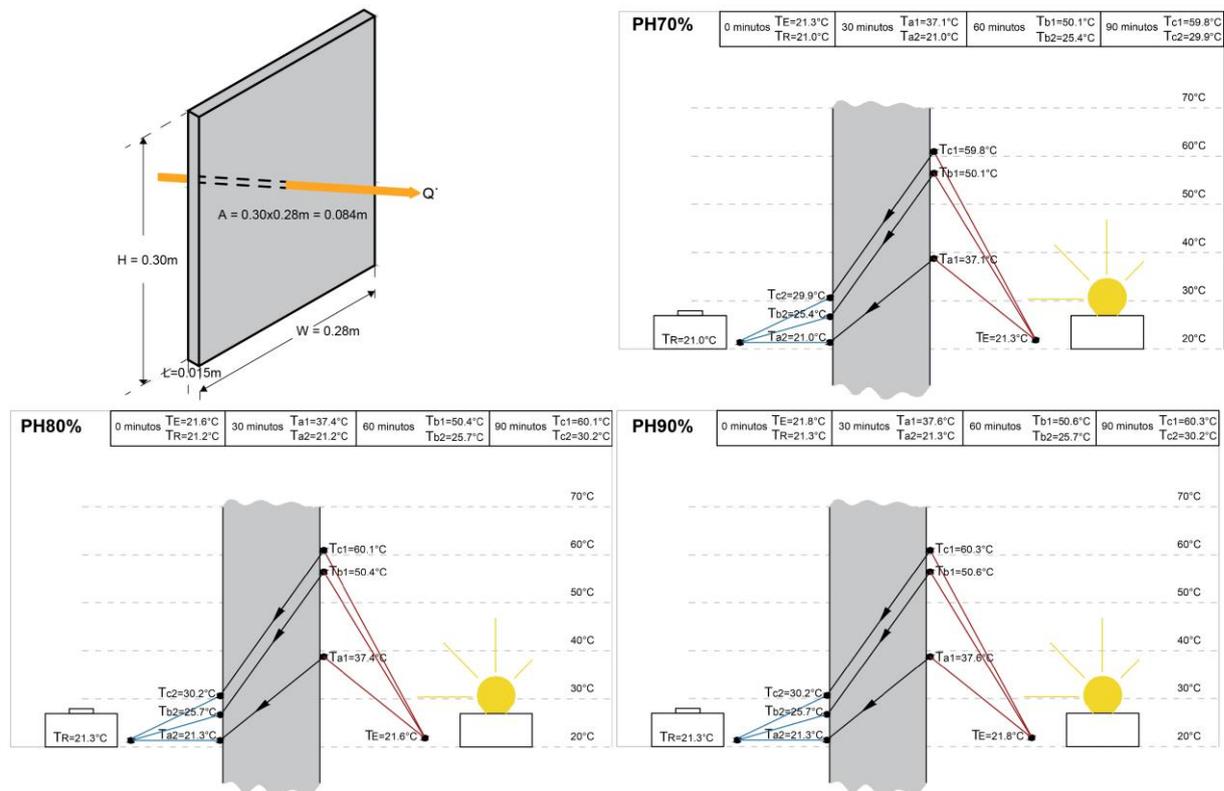


Figura 66. Gráfica de transferencia de calor de un material.

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Tabla 40. Resultados de la transferencia de calor.

INDICE DE TRANSFERENCIA DE CALOR (KW)								
				$Q' = kA \frac{(T1-T2)}{L}$ (Eq.1)		$Q = Q' \Delta t$ (Eq.2)		
k = conductividad térmica, A = área del material, L = espesor del material, Q' = Índice de transferencia de calor, Q = transferencia total de calor, Δt = tiempo								
Probetas	Tiempo (h)	T1° C	T2° C	Conductividad W/(m.°C)	Área del material (m²)	Espejo del material (L(m))	Índice de transferencia de calor Q' (KW)	transferencia total de calor Q (KW)
PH70%		37.1	21.0	0.23	0.084	0.015	0.021	0.0105
PH80%	0.5	37.4	21.3	0.23	0.084	0.015	0.021	0.0105
PH90%		37.6	21.3	0.23	0.084	0.015	0.021	0.0105
PH70%		50.1	25.4	0.23	0.084	0.015	0.032	0.032
PH80%	1	50.4	25.7	0.23	0.084	0.015	0.032	0.032
PH90%		50.6	25.7	0.23	0.084	0.015	0.032	0.032
PH70%		59.8	29.9	0.23	0.084	0.015	0.039	0.0585
PH80%	1.5	60.1	30.2	0.23	0.084	0.015	0.039	0.0585
PH90%		60.3	30.2	0.23	0.084	0.015	0.039	0.0585

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

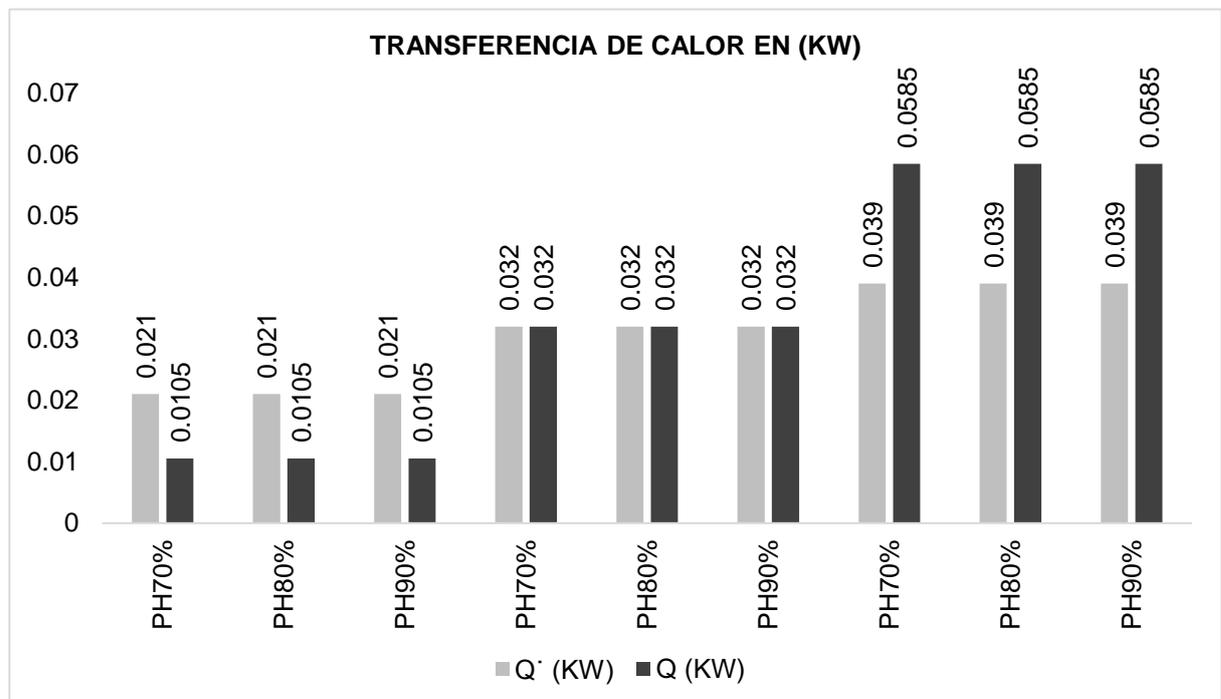


Figura 67. Transferencia de calor.

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

4.5.6. Determinación del aislamiento acústico bruto y ruido aéreo.

Para este ensayo nos hemos ayudado con una muestra de ruido rosa, una computadora para emitir el ruido, dos parlantes, un sonómetro y se realizó una caja de placas de poliestireno de dimensiones 70cm X 39cm X 34cm y un espesor de 4cm con una cobertura exterior de MDF de espesor de 0.5cm, la caja interna tiene una ranura para colocar el material en la parte central formando así dos espacios, el uno es el que emite el ruido y el otro el que recibe el ruido que traspasa el material.

Tabla 41: Fórmulas y nomenclatura de aislamiento acústico global y ruido aéreo.

FORMULARIO Y NOMENCLATURA DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO BRUTO Y RUIDO AÉREO	
AISLAMIENTO ACÚSTICO BRUTO	RUIDO AÉREO
$D = LI1 - LI2$, en dB (Eq.3)	$R = D + 10 \log (S/A) = LI1 - LI2 + 10 \log (S/A)$, en dB. (Eq.4)
LI1 = es el nivel de intensidad acústica en el local emisor.	S = es la superficie del elemento separador, en m ²
LI2 = es el nivel de intensidad acústica en el local receptor.	A = es la absorción del recinto receptor, en m ²

Fuente: La autora

Elaboración: La autora



Figura 68. Elementos para determinar el aislamiento acústico bruto y ruido aéreo.

Q) Caja para determinar el aislamiento acústico bruto y ruido aéreo.

R) Calibración de la caja para determinar el aislamiento acústico bruto y ruido aéreo.

S) Parlantes para emitir el ruido.

T) Sonómetro CESVA model:SC260 class 2.

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Tabla 42. Probetas para la determinación del aislamiento acústico bruto y ruido aéreo.

PROBETAS PARA DETERMINAR EL AISLAMIENTO ACÚSTICO BRUTO Y RUIDO AÉREO							
PROBETAS	ASERRÍN DE PINO (gr)	RESINA (%)	RESINA (gr)	COBALTO 1.5% (ml)	MEK 2 % (ml)	PRESIÓN (Ton-m)	TAMAÑO (mm)
PI701	600	70	420	6.30	8.40	6	300x300x15
PI702	600	70	420	6.30	8.40	6	300x300x15
PI703	600	70	420	6.30	8.40	6	300x300x15
PI801	600	80	480	7.20	9.60	6	300x300x15
PI802	600	80	480	7.20	9.60	6	300x300x15
PI803	600	80	480	7.20	9.60	6	300x300x15
PI901	600	90	540	8.10	10.8	6	300x300x15
PI902	600	90	540	8.10	10.8	6	300x300x15
PI903	600	90	540	8.10	10.8	6	300x300x15

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Tabla 43. Datos obtenidos para determinar el aislamiento acústico bruto y ruido aéreo.

ACÚSTICA					
Probeta		acústica /emisor/calibrado	5 minutos	10 minutos	acústica /receptor a 20 minutos
		L11			L12
PI701	Last Max (dB)	110	85.3	82.2	79.6
	Last Min (dB)	58.4	48.1	47.3	51.0
PI702	Last Max (dB)	110	84.8	81.4	78.4
	Last Min (dB)	58.4	47.9	46.1	50.6
PI703	Last Max (dB)	110	84.5	81.8	77.9
	Last Min (dB)	58.4	47.8	46.7	50.2
PI801	Last Max (dB)	110	84.2	83.9	80.3
	Last Min (dB)	58.4	47	57.9	69.5
PI802	Last Max (dB)	110	84.8	83.6	81.0
	Last Min (dB)	58.4	49.0	58.1	68.3
PI803	Last Max (dB)	110	85.1	83.8	80.7
	Last Min (dB)	58.4	47.4	57.8	69.2
PI901	Last Max (dB)	110	84.0	82.9	82.0
	Last Min (dB)	58.4	70.0	68.9	68.1
PI902	Last Max (dB)	110	83.9	82.7	81.7
	Last Min (dB)	58.4	74.7	72.0	70.4

Tabla 43. Datos obtenidos para determinar el aislamiento acústico bruto y ruido aéreo.

(Continuación)

PI903	Last Max (dB)	110	83.3	82.3	81.4
	Last Min (dB)	58.4	75.1	72.7	70.6

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Tabla 44. Resultados del aislamiento acústico bruto y ruido aéreo.

RESULTADS DE AISLAMIENTO ACÚSTICO BRUTO Y RUIDO AÉREO		
Probeta	Aislamiento acústico bruto a los 20 minutos	Ruido aéreo a los 20 minutos
	D = LI1 - LI2, en dB	R = D + 10 log (S/A)
PI701	30.4 dB	30.72dB
PI702	31.6 dB	31.92dB
PI703	32.1 dB	32.42dB
PI801	29.7 dB	30.02dB
PI802	29.0 dB	29.32dB
PI803	29.3 dB	29.62dB
PI901	28.0 dB	28.32dB
PI902	28.3 dB	28.62dB
PI903	28.6 dB	28.30dB

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

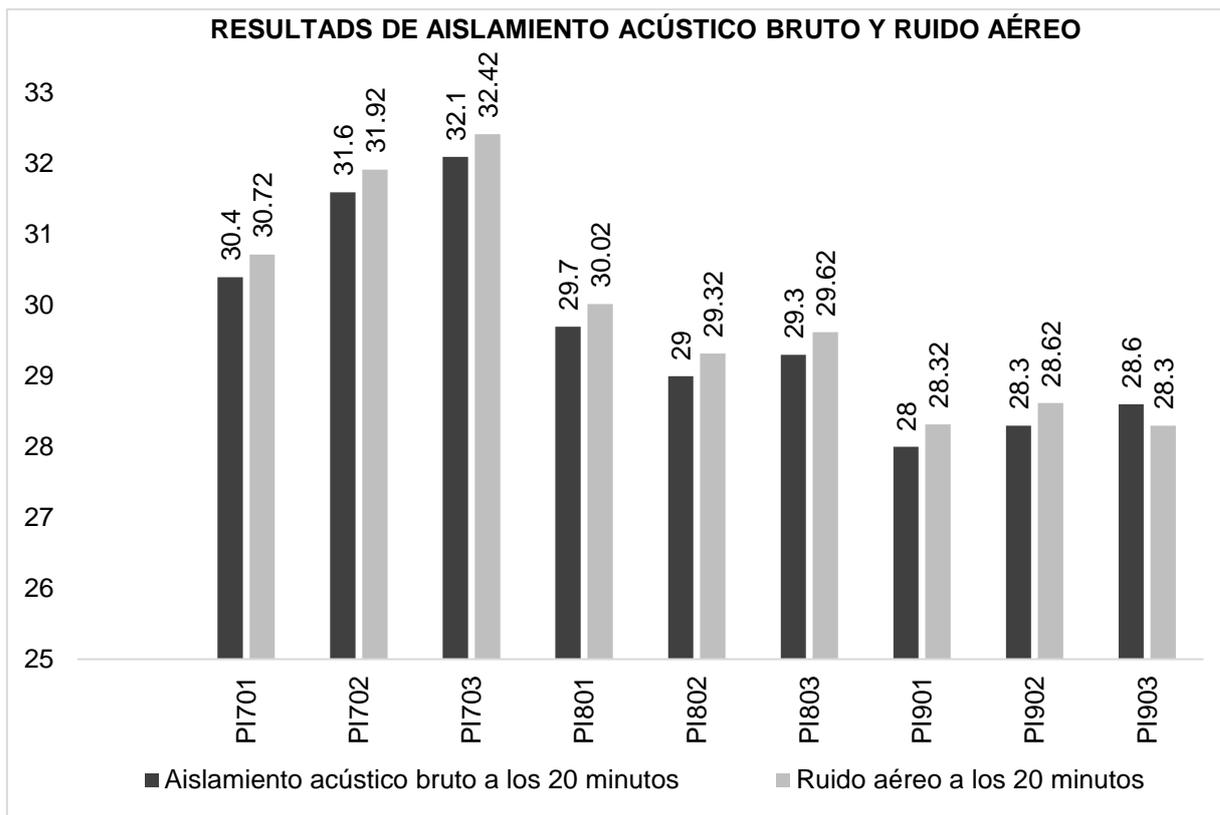


Figura 69. Aislamiento acústico bruto y ruido aéreo.

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

4.5.7. Determinación de la resistencia al fuego.

Para determinar la resistencia al fuego hemos tomado en cuenta la norma NTE INEN 804. “Prevención de incendios. Determinación de la resistencia al fuego de elementos constructivos”, la misma que nos indica que para someter a una probeta al fuego debe colocarse en un soporte a 45° y el fuego debe proyectarse de manera perpendicular a la probeta y mantener una llama constante hasta que la probeta produzca la falla, en este caso se mantuvo el fuego constante hasta que éste traspase la probeta. También hemos hecho uso de la normativa NCh 935/1 Of.97 “Prevención de incendios en edificios – Ensayo de resistencia al fuego – Parte 1: Elementos en construcción en general” (UNIVERSIDAD DE CHILE, 2005).



Figura 70. Ensayo de la resistencia al fuego.

- U) Inicio del ensayo a la resistencia del fuego
- V) Resistencia al fuego a los 20 minutos
- W) Resistencia al fuego a los 30 minutos
- X) Resistencia al fuego a los 55 minutos
- Y) Falla de la probeta parte frontal
- Z) Falla de la probeta parte posterior

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Tabla 45. Probetas determinadas a la resistencia al fuego.

PROBETAS DESTINADAS A LA RESISTENCIA AL FUEGO							
PROBETAS	ASERRÍN DE PINO (gr)	RESINA (%)	RESINA (gr)	COBALTO 1.5% (ml)	MEK 2 % (ml)	PRESIÓN (Ton-m)	TAMAÑO
PJ701	300	90	270	4.05	5.40	6	300x150x15mm
PJ702	300	90	270	4.05	5.40	6	300x150x15mm
PJ703	300	90	270	4.05	5.40	6	300x150x15mm
PJ801	300	90	270	4.05	5.40	6	300x150x15mm
PJ802	300	90	270	4.05	5.40	6	300x150x15mm

Tabla 45. Probetas determinadas a la resistencia al fuego. (Continuación)

PJ803	300	90	270	4.05	5.40	6	300x150x15mm
PJ901	300	90	270	4.05	5.40	6	300x150x15mm
PJ902	300	90	270	4.05	5.40	6	300x150x15mm
PJ903	300	90	270	4.05	5.40	6	300x150x15mm

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

Tabla 46. Resultados de la resistencia al fuego.

RESULTADO DE LA RESISTENCIA AL FUEGO			
Probeta	Tiempo de resistencia hasta la falla en min	Apropiado para	Clase
PJ701	44	Vivienda unifamiliar ²	F30
PJ702	43	Vivienda unifamiliar ²	F30
PJ703	45	Vivienda unifamiliar ²	F30
PJ801	54	Vivienda unifamiliar ²	F30
PJ802	52	Vivienda unifamiliar ²	F30
PJ803	50	Vivienda unifamiliar ²	F30
PJ901	67	Residencial vivienda, Residencial público, Docente, Administrativo	F60
PJ902	65	Residencial vivienda, Residencial público, Docente, Administrativo	F60
PJ903	66	Residencial vivienda, Residencial público, Docente, Administrativo	F60

Fuente: (UNIVERSIDAD DE CHILE, 2005) y (AITIM, 2006)

Elaboración: La autora

Según la norma NCh 935/1 Of.97 y las normas españolas UNE hemos obtenido la resistencia al fuego de clase F30 y F60 las mismas que son aptas para vivienda unifamiliar, residencial vivienda, residencial público, docente y administrativo. De acuerdo con estos resultados a mayor porcentaje de resina tenga la probeta aumenta su resistencia al fuego, cabe indicar que las probetas no se desprendieron al quemarse ni arrojaron gotas de fuego y que mientras se quemaba se podía incluso tomarlas con la mano la parte que no estaba en llama, ya que no se calentó.

CAPÍTULO IV
DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de resultados de las pruebas mecánicas y físicas.

Para el estudio físico-mecánico analizaremos los ensayos que están relacionados entre sí y sus características que tengan influencias entre resultados.

Flexión – Densidad.

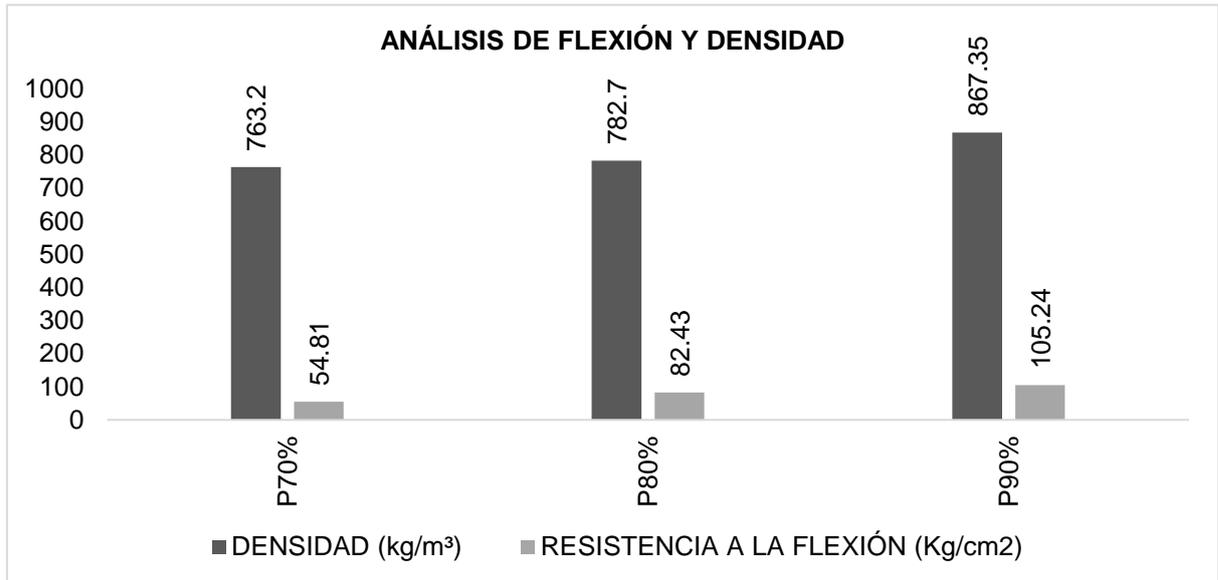


Figura 71. Análisis de flexión y densidad.

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

La flexión y la densidad de un material están relacionados entre sí porque entre más denso el material hay menor probabilidad de que falle la probeta por ser menos poroso, existen menos espacios libres. La densidad aumenta cuando se aplica mayor presión y porcentaje de resina.

En la *Figura 71* podemos observar los resultados de flexión y densidad de probetas, los ensayos se realizaron con tres porcentajes de resina: 70%, 80% y 90% con respecto a la fibra. Después de obtener los resultados podemos tener una idea general del papel que desempeña la resina dentro del composite tanto en la flexión como en la densidad.

El porcentaje de resina influye notablemente en la resistencia a la flexión de las probetas y mientras más se incrementa la resina mayor resistencia a la flexión, las probetas que del 70% de resina con respecto a la fibra tienen una resistencia promedio a la flexión de 54.81 kg/cm², las probetas del 80% de resina con respecto a la fibra nos da una resistencia promedio a la flexión de 82.43 kg/cm² y las probetas que contienen el 90% de resina con respecto a la fibra obtuvieron una resistencia promedio a la flexión de 105.24 kg/cm², entonces a mayor cantidad de resina mayor resistencia a la flexión. La determinación de la densidad de las probetas con

el 70% de resina respecto a la fibra nos da una densidad de 763.2kg/m³, con el 80% su densidad es de 782.7kg/m³ y con el 90% da una densidad de 867.35kg/m³ es decir a mayor porcentaje de resina mayor densidad.

Se puede determinar que según la norma UNE 56.711 especificación 2.2 que los valores mínimos admisibles para los tableros sometidos a flexión en espesores de 6 a 13mm en dirección perpendicular son de 100 kg/cm², y en espesores de 14 a 25mm en dirección paralela son de 80 kg/cm².

Como conclusión se determina que las probetas de porcentajes del 90% cumplen con la resistencia requerida y las probetas con porcentajes del 70 y 80% son útiles en otras aplicaciones que no vayan a someterse a cargas a flexión.

4.1.1. Impacto – Densidad.

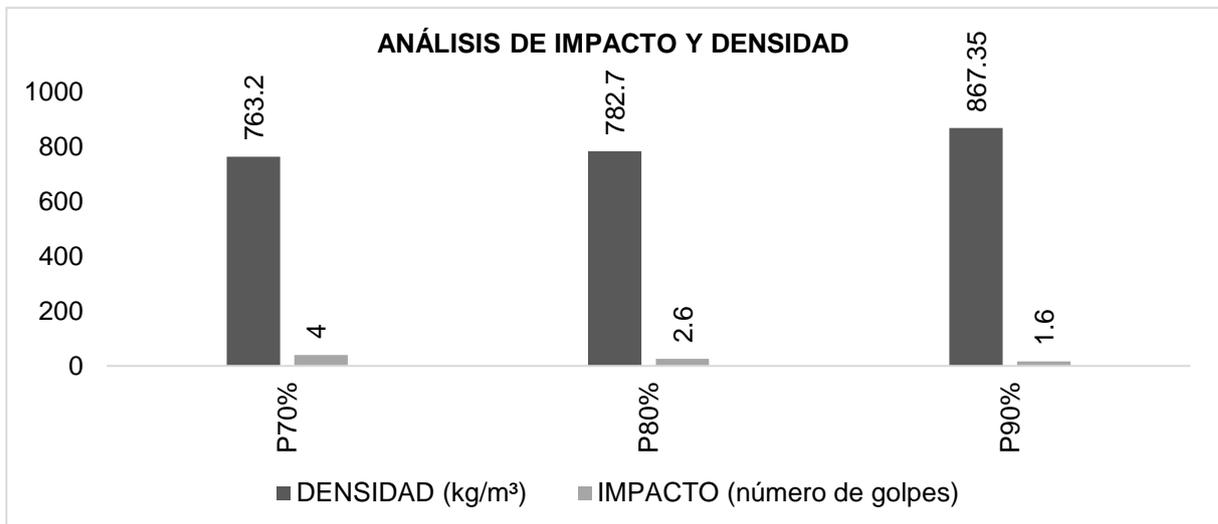


Figura 72. Análisis de impacto y densidad.

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

El impacto con la densidad están relacionados porque entre menos denso sea el material tiene mayor capacidad de amortiguamiento al golpe, tras el impacto las probetas empiezan a dar lugar al impactador (barra de acero) intercalando rebotes más allá del punto original del impacto, mientras que el rebote después de la colisión no alcanza el punto de impacto original. Entonces este hace que la fuerza de impacto revote en vez de quebrarlo, por ello las probetas con mayor porcentaje de fibra han soportado más golpes que las de menos fibra, esto debido a mayor cantidad de resina se agrega al material se vuelve más susceptibles. Una probeta de partículas de madera con mayor porcentaje de fibra mejora su capacidad de absorción de la energía del impacto y reduce al mínimo el daño en la probeta, algo relacionado sucede con la

reciente investigación (Walsh, Kim, & Suhr, 2017) de resistencia al impacto y absorción de energía del impacto en materiales tipo sándwich con corcho expandido.

El deterioro en las probetas con el 70% de resina es más resistente al impacto y soporta mayor número de golpes, en el primer impacto no se observó *“ningún deterioro apreciable a la vista en la superficie de la probeta o simplemente trazos circulares alrededor del impacto”* y finalmente la probeta falla ya sea *“sin desprendimiento de material o desprendimiento de material en forma de escamas”* (Castello, 2014). Las probetas del 80% de resina resisten menor cantidad de golpes. Las probetas de 90% de resina tienen mayor susceptibilidad por ello fallan con uno a dos golpes como máximo.

En consecuencia, la densidad del material está determinada por la cantidad de fibra que hay en el mismo y estos valores son directamente proporcionales a la resistencia al impacto de dicho material.

Densidad – Absorción – Hinchazón.

La densidad se la puede relacionar de manera directa con la absorción e hinchazón dado que entre más denso sea el material es menos poroso y tiene menos capacidad de absorción, menor hinchamiento (existen menos espacios libres para permitir el acceso del agua). Se ha determinado que un material entre más denso es menos absorbente y menos hinchable.

Según la normativa UNE 56.714 E-2.4 “los valores máximos de hinchazón después de la inmersión durante dos horas serán de 3% en tableros de 6 a 25 mm de grosor y estos tableros pertenecen al tipo de tablero PE/M. Se llega a la conclusión que los tableros de porcentajes de resina pertenecientes al 80 y 90% cumplen con los porcentajes admisibles y en el caso de los tableros que contienen el 70% de resina dos de ellos cumplen con el porcentaje permisible y uno de ellos sobrepasa el límite tal como podemos observar en la *Figura 60 capítulo 3*.

Humedad.

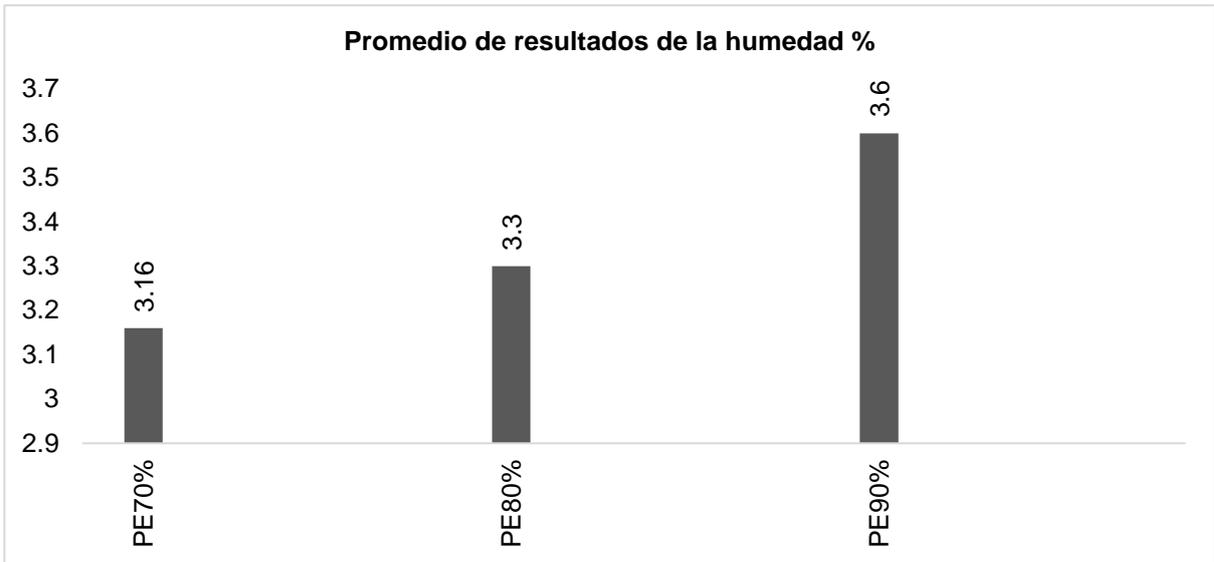


Figura 73. Humedad.

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

La figura 74 muestra que a mayor cantidad de resina aumenta la humedad, esto es debido a que las probetas del porcentaje del 70% se las hizo primero, luego las de 80% y por último las probetas del 90%, dado estas circunstancias se puede determinar que a mayor sea el tiempo de secado de las probetas menor humedad en las mismas.

Según la norma UNE-EN 322:1994 “*Tableros derivados de la madera. Determinación del contenido de humedad*”, la norma UNE 56.714 E-2 “*el contenido de humedad del tablero para ser entregado al usuario deberá ser $9\pm 2\%$ sobre el peso en seco*”. Por lo tanto, el contenido de humedad de los tableros con los porcentajes de resina del 70, 80 y 90% cumplen con los requerimientos establecidos.

Resistencia al fuego – Densidad – Transferencia de calor.

La relación entre resistencia al fuego y densidad están conectadas debido a que entre menos denso el material tendrá más porosidad o espacios donde pueda interferir el oxígeno ayudando así a aumentar el fuego lo que hará que el incendio se produzca en menor tiempo de los establecido, por esta razón entre más denso sea un material existen más posibilidades que el material resista más tiempo antes de producir el fallo.

Se relaciona la transferencia de calor con la densidad porque entre más denso el material como es este caso contiene mayor porcentaje de resina y va tener mayor conductividad térmica debido que la resina poliéster es un conductor más elevado comparando con la madera de pino, aquí tenemos la conductividad térmica de la madera de pino es de 0.104 W/(m.k) según (UNIVERSIDAD DE CHILE, 2005), mientras según (Ministerio de Fomento. Gobierno de España, 2010) la resina poliéster tiene una conductividad térmica de 0.19

W/(m.k). Por ello cuando el porcentaje de fibra es menor su conductividad térmica aumenta. De una manera similar ocurre en la investigación *“Propiedades térmicas, acústicas y mecánicas de placas de mortero caucho-cemento”* (Hernández et al., 2008).

Acústico – Densidad.

La densidad y la acústica se relacionan, entre menos densidad el material será un mejor absorbente acústico, por su aumento de porosidad que permite al ruido ser absorbido a manera de esponja u otros materiales absorbentes, entre mayor absorción se produce de una forma controlada que está relacionada al proceso de disipación de energía, es decir, la energía se convierte de energía sonora en calor. *“En cambio, en el caso de una superficie vibrante, una parte de la energía vibracional es radiada hacia el exterior. Aunque en realidad la energía no es disipada, el efecto es equivalente a una verdadera absorción, ya que dicha energía es sustraída de la energía sonora incidente”* (Upc, 1998).

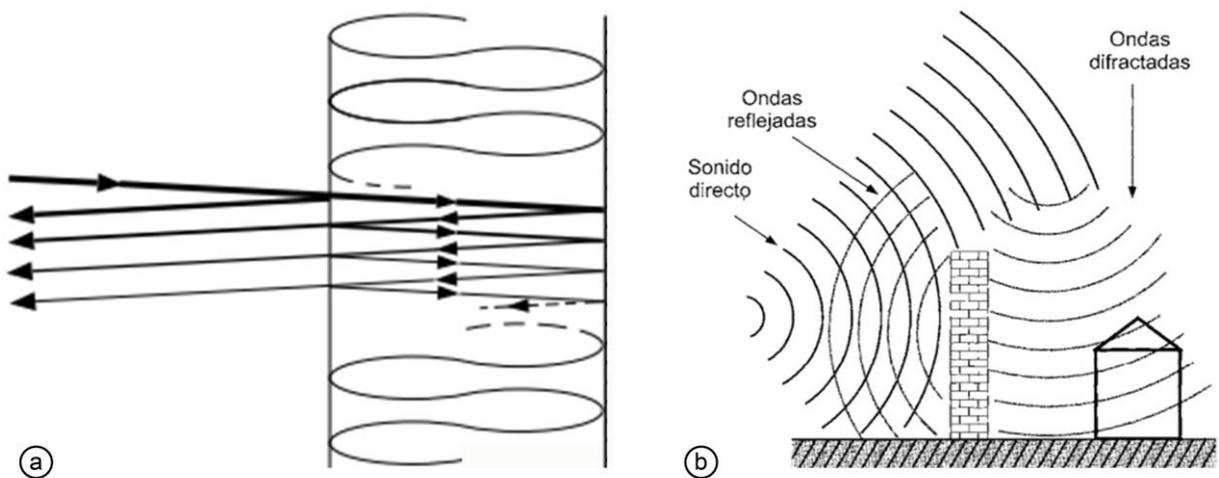


Figura 74. Acústica.

- a. Disipación de energía en el interior de un material poroso.
- b. Ejemplo de una barrera acústica colocada al frente de una vivienda.

Fuente: (Upc, 1998)

Elaboración: La autora

4.2. Análisis referencial

Un tablero de partículas está formado por aserrines de madera u otro material lignocelulósico unido entre sí mediante un adhesivo y presión a una temperatura adecuada (AITIM, 2012).

Prensado por extrusión.

Es aquel en que la presión se aplica paralelamente al plano de las caras durante la fabricación. En ellos las partículas se colocan de modo que su dimensión mayor sea perpendicular al plano de las caras. Estos tableros pueden ser macizos (PE/M) o huecos, de acuerdo con el molde empleado en su fabricación (AITIM, 2012).

Tabla 47. Comparación del material con MDF Masisa y Pelikan.

COMPARATIVA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS							
Composite de fibra de pino y resina poliéster				Masisa	Pelikan		
Pruebas mecánicas y pruebas físicas	Unidades	P70%	P80%	P90%	MDF 12mm	MDF	
Resistencia a la flexión	N/cm2	5.481	8.243	10.524	16±1.5	36	
Resistencia al impacto	Golpes	4	2.6	1.6	-	-	
Peso específico	Kg/cm3	72.72	76.07	75.01	-	-	
Hinchazón	%	2.82	2.04	2.06	16	8	
Absorción	%	49.49	34.12	33.36	-	-	
Humedad	%	3.16	3.3	3.6	8±3		No usarlo a la acción directa del agua.
Densidad	Kg/m3	763.2	783.7	867.35	660±20	600	
Absorción acústica	Ruido aéreo	dB	31.69	29.65	28.41	-	-
	Aislamiento acústico bruto	dB	31.36	29.33	28.30	-	-
		30 min		0.021			
	Índice de transferencia de calor Q'	60 min	KW	0.032			
		90 min		0.039			
Transferencia de calor		30 min		0.015	-		No colocar a T° > 50°
	Transferencia de calor Q	60 min	KW	0.032			
		90 min		0.058			
Resistencia al fuego	F	F30	F30	F30	-	-	

Fuente: (Pelikano, 2018), (Masisa, 2010) y la autora

Elaboración: La autora

Tabla 48. Aplicaciones del material de acuerdo con sus características y conforme a las normativas.

APLICACIONES DEL MATERIAL		
Uso	Normativa	Característica
Cielos rasos o cielos falsos.	Las especificaciones técnicas necesarias serán según indican las normativas UNE 56.709, 56.710, 56.711, 56.713, 56.714 : E-2.5 (características térmicas) y E-2.6 (características acústicas). Resistencia al fuego según las normas: UNE-23-103-73, UNE-23-721, UNE-23-802 correspondientes a las normas NTE INEN 804 y NCh935/1 Of.97	Tiempo de quemado lento protege a la estructura. No contiene asbesto.
Mobiliario interior y tambores de puertas.	Según la norma UNE 56.834 , los tableros de partículas deben cumplir con las especificaciones de las normativas UNE 56.709, 56.710, 56.711, 56.712, 56.713, 56.714 .	Cumple con las características físicas y mecánicas.
Objetos decorativos	No contiene especificaciones mínimas de normativas.	Fácil de moldear a la forma requerida
Paneles divisorios	Deben cumplir con las especificaciones de las normativas UNE 56.709, 56.710, 56.711, 56.712, 56.713, 56.714, UNE-23-103-73, UNE-23-721 y UNE-23-802 .	Buen absorbente acústico.
Pisos (Parquet)	Las especificaciones técnicas necesarias serán según indican las normativas UNE 56.709, 56.710, 56.711, 56.713, 56.714 : E-2.5 (características térmicas) y E-2.6 (características acústicas) y UNE-23-103-73, UNE-23-721, UNE-23-802 e ISO 10545-5 .	Buena resistencia al impacto y aumenta con un amortiguador (material elástico) bajo el material ya que aíslan el impacto transmitido hacia la losa estructural.

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

CONCLUSIONES

Se determina que es factible el uso de partículas de madera provenientes de los desechos de la industrialización por sus propiedades físico-mecánicas.

El tablero obtenido cumple con las características físico-mecánicas según establecen las normativas españolas UNE.

La densidad del composite es un factor determinante para las propiedades físico-mecánicas de un tablero de partículas, entre más denso es el tablero tienen mejores resultados en: resistencia a la flexión, hinchazón, absorción, humedad y fuego, entre menos densos existen mejores resultados en: resistencia al impacto, transferencia de calor, aislamiento acústico bruto y ruido aéreo.

Los tableros con 90% de porcentaje de resina dan mejores resultados a la densidad (867.35 kg/m³) la misma que favorece a la flexión, absorción e hinchazón (a las 2 horas según establece la norma UNE 56.713) y resistencia al fuego de 66 minutos. Pero en el caso de la resistencia al impacto, acústica y transferencia de calor, mejores resultados se obtuvieron con menor densidad (763.2 kg/m³) y un porcentaje de resina del 70%.

Por último, según las características del composite, es preferible su uso en aplicaciones arquitectónicas de interiores como cielos falsos, mobiliario, objetos decorativos, recubrimientos internos, paneles divisorios y pisos que lleven amortiguador interno para ambientes secos.

RECOMENDACIONES

La incorporación de partículas de madera de rangos de malla equivalente 10-120, es recomendable debido a que entre menor sea el tamaño de la fibra (aserrín) en los compuestos de matriz polimérica se logra que el material adquiera mayor densidad, entre más pequeña sea la partícula existe menos porosidad después de la compactación.

Es importante tratar la fibra, si este proceso no se desarrolla disminuye la adherencia, es propensa al ataque de microorganismos y las propiedades mecánicas como a flexión son muy inferiores a las de las probetas tratadas.

Para evitar el desperdicio del material basarse en los porcentajes de fibra, resina y aditivos que ya se han realizado en ensayos similares.

El tiempo de curado de una probeta debe ser como tiempo mínimo de 6 horas y el tiempo de secado de las probetas debe ser mínimo de 21 días porque en ese tiempo adquieren mejores características físico-mecánicas.

Hay que tomar en cuenta que, si la fibra no está seca completamente, al realizar la probeta no tiene buena adherencia, no tiene buenas características físico-mecánicas y provoca que las probetas se hinchen.

BIBLIOGRAFÍA

- AITIM. (2006). El fuego en el CTE, (4), 20–23.
- AITIM. (2012). Normas Españolas para Tableros de Partículas.
- AKÍ. (2018). Tablero de madera de Pino 18 mm canto recto con nudo. Retrieved from <http://www.aki.es/productos/tablero-de-madera-de-pino-18-mm-canto-recto-con-nudo/idp15269>
- Alves, D., Manoel, J., Júnior, R., Jeferson, T., Melo, A. De, Kennedy, J., & Rodrigues, G. (2016). Rheological studies of asphalt modified with elastomeric polymer. *Construction and Building Materials*, 106, 290–295. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.142>
- Amigó, V., Salvador, M. D., & Sahuquillo, O. (2008). Aprovechamiento de residuos de fibras naturales como elementos de refuerzo de materiales poliméricos. *Quinto Congreso Internacional De Fibras Naturales*, (April 2017).
- Ana Maria Gonzalez. (2012). Morfología de Plantas Vasculares. Retrieved from http://www.biologia.edu.ar/botanica/animaciones/ciclos/pino/paginas/pino/ciclo_pino.htm
- Arnoldo E. Delgado, William Aperador, O. P. (2014). Tratamiento superficial de la fibra, 95–100.
- Atlas Bioenergético del Ecuador*. (2014) (PRIMERA ED). Quito, Ecuador: ESIN CONSULTORA S.A.
- Besednjak, A. (2005). Materiales compuestos. Procesos de fabricacion de embarcaciones.pdf.
- Castello, D. de. (2014). RESISTENCIA AL IMPACTO, 1–7.
- Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa* (Tercera Ed).
- Contreras, M. F., Hormaza, W. a, & Marañón, a. (2009). Fractografía De La Fibra Natural Extraída Del Fique Y De Un Material Compuesto Reforzado Con Tejido De Fibra. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 1(1), 57–67.
- Cuéllar, A., & Muñoz, I. (2010). Fibra De Guadua Como Refuerzo De Matrices Poliméricas. *Dyna*, 162, 137–142. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v77n162/a15v77n162.pdf>
- Dhote, P. (2018). Biology Discussion. Retrieved from <http://www.biologydiscussion.com/gymnosperm/coniferales-characters-classification->

and-economic-importance/22400

Dimitriou, A., Hale, M. D., & Spear, M. J. (2016). The effect of four methods of surface activation for improved adhesion of wood polymer composites (WPCs). *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 68, 188–194. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.03.003>

ECUADOR FORESTAL. (n.d.). Generalidades De Pino.Pdf.

Estellés, R. (2007). Acustica Fisica.

Esther, P., Godoy, Á., Díaz, S., Alessandrini, M., Forestales, R., Cuatro, P., & Productos, C. D. E. (2005). No Title.

Gil, A. (2012). Resinas de poliéster Guía de manejo, 14.

Gobierno de España. (1979). Real Decreto 2429/1979 por el que se aprueba la norma básica de la edificación NBE-CT-79 sobre condiciones térmicas en los edificios, 24524–24550. Retrieved from <http://www.boe.es/boe/dias/1979/10/22/pdfs/A24524-24550.pdf>

Gutierrez, J. (2013). 13-02-08_ICH_GEN_Informe-de-Ensayo-de-Resistencia-al-fuego-818-909.pdf.

Hernández, F., Bustamante, R., Mayor, P., & Rangel, C. (2008). Propiedades térmicas , acústicas y mecánicas de placas de mortero caucho-cemento ., (1), 10.

Hossain, M. F., Islam, M. K., & Islam, M. A. (2014). Effect of Chemical Treatment on the Mechanical and Physical Properties of Wood Saw Dust Particles Reinforced Polymer Matrix Composites. *Procedia Engineering*, 90, 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.811>

INFOMADERAS. (2014). Retrieved February 12, 2018, from <http://infomaderas.com/2013/04/19/reciclaje-y-residuos-de-madera/>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 804 : 2013 Primera revisión PREVENCIÓN DE INCENDIOS . DETERMINACIÓN DE LA.

Juan, L., Kirschenbaum, M., & Crowe, C. (2011). Materiales y materias primas.

Khan, J. A., & Khan, M. A. (2014). *The use of jute fibers as reinforcements in composites. Biofiber Reinforcements in Composite Materials.* <https://doi.org/10.1533/9781782421276.1.3>

- Macías Almazán, A. (2014). *Instituto politecnico nacional cicata-ipn, unidad altamira*.
- Masisa. (2010). Ficha de producto, 2009.
- MATTIEU, J. (2013). Asegurar la Resistencia al fuego de las estructuras metálicas. ... *Para La Promoción Técnica Del Acero* Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Asegurar+la+resistencia+al+fuego+de+las+estructuras+metálicas#0>
- Mazzanti, V., & Mollica, F. (2015). In-line rheometry of polypropylene based Wood Polymer Composites. *Polymer Testing*, 47, 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.polymeresting.2015.08.003>
- Michalska-Pozoga, I., Tomkowski, R., Rydzkowski, T., & Thakur, V. K. (2016). Towards the usage of image analysis technique to measure particles size and composition in wood-polymer composites. *Industrial Crops and Products*, 92, 149–156. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.005>
- Ministerio de Fomento. Gobierno de España. (2010). Catálogo de elementos constructivos del CTE, 3, 141. Retrieved from http://www.codigotecnico.org/web/recursos/aplicaciones/contenido/texto_0012.html
- Murphy, P. J. (2002). *I p+I I*, 38(6), 285–286.
- NCh853. (2007). Componentes y elementos para la edificación - Resistencia térmica y transmitancia térmica - Método de cálculo, 40. Retrieved from www.inn.cl
- Okabe, T., Sasayama, T., & Koyanagi, J. (2014). Composites : Part A Micromechanical simulation of tensile failure of discontinuous fiber-reinforced polymer matrix composites using Spring Element Model. *Composites Part A*, 56, 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2013.09.012>
- Olivares Santiago, M., Galán Marín, C., & Roa Fernández, J. (2003). Los composites: características y aplicaciones en la edificación. *Informes de La Construcción*, 54(Tabla 1), 45–62.
- Ospina, C., Hernández, R., Restrepo, E., Sánchez, F., Urrego, J., Rondas, C., ... Riaño, N. (2011). *El Pino pátula- Guías silviculturales*.
- Pelikano. (2018). Pelikano. Retrieved May 10, 2018, from <http://www.codesa.com.ec/novopan/productos-mdfpelikano.html>

- Poblete, H., Loncomilla, E., & Inzunza, L. (2000). Densidad del tablero de partículas y estabilidad dimensional. *Bosque*, 21(2), 69–83.
- Rodrigues, J., Souza, J. A., & Fujiyama, R. (2015). Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais da Amazônia fabricados por infusão. *Revista Materia*, 20(4), 946–960. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620150004.0099>
- Ruiz Cueva, U. R. (2016). *Desarrollo y caracterización de un tablero de partículas elaborado a partir de la cascarilla de arroz y resina poliéster*. UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA.
- Scaffaro, R., & Botta, L. (2014). *Nanofilled Thermoplastic À Thermoplastic Polymer Blends. Nanostructured Polymer Blends*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-3159-6.00005-5>
- Tapia, C., Paredes, C., Simbaña, A., & Bermúdez, J. (2006). Aplicación de las Fibras Naturales en el Desarrollo de Materiales Compuestos y como Biomasa. *Revista Tecnológica ESPOL*, 19(1), 113–120. Retrieved from <http://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/210>
- UNIVERSIDAD DE CHILE. (2005). INFORME DE ENSAYE N° 332.451, 0–3.
- Upc, E. (1998). Materiales y elementos utilizados en el acondicionamiento acústico de recintos.
- V., Amigó, M. D., F. S., O., S., R., L., & Martí. (2008). Valorización de residuos de fibras vegetales como refuerzo de plásticos industriales. *Valorización de Residuos de Fibras Vegetales Como Refuerzo de Plásticos Industriales*, 23–24. Retrieved from <http://www.redisa.uji.es/artSim2008/tratamiento/A2.pdf>
- Walsh, J., Kim, H., & Suhr, J. (2017). Composites : Part A Low velocity impact resistance and energy absorption of environmentally friendly expanded cork core-carbon fiber sandwich composites. *Composites Part A*, 101, 290–296. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2017.05.026>
- Wang, R.-M., Zheng, S.-R., & Zheng, Y.-P. (2011). *Polymer matrix composites and technology*. <https://doi.org/10.1533/9780857092229.1>