



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura
Maestría en arquitectura. Tecnología

Corteza de pino;

Transformación de residuo de la industria maderera a nuevo material para la
arquitectura

Tesis para optar por el grado de Maestra en Arquitectura, presenta:

Nubia Luna Rueda

Director de Tesis:

M.D.I Ángel Mauricio Grosó Sandoval
Posgrado en Diseño Industrial UNAM

Sinodales:

Mtro. en Arq. Ernesto Ocampo Ruíz
Posgrado en Arquitectura UNAM

Mtro. en Arq. Jorge Rangel Dávalos
Posgrado en Arquitectura UNAM

Mtro. en Arq. Arturo Valeriano Flores
Posgrado en Arquitectura UNAM

Dr. en Ing. Alejandro Solano Vega
Posgrado en Arquitectura UNAM

Ciudad Universitaria, CD. MX., Octubre 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura
Maestría en arquitectura. Tecnología

Corteza de pino;
Transformación de residuo de la industria maderera a nuevo material para la
arquitectura

Tesis para optar por el grado de Maestra en Arquitectura, presenta:
Nubia Luna Rueda



Director de Tesis: M.D.I Ángel Mauricio Groso Sandoval
Posgrado en Diseño Industrial UNAM

Mtro. en Arq. Ernesto Ocampo Ruíz
Posgrado en Arquitectura UNAM

Mtro. en Arq. Jorge Rangel Dávalos
Posgrado en Arquitectura UNAM

Mtro. en Arq. Arturo Valeriano Flores
Posgrado en Arquitectura UNAM

Dr. en Ing. Alejandro Solano Vega
Posgrado en Arquitectura UNAM



Imagen. 02. Imagen de microscopía.

Agradecimientos

A mi familia, por ser parte de mi formación.

Al Mtro. Ángel Groso; mi director de tesis, por aceptar mi tema y aumentar mi conocimiento y gusto por los productos maderables.

Al sínodo; por animarme y guiarme en la elaboración de esta.

A la UNAM por brindarme un apoyo PAEP para realizar una estancia de investigación en la Universidad del Bío-Bío en Chile, donde agradezco la asesoría brindada por mi tutor el Dr. Aldo Ballerini.

Y finalmente a CONACYT por el apoyo otorgado para el desarrollo de este tema de investigación.



Imagen. 03 Material fabricado de corteza. Fotografía propia, 2015.

ÍNDICE

RESUMEN.....	13
INTRODUCCIÓN.....	14
CAPÍTULO 1	
Madera; su uso en la construcción	21
CAPÍTULO 2	
Aprovechamiento residual en la industria maderera para formar materiales compuestos	39
CAPÍTULO 3	
“Caso de estudio; Elaboración de un Material Compuesto Corteza de Pino- Plástico reciclado.....	53
CAPÍTULO 4	
Sierra Norte de Oaxaca; región de México con potencial para industrializar el material corteza/plástico y beneficiar la envolvente arquitectónica.....	73
CONCLUSIONES	105
BIBLIOGRAFÍA	110
REFERENCIAS.....	111
GLOSARIO	118
ANEXOS	121

CONTENIDO

ÍNDICE.....	7
RESUMEN.....	13
INTRODUCCIÓN.....	14

CAPÍTULO 1

Madera; su uso en la construcción	21
1.1 LA MADERA.....	23
1.1.1 ¿Por qué madera?.....	23
1.1.2 Vivienda de madera México.	25
1.2 CONOCIMIENTO BÁSICO SOBRE LA MADERA.....	26
1.2.2 Madera; material para la construcción	27
1.2.3 Propiedades de la madera.....	28
1.2.4 Deterioro de la Madera.	32
1.2.5 Protección de la madera.....	34
1.3 DEFORESTACIÓN EN MÉXICO.....	35
1.4 CICLO DE VIDA DE LA MADERA.....	35

CAPÍTULO 2

Aprovechamiento residual en la industria maderera para formar materiales compuestos	39
2.1 RESIDUOS	41
2.2 CORTEZA; BIOMASA RESIDUAL	42
2.2.1 Aprovechamiento de la corteza en aserraderos.....	43
2.2.2 Corteza para la construcción de hábitats.....	44
2.2.3 Materiales de corteza.....	45
2.3 MATERIAL COMPUESTO	46
2.3.1 Proceso de fabricación de materiales termoplásticos y fibras lignocelulósicas	46
2.3.2 Productos de Polietileno HDPE	47
2.4 MATERIAL COMPUESTO MADERA - PLÁSTICO	48
2.4.1 Uso de materiales compuestos madera/plástico en arquitectura.....	49
2.5 MATERIAL COMPUESTO CORTEZA/PLÁSTICO	50
2.6 RECICLAJE DE POLIETILENO (PEAD).....	51

CAPÍTULO 3

“Caso de estudio; Elaboración de un Material Compuesto

Corteza de Pino- Plástico reciclado.....	53
3.1 MÉTODO DE EXPERIMENTACIÓN.	56
3.1.1 Materiales	56
3.1.2 Preparación de materia prima	58
3.1.3 Preparación de compuestos	60
3.2 ENSAYOS Y RESULTADOS	63
3.2.1 Ensayo de Conductividad térmica.	63
3.2.2 Prueba de hinchazón	66
3.2.3 Prueba de absorción.....	67
3.2.4 Costo	68
3.2.5 Análisis del cambio de color y resistencia a humedad por efecto de envejecimiento acelerado mediante rayos UV.	69

CAPÍTULO 4

Sierra Norte de Oaxaca; región de México con potencial para industrializar el material

corteza/plástico y beneficiar la envolvente arquitectónica.....	73
4.1 REGIÓN SIERRA NORTE DE OAXACA	75
4.1.1 Uso de madera en viviendas de Oaxaca.....	75
4.1.2 Corteza de pino; residuo y material sin valor en la Región Sierra Norte	80
4.2 MATERIAL CORTEZA-PLÁSTICO COMO REVESTIMIENTO EN PANELES DE MADERA.....	81
4.2.1 Panel de madera.....	82
4.2.2 Materiales regionales.....	88
4.2.3 Propuesta de panel	91
4.3 EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO TÉRMICO DEL PANEL	96
4.4 CRITERIOS BÁSICOS PARA INDUSTRIALIZAR EL COMPUESTO CORTEZA/PLÁSTICO EN LA REGIÓN.....	100
CONCLUSIONES	105
BIBLIOGRAFÍA	110
REFERENCIAS	111
GLOSARIO	118
ANEXOS	121

Contenido de Imágenes

Imagen. 02. Imagen de microscopia.	5
Imagen. 03 Material fabricado de corteza. Fotografía propia, 2015.	6
Imagen. 04. Fotografía. Plaza “Memorial 5 de Mayo”. Fotografía propia, 2015.	20
Imagen. 05. Falta de aprovechamiento de madera. Fotografía propia, 2014.	23
Imagen. 06. Condiciones de vivienda de Madera en México. Fotografía propia, 2014.	23
Imagen. 07. Emisiones de dióxido de carbono producidas en Estados Unidos. Fuente: Conferencia (TED 2014).	24
Imagen. 08. Logo de los sellos de certificación. La madera certificada tiene marcada estos sellos. FSC y PEFC	27
Imagen. 09. Fuente. Manual de construcción de estructuras ligeras de madera. Elaboración propia, 2015.	30
Imagen. 10. Manual de construcción de estructuras ligeras de madera. Elaboración propia, 2015.	30
Imagen. 11 Consideraciones tecnológicas en la protección de la madera. Elaboración propia, 2015.	31
Imagen. 12. Conductividad térmica. Fuente: Kuber H. Elaboración propia, 2015.	32
Imagen. 13. Conductividad térmica. Elaboración propia 2015. NORMA Oficial Mexicana NOM-020-ENER2011-	32
Imagen. 14. Palafitos. Isla de Chiloé, Chile. Fotografía propia, 2015.	33
Imagen. 15. Autoclave. Aserradero La Asunción Oaxaca. S. A de CV. Fotografía propia, 2015.	34
Imagen. 16. Ciclo de vida de la madera. Elaboración propia, 2015	36
Imagen. 17. Proceso de transformación de la madera. Generación de corteza. Elaboración propia, 2015	37
Imagen. 18. Residuo de Corteza en Aserradero. Fotografía, Fotografía propia, 2015.	38
Imagen. 19. Residuos en México. Fuente: Sedesol., México, 2012. Elaboración propia, 2015.	41
Imagen. 20. Basura. 06 de http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/la-basura-que-flota-en-nuestros-ocanos	42
Imagen. 21. Corteza de Pino Patula. Fotografía propia, 2015.	43
Imagen. 22. Residuos de corteza y madera costera. Región Sierra Norte de Oaxaca. Fotografía propia, 2015.	44
Imagen. 22 . Vivienda vernácula con cubierta de corteza. Canadian Museum of History. Fotografía propia, 2015.	44
Imagen. 23. Materiales compuestos. Universidad del Bio-Bio, Chile. Fotografía propia, 2015.	46
Imagen. 24. Símbolo para identificar los productos de PEAD. Elaboración propia, 2015.	48
Imagen. 25. Muestra de compuesto de madera y plástico. Fotografía propia, 2015.	48
Imagen. 26. Fabricantes de materiales arquitectónicos compuestos de madera/plástico. Elaboración propia, 2015	49
Imagen. 27. Material compuesto corteza/plástico. Fotografía propia, 2015.	52
Imagen. 28. Microscopia realizada a la corteza de Pino Radiata.	57
Imagen. 29. Microscopia realizada a la corteza externa de Pino Radiata.	58
Imagen. 30. Equipo empleado. Fotografías propias, 2015.	59
Imagen. 31. Preparación de materia prima. Fotografías propias, 2015.	61
Imagen. 31. Proceso de extrusión. Fotografías, propias, 2015.	62
Imagen. 33. Probetas listas para análisis. Fotografía propia, 2015.	63
Imagen. 34. Conductímetro. Fotografía propia, 2015.	63
Imagen. 35. Corte de probetas por medio de una sierra escuadradora. Fotografía propia, 2015.	66
Imagen. 36. Inmersión de probetas, según norma UNE-EN_317. Fotografía propia, 2015.	66
Imagen. 37. Probetas utilizadas para inmersión. Fotografía propia, 2015.	66
Imagen. 38. Porcentaje de humedad. Elaboración propia, 2015.	70
Imagen. 39. Resultados de húmedad y decoloración después de la prueba. Elaboración propia, 2015.	70
Imagen. 40. Utilización del material corteza/plástico como revestimiento. Fotografía propia, 2015.	72
Imagen. 41. Vivienda de madera en la Sierra Norte de Oaxaca. Fotografía propia, 2014.	76
Imagen. 43. Viviendas de madera en la Sierra Norte de Oaxaca. Fotografía propia, 2014.	76
Imagen. 42. Paisaje natural de la Región Sierra Norte de Oaxaca. Fotografía propia, 2014.	76
Imagen. 44. Autoconstrucción de viviendas de madera en la Región Región Sierra Norte. Fotografía propia, 2014.	77
Imagen. 45. Resultado de autoconstrucción de madera en la Región Sierra Norte. Fotografía propia, 2014.	77
Imagen. 46. Producción anual de corteza de pino, fuente de (Sopp-Kolozs 2000). Elaboración propia, 2015.	80
Imagen. 47. Soluciones para resistir las acciones horizontales como empujes de viento y movimientos sísmicos Fuente: National Design Specification for Wood Construction. National Forest Products Association. Elaboración propia, 2015	82
Imagen. 48. Dimensionamiento (Norma Oficial Mexicana NOM-C1985-239-). Elaboración propia, 2015	84


Imagen. 49. Panel de Madera. Fuente: proyecto Chileno Fondef D03i1020. Elaboración propia, 2015	87
Imagen. 50. Revestimiento vinílico en panel de madera. Fuente: Manual CORMA. Elaboración propia, 2015	88
Imagen. 51. Madera Costera en aserradero región Sierra Norte de Oaxaca. Fotografía propia, 2014.	89
Imagen. 52. Materiales propuestos para el panel de madera. Fotografía propia, 2014.	91
Imagen. 53. PropuestaRevestimiento exterior compuesto por corteza de pino y plástico. Fotografía propia, 2014.	92
Imagen. 54. Detalles de dimensionamiento y uniones del panel. Fotografía propia, 2014.	93
Imagen. 55. Especificaciones de colocación de contrachapado en panel. Fotografía propia, 2014.	94
Imagen. 56. Dimensionamiento del revestimiento. Elaboración propia, 2015.	95
Imagen. 57. Muestras obtenidas del capítulo 3. Fotografía propia, 2015.	95
Imagen. 58. Corte y lijado. Fotografía propia, 2015.	96
Imagen. 59 .Dimensionamiento. Fotografía propia, 2015.	96
Imagen. 60. Moldura. Fotografía propia, 2015.	96
Imagen. 61 . Revestimiento. Fotografía propia, 2015.	96
Imagen. 62. Componentes del panel y ubicación de termopares . Fotografía propia, 2015.	97
Imagen. 63. Muestra del panel en el módulo de experimentación térmica. Fotografía propia, 2015.	98
Imagen. 62. Esquema de producción propuesto. Elaboración propia, 2015.	101
Imagen. 63. Esquema de zonas. Elaboración propia, 2015.	102
Imagen. 64. Esquema de zonas. Elaboración propia, 2015.	103
Esquema de zonas para la producción del material corteza-plástico.	103
Imagen.65. Material corteza. Fotografía propia, 2015.	104
Imagen.66. Material corteza.	140

Contenido de Tablas

Tabla. 01. Densidad y pH de la corteza. Fuente: Poblete, H & Sánchez, J. Tableros con corteza de Pinus radiata.	57
Tabla. 02. Composición del PEAD utilizado.	57
Tabla. 03. Cantidad de partículas de corteza obtenida.Elaboración propia, 2015.	60
Tabla. 04. Cantidades de material para fabricar compuesto por proceso de extrusión. Elaboración propia, 2015.	60
Tabla. 05. Tiempos y cantidades para el proceso de prensado. Elaboración propia, 2015.	62
Tabla. 06. Resultados de ensayo de conductividad térmica. Elaboración propia, 2015.	63
Tabla 07. Conductividad térmica y densidad. Fuente Norma NOM-020-ENER2011- y especificación de materiales.	65
Tabla. 09. Resultado de ensayo de absorción. Elaboración propia, 2015.	67
Tabla. 08. Resultados de ensayo de hinchazón. Elaboración propia, 2015.	67
Tabla. 10. Desglose de costos de fabricación de muestras. Elaboración propia, 2015.	68
Tabla. 11. Fuente. National Design Specification for Wood Construction. Elaboración propia, 2015	83
Tabla. 12. Dimensionamiento. Fuente: Aserraderos en Oaxaca. Fotografía propia, 2014.	90

Contenido de Gráficas

Gráfica. 01. Comparación de conductividad térmica. Fuente: Pásztor. Z & Ronyecz. (2013). The Thermal Insulation Capacity of Tree Bark. University of West Hungary, Hungary.	45
Gráfica. 02 .Comparativa de conductividad térmica de materiales. Elaboración propia, datos retomados de NORMA Oficial Mexicana NOM-020-ENER2011- y fichas técnicas. Elaboración propia, 2015.	64
Gráfica. 03. Comparación de ensayos de absorción e hinchazón. Elaboración propia, 2015.	68
Gráfica.04. Porcentaje de humedad despues de ensayo. Elaboración propia, 2015.	71
Gráfica. 05. Resultado de las mediciones obtenidas de temperatura promedio por día. Elaboración propia, 2015	78
Gráfica. 06. Resultado de las mediciones obtenidas de temperatura promedio por horas en ° Centígrados. Elaboración propia, 2015	79
Gráfica. 07. Resultados de la simulación térmica. Elaboración propia, 2015.	99



«El factor más importante en la arquitectura son los materiales. Combinando los materiales con la tecnología contemporánea, podemos abrir nuevas posibilidades».

(Kengo Kuma).

RESUMEN

Ante el avance tecnológico y los problemas ambientales, se ha recurrido a plantear el uso de materiales de menor impacto ambiental, es por ello que:

El objetivo general en esta investigación fue aprovechar la madera que se considera residuo en la industria aserradera, recuperarla, transformarla y usarla para beneficiar envolventes arquitectónicas en las regiones forestales. Se cuestionó el uso de la madera y su ciclo de vida en México, también la necesidad de contribuir como arquitectos en el aprovechamiento de productos madereros y mejorar la calidad de vida.

Se propuso un material compuesto, y se usó el método de experimentación para su fabricación. Se realizaron pruebas de conductividad térmica, hinchazón y decoloración por envejecimiento acelerado.

Los resultados dieron origen a proponer la fabricación del material en la región forestal Sierra Norte del estado de Oaxaca por la disponibilidad de la materia prima e industria maderera. Se realizó una simulación térmica del material integrado a un panel de madera y se logró constatar que el material contribuye a mejorar el estado de confort térmico en el interior de una envolvente.

Finalmente el material propuesto para futuras investigaciones puede llegar a ser producido como un material para uso en exterior; como revestimiento, deck, mobiliario o marcos para puertas y ventanas. Este material puede ser fabricado y usado en las regiones forestales de nuestro país; generando bienestar térmico y ambiental.

INTRODUCCIÓN

Actualmente existe la problemática mundial de la contaminación del medio ambiente y la falta de calidad de vida en países en desarrollo como México.

(Sascha Peters, 2014) menciona que científicos han predicho que si mantenemos nuestra cultura de producción y nuestros niveles actuales de consumo, tan pronto como en el 2030 podríamos necesitar el equivalente a dos planetas tierra para cubrir nuestras necesidades. Como resultado, está creciendo la importancia de reciclar los recursos¹.

Sin embargo, todavía existe la desvalorización de los recursos con los que contamos, no los reutilizamos para generar materiales con menor impacto ambiental que ayuden a mejorar la percepción de confort en el hábitat de nuestra sociedad. En nuestros días tenemos que buscar herramientas como las sinergias sociales con el medio ambiente, como menciona (Montaner J, 2014)², esta búsqueda puede ser muy difusa, pues al tener que ver con el cuerpo humano y la percepción, con el enriquecimiento de la vida natural y animal y una simbiosis con el medio ambiente, puede tener sentidos diversos.

Podemos decir que una opción, es la búsqueda de tecnología fabricada con el reciclaje de recursos,

1 Traducido del libro Material de revolución II.

2 Montaner, J. (2014). Del diagrama a las experiencias, hacia una arquitectura de la acción. Barcelona: Gustavo Gili. SL

la cual genere espacios de confort que mejoren la calidad de vida de las personas. Este tema de investigación buscó la relación entre un nuevo material y su aplicación en una región con déficit de calidad de vida.

La calidad de vida tiene que ver con muchos factores. En el área de la salud, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1948) la define como “Un estado de completo bienestar físico, psíquico y social y no meramente la ausencia de enfermedad». Este bienestar en parte se ve influenciado por la calidad de las viviendas.

La vivienda es el espacio básico para el desarrollo y hábitat del ser humano. La Constitución de los Estados Unidos Mexicanos cita en el ART. 4. “Toda familia tiene derecho a disfrutar de vivienda digna y decorosa. La Ley establecerá los instrumentos y apoyos necesarios a fin de alcanzar tal objetivo.” Así mismo declara “Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar”³. Sin embargo este derecho no se ve reflejado en un número considerado en nuestra sociedad.

En nuestro país, existen 24,3 millones de viviendas urbanas, mientras que la vivienda rural en México, es de 6.7 millones (SEDATU, 2014). En cuanto a la vivienda rural del estado de Oaxaca, el censo de Población Rural por entidad Federativa 2010⁴, marca a Oaxaca como uno de

3 Constitución de los Estados Unidos Mexicanos. Art. 4. Párrafo adicionado DOF 1983-02-07

4 INEGI, (2010). Censo General de Población y Vivienda.

los estados con mayor proporción de población rural en el país. Por otra parte, el Índice de Rezago Social (IRS), es una medición generada por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval), para los tres niveles de agregación geográfica de México: estatal, municipal y local. Este índice incorpora seis dimensiones:

- 1) Rezago educativo
- 2) Acceso a los servicios de salud
- 3) Acceso a la seguridad social
- 4) Calidad y espacios de vivienda
- 5) Acceso a los servicios básicos en la vivienda
- 6) Activos en el hogar⁵.

Los Planes Regionales de Desarrollo de Oaxaca (2016-2011)⁶, mencionan que la región Sierra Norte de Oaxaca, presenta las seis dimensiones así como un alto grado de marginación, la marginación es un fenómeno estructural que se manifiesta en la dificultad para propagar el progreso técnico en las diferentes regiones, asimismo por la exclusión de grupos sociales del proceso de desarrollo y sus beneficios. La (CONAPO, 2010)⁷ menciona que la marginación está asociada a cuatro dimensiones fundamentales:

5 Coneval (2007). *Los mapas de pobreza en México*.

6 Gobierno del Estado de Oaxaca. (2011). *Planes Regionales de Desarrollo de Oaxaca 2011) .2016-2011*. Región Sierra Norte.

7 CONAPO. (2010). *Índice de Marginación por Entidad Federativa y Municipio*.

- 1) El acceso a servicios básicos
- 2) Las condiciones de la vivienda
- 3) Los ingresos laborales
- 4) la educación

Lamentablemente esta región en Oaxaca presenta las cuatro dimensiones, por lo tanto, el mejoramiento de vivienda en la zona es prioritario, así como el desarrollo regional, el cual genere mayores empleos e ingresos para los habitantes. Afortunadamente, esta región cuenta con recursos necesarios para incrementar su calidad de vida; la industria forestal es una de sus principales actividades económicas.

La estrategia Nacional de manejo forestal sustentable 2018-2013, menciona que la industria forestal de Oaxaca está integrada por 410 centros de transformación de materias primas forestales, destacando 314 aserraderos, una de las regiones forestales más importantes es la Sierra Norte⁸. Esta región según datos de (SEMARNAT, 2015) tiene un potencial anual de 451,060 m³ de rollo⁹, sin embargo por falta de tecnología adecuada se produce 85,0 70 m³ de madera en rollo.

Ante la disponibilidad en la región de la Sierra Norte de Oaxaca de obtener madera, se propone el aprovechamiento de biomasa residual de corteza de pino, producida en aserraderos

8 Estrategia Nacional de manejo forestal sustentable para el incremento de la producción y productividad 2018-2013 (2014)

9 SEMARNAT. (2015). *Estudio de cuenca de abasto para el desarrollo industrial forestal maderable de la región Sierra Juárez, Oaxaca*.

por el primer corte del aserrío de la troza, para ser empleada como material en la arquitectura.

Por otra parte, (Rosete, *Et al.*, 2014) informa que en México, “La velocidad en la pérdida de la vegetación forestal en bosques y selvas ha disminuido desde el año 2000”¹⁰. Sin embargo actualmente todavía existe la necesidad de mejorar la industria forestal, lo cual es mostrado en nuevos indicadores y evidencias.

El Consejo Civil Mexicano para la silvicultura sostenible (CCMSS, 2014), menciona: “Políticas equivocadas de desarrollo rural y una sobrerregulación que impide el aprovechamiento sustentable de los recursos forestales han llevado al sector forestal a una crisis sin precedentes. La política forestal ha desaprovechado el crecimiento de un mercado interno de consumo de madera y otros productos forestales que podría dinamizar la economía rural de México y contribuir a la conservación activa de los bosques y selvas”¹¹.

Así mismo, la Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento de la Producción y Productividad 2013-2018 menciona que “En los últimos 14 años, la actividad productiva del sector forestal mexicano ha estado en declive, la producción se redujo prácticamente a la mitad y actualmente solo satisface la tercera parte de nuestro consumo como país, lo que ha generado un gran déficit en

la balanza comercial del sector forestal y se han perdido empleos e ingresos que se requieren para el desarrollo de las zonas rurales que cuentan con recursos forestales susceptibles de aprovechamiento”¹².

Por otra parte, El Programa Nacional Forestal (PRONAFOR, 2014-2018) da prioridad al aprovechamiento sustentable, sin embargo no se aprovecha al máximo el potencial total y lo que llega a utilizarse no cumple con el valor agregado para entrar en competitividad en el sector forestal con un mundo globalizado.

El director general de FSC (Forest Stewardship Council), el señor (Kim Carstensen, 2015) menciona, “No todas las afirmaciones de «sustentabilidad» deben considerarse por igual, ninguna organización, incluida la ONU, puede garantizar siempre la sostenibilidad en lo que hace. Solo se puede esperar lograr la sustentabilidad conservando los intereses sociales, ambientales y económicos como una prioridad principal y manteniendo un diálogo constante entre los gobiernos. Se puede hacer esto utilizando nuestras asociaciones con grupos indígenas, con organizaciones ambientales y con nuestra red global de miembros empresariales para que se mantenga abierto el diálogo entre estos diferentes grupos y así asegurarnos de que todos avanzamos en la misma dirección”¹³. Lamentablemente en muchos países como

10 Rosete, F, J. Pérez, L. Villalobos, N. Navarro, E. Salinas, R. Remond, N. (2014). *El avance de la deforestación en México 2007-1976*.

11 Red de monitoreo de políticas públicas (2014). *CCMSS*

12 Estrategia Nacional de manejo forestal sustentable para el incremento de la producción y productividad 2018-2013 2014)

13 Carstensen, K. (2015) ¿Qué significa realmente ser sostenible? Pensamientos del Director General del FSC.

México esta prioridad no es común.

Con estos antecedentes, el arquitecto, antes de trabajar con cualquier material, necesita conocer su procedencia, aunque sean residuos de la industria maderera, tenemos que considerar que el aserrío de la troza provenga de madera certificada. A nivel internacional y en México, la certificación más reconocida es FSC (Forest Stewardship Council), Organización internacional, no gubernamental dedicada a promover la gestión responsable de los bosques del mundo. Otra certificación es PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification) Programa de reconocimiento de Sistemas de Certificación Forestal.

Por otro lado, actualmente en la región de la Sierra Norte de Oaxaca, se maneja la madera costera y corteza de pino, generadas por el descortezado, primer corte del aserrío de la troza, como biomasa residual. (Grobelaar y Manyuchi, 2000)¹⁴ mencionan que en la industria maderera la biomasa es considerada muchas veces como residuo al no encontrarle valor alguno. Diferentes industrias de la madera como por ejemplo: aserraderos, plantas de tableros, de pulpa y papel, tratamiento de postes y exportación de madera, por varias razones requieren el proceso de descortezado. (Muñoz, F 2013)¹⁵ comenta que por la falta de

información sobre las características y calidad de este subproducto forestal, la corteza muchas veces es solo usada para producir energía o es dejada en el bosque luego del aprovechamiento forestal. Ante esto, es importante que las industrias implementen una correcta gestión de residuos de biomasa generada por el proceso de descortezado, logrando su aprovechamiento con un valor añadido (Muñoz, F., *Op cit.*)

Podemos beneficiarnos con esta biomasa, actualmente en la industria de la construcción se buscan alternativas para la fabricación de materiales con menor impacto ambiental. El aprovechamiento de los residuos maderables y reciclaje de plásticos se presenta como una opción.

Hoy en día se busca la incorporación de fibras naturales en compuestos moldeados por extrusión, un ejemplo el uso de fibras lignocelulósicas. Las dos estrategias para lograr el procesamiento de fibras lignocelulósicas con termoplásticos según (Youngquist, 1999) son: en primer lugar el componente lignocelulósicos sirve como agente de refuerzo o de relleno en una matriz termoplástica y el segundo el termoplástico cumple la función de aglutinante de la mayoría de los componentes lignocelulósicos. Ante esto, este tema de investigación propone al termoplástico como aglutinante en el compuesto.

El uso de materiales compuestos actualmente se empieza a utilizar en Latinoamérica como una alternativa de nuevos materiales. Productos como puertas,

14 Grobelaar, F. & Manyuchi, K. 2000. Eucalypt debarking: an international overview with a Southern African perspective. Forest Engineering Southern Africa (FESA) 68 p. 15
15 Muñoz, F. 2013. Comenta en su tesis: Diseño y Caracterización de un material Híbrido en base a fibras lignocelulósicas de la corteza de Eucalyptus nitens como un elemento constructivo.

marcos para ventanas y revestimientos, están relacionados principalmente con problemas de estabilidad dimensional (en el caso de productos de madera) y el bajo rendimiento en términos de resistencia a la humedad y hermeticidad (Ballerini *et al.*, 2008)¹⁶. Ante esto se presenta la opción de fabricar un material corteza/plástico.

El objetivo primordial en este tema de investigación, fue trascender en aprovechar madera que se considera residuo en zonas forestales, recuperarla, transformarla y usarla para beneficiar envolventes arquitectónicas en las regiones forestales donde se genera este producto maderable (principalmente en la Región Sierra Norte de Oaxaca).

Los objetivos particulares fueron:

- 1.- Señalar la situación actual de la construcción de vivienda rural de madera
- 2.- Trazar una vía para el inicio de una cultura sustentable en la construcción de la región Sierra Norte de Oaxaca
- 3.- Aprovechar la biomasa residual de corteza de pino para generar un nuevo material
- 4.- Aprovechar la madera costera de pino para generar un nuevo material.

La Hipótesis fue:

Un material de corteza de pino implementado en un panel de madera, mejorara las condiciones de

confort térmico en la actual vivienda de madera rural en la región Sierra Norte de Oaxaca.

Para realizar esta investigación de forma adecuada, se desarrolló el proceso de investigación, tomando en cuenta, la metodología de desarrollo TRL, es decir:


Los niveles de madurez de la tecnología, más conocidos por sus siglas inglesas TRL o Technology Readiness Levels, que se traducen como nivel de madurez de la tecnología. Este modelo fue desarrollado por la NASA, concretamente es la forma para medir el grado de madurez de una tecnología.

El modelo de investigación que han comenzado a ser una terminología habitual en el nuevo Programa Marco de Investigación (2020-2014), más conocido por H2020. De hecho, la Comisión Europea clasifica los TRLs de la siguiente forma:

- TRL 1: Investigación básica.
- TRL2 – TRL 4: Concepto tecnológico. Prueba del concepto. Validación en laboratorio.
- TRL 5: Validación en entorno relevante.
- TRL 6: Demostración en entorno relevante.
- TRL 7: Demostración en entorno operacional (real).
- TRL 8: Sistema completo y certificado.
- TRL 9: Despliegue.

Esta investigación, alcanzo el nivel TRL4.

16 Ballerini, A. Bustos X. Nuñez, M. Wechsler, A. 2008. *Innovation in window and door profile designs using a Wood-plastic composite.*



*“En la Tierra, el mejor amigo del hombre es el árbol.
Cuando utilizamos el árbol con respeto y
prudencia, puede ser para nosotros uno de los mayores
recursos de la Tierra”*

Frank Lloyd Wright



Imagen. 04. Fotografía. Plaza "Memorial 5 de Mayo". Fotografía propia, 2015.

[CAPÍTULO 1]

Madera; su uso en la construcción



Imagen. 05. Falta de aprovechamiento de madera. Fotografía propia, 2014.



Imagen. 06. Condiciones de vivienda de Madera en México. Fotografía propia, 2014.

1.1 LA MADERA

1.1.1 ¿Por qué madera?

(Nutsch, 2000)¹ menciona que *“se entiende por madera en general a las partes de un árbol que económicamente pueden aprovecharse, siendo éstas por lo general los troncos”*.

Es por ello que debemos estar conscientes de su origen y valorar el procedimiento de su transformación. (Bruce, 1980) en su libro *Understanding Wood*, menciona: *“La madera proviene de árboles. Este es el hecho más importante a recordar en la comprensión de la naturaleza de la madera. La madera envuelve como un tejido funcional en plantas en lugar de como un material diseñado para satisfacer las necesidades de los trabajadores de la madera. De este modo, conociendo la madera a medida que crece en la naturaleza, es básico trabajarla exitosamente”*².

Canadian Wood Council menciona: así como las tecnologías de construcción evolucionan, un material que se mantiene en la demanda de siempre es la madera. La madera cuesta menos desde el punto de vista económico y ambiental. Es una de las materias primas más hermosas, versátiles, duraderas y renovables que hay³.

Así mismo, la organización Rethink

1 Nutsch W. (2000) Comenta en su libro: *Tecnología de la madera y del mueble*.

2 Bruce R. (1980). *Comenta en su libro: Understanding Wood. A craftsman’s guide to Wood technology*.

3 Canadian Wood Council (2014)

Canadian Wood Council informa que “con la creciente presión para reducir la huella de carbono del entorno construido, los diseñadores de la construcción son cada vez más llamados a equilibrar los objetivos de funcionalidad y costo con menor impacto ambiental. La madera es un material rentable y un recurso renovable que puede ayudar a lograr ese equilibrio.”⁴ Así mismo, “la construcción con madera, ya sea personalizada o prefabricada, es rápida, eficiente y puede realizarse en casi cualquier tipo de clima durante todo el año”⁵

(CNN, 2013)⁶ informa que el arquitecto Michael Green piensa en un rascacielos de 30 pisos de madera en Vancouver, Canadá; mientras que los planes para un edificio de 17 pisos y otro de 20, están a flote en Noruega y Austria, respectivamente. Green asegura que nuevos materiales derivados de la madera han existido desde hace 20 años, pero solo habían sido usados en proyectos locales o en edificios bajos. En la publicación Michael Green menciona “El verdadero cambio se dio cuando empezamos a pensar en el cambio climático. El acero y el concreto son geniales, pero no son amigos del medio ambiente”.

De igual forma este arquitecto, en una conferencia presentada en (TED, 2014) informa que en una estadística de Estados Unidos, se muestra que del total de emisiones de dióxido de carbono producidas en Estados Unidos, 47 % son de la industria de la construcción, 33 % del transporte y 19 % de la industria. Estos números nos obligan a los arquitectos a pensar en el impacto que causa la industria de la construcción, y cómo podemos tomar medidas de menor impacto negativo en el medio ambiente.

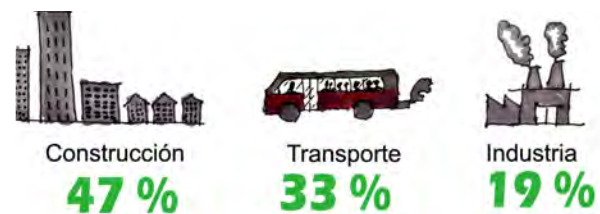


Imagen. 07. Emisiones de dióxido de carbono producidas en Estados Unidos. Fuente: Conferencia (TED 2014). «Why we should build wooden skyscrapers» Elaboración propia, 2015.

En el caso de la madera, es un material renovable, siempre y cuando se maneje correctamente el proceso de extracción, en algunas comunidades, existen nativos que valoran y respetan sus bosques, como lo mencionan Braungart & McDonough, (2002)⁷ en su libro, *Cradle to cradle* “La tribu de los Menominee de Wisconsin _Estados Unidos_ explota madera desde hace generaciones y para ello utiliza un método de explotación que le permite aprovechar la naturaleza al tiempo que le dejan seguir su curso”. Este tipo de cultura es la que debemos retomar.

4 Rethink Wood (2014).

5 (*Op cit.*)

6 Michael Green quiere resolver el mayor reto de la arquitectura - para satisfacer la demanda de vivienda en todo el mundo sin aumentar las emisiones de carbono - Mediante la construcción con madera. Conferencia TED «Why we should build wooden skyscrapers» , 2014.

7 Braungart, M. & McDonough, W. (2002). Comentan en su libro: *Cradle to Cradle (De la cuna a la cuna)*.

En la publicación de (CNN, 2013) mencionada anteriormente, Michael Green comenta “cortar árboles para hacer edificios tampoco suena muy ecológico que digamos, pero si se usa madera de bosques manejados sustentablemente, como los de Europa y Norteamérica, puede estar más de acuerdo con el medio ambiente. Los edificios de madera encierran el dióxido de carbono durante el ciclo de vida de una estructura, mientras que la manufactura del acero y el concreto producen grandes cantidades de CO₂. La Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) estima que por cada 10 kilos de cemento que se crea, se producen de seis a nueve kilos de CO₂”.

Ante estos comentarios y las construcciones de madera que se han fabricado y se siguen fabricando en países desarrollados, la pregunta es, ¿Por qué en México, país con regiones dedicadas a la industria forestal, no se construye con madera?

1.1.2 Vivienda de madera México.

El uso de madera en vivienda es poco común en México (Robles & Echenique, 1986) mencionan: *“En muchos países de América Latina, la madera ocupa un lugar notablemente modesto entre los materiales empleados en la construcción a pesar de que, en muchos casos, se cuenta con recursos forestales relativamente abundantes”*⁸.

⁸ Robles, F. & Echenique – Manrique. R. (1986). Estructuras de madera. México: LIMUSA.

Como se mencionó anteriormente, el uso de madera es poco común en México, esto se debe a la influencia de los españoles, como mencionan, (Robles y Echenique, 1986) *“A su llegada a México, los españoles también tuvieron a su disposición importantes recursos forestales. Sin embargo, en su país de origen, el uso de madera, por escasez, no estaba tan arraigado como en Inglaterra, en la construcción predominaba la mampostería y la aplicación de la madera solía estar restringida al esfuerzo de muros y la formación de distintas modalidades de techos y pisos. Por otra parte se encontraron con una cultura en que las estructuras monumentales eran de piedra mientras que el uso de la madera por regla general estaba restringido a la construcción de las viviendas más modestas”*.

La madera actualmente es poco empleada, sin embargo se usa en construcción de viviendas rurales en México, sobretodo en regiones forestales. El INEGI en el Censo de Población y Vivienda 2010, informa, en México, existen 491 643 28 de viviendas habitadas, de esas viviendas 2.57 millones tienen techo de madera o tejamanil. Del total de viviendas habitadas, 561 316 1 poseen una envolvente en muros de madera⁹.

Lamentablemente la ejecución de estas viviendas en su mayoría no cumple con condiciones óptimas para su hábitat. Como es

⁹ INEGI. Censo de Población y Vivienda (2010). *Tabulados del Cuestionario Ampliado. Viviendas particulares habitadas y su distribución porcentual según material en techos para cada entidad federativa y material en paredes.*

mencionado por (Hurtado, 2002)¹⁰ en su libro Tecnología de la madera, “*estos procesos se han visto obstaculizados en su comprensión por que no existen manuales especializados ni conocimientos técnicos sistematizados que pudieran intervenir como elementos fundamentales para elevar los niveles de producción y calidad de los objetos realizados con madera*”.

En México las principales limitaciones de arquitectos para construir con madera son:

Conocimiento escaso o nulo de las propiedades de la madera

- Desconfianza en la durabilidad del material
- Desconfianza del origen de la madera ante la tala inmoderada presente en nuestro país
- La falta de competitividad en producción y calidad, genera que se compre madera proveniente de otros países.

(Hernández, 2016)¹¹ menciona, “*Es difícil crearlo, sin embargo, factores como la poca capacidad de transformación, los inadecuados y obsoletos sistemas de secado, el transporte innecesario entre las diferentes etapas, y el estatus ejidal de propiedad de las regiones*

10 Hurtado. D. (2000). Tecnología de la madera. México. DF: D. R. Librería, SA de CV.

11 Hernández, M. Arquitecto egresado de la maestría en Arquitectura en la UNAM, con la investigación: *Alternativa de Vivienda de Madera para las Regiones Forestales de Durango*.

forestales ha propiciado que la madera mexicana sea poco competitiva en el mercado contra otros países, esto genera un incremento en el costo en comparación con otras maderas provenientes de otros países como Estados Unidos y Chile”

Actualmente en México, el uso de la madera en la construcción es poco común, y apesar de todo, existe construcción con madera, se extrae de los bosques y se seguirá empleando y explotando. Por esta razón, el arquitecto tiene la responsabilidad de trabajar adecuadamente el material y aprovechar responsablemente al máximo el árbol talado para cubrir una necesidad.

El arquitecto puede contribuir en el hábitat de los usuarios por medio del conocimiento de las propiedades de los materiales naturales que tiene a su disposición, de igual forma es responsable de adquirir productos provenientes de bosques certificados e investigar el aprovechamiento total de estos materiales en la industria de la construcción.

1.2 CONOCIMIENTO BÁSICO SOBRE LA MADERA

1.2.1 Sello de certificaciones.

Es transcendental que cualquier comprador de madera tenga la garantía que está adquiriendo madera certificada. La certificación más reconocida a nivel internacional y en México es FSC (Forest Stewardship Council).

Este sistema permite a los consumidores

identificar, adquirir y utilizar productos forestales obtenidos de bosques bien manejados. El Logotipo de « árbol » del FSC se utiliza en las etiquetas del producto para indicar si los productos están certificados bajo el sistema FSC¹². Otra certificación es PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification). Es una entidad no gubernamental, independiente, sin ánimo de lucro y ámbito mundial, que promueve la gestión sostenible de los bosques para conseguir un equilibrio social, económico y medioambiental de los mismos. El objetivo de PEFC es asegurar que los bosques del mundo sean gestionados de forma responsable y que su multitud de funciones estén protegidas para generaciones presentes y futuras. Lamentablemente, esta certificación no existe en México.



Imagen. 08. Logo de los sellos de certificación. La madera certificada tiene marcada estos sellos. FSC y PEFC

Es responsabilidad del comprador verificar que la madera tenga alguno de estos sellos de certificación, logrando incrementar el aprovechamiento de maderas provenientes de bosques sustentables y anular la venta de madera proveniente de la tala ilegal.

1.2.2 Madera; material para la construcción

El manual de construcción de estructuras ligeras de madera editado por la Comisión Forestal de América del Norte (COFAN, 1994), menciona, las ventajas del uso de la madera en la construcción, estas se pueden clasificar dentro de las siguientes tres categorías:

1.- Como material para la construcción

- a) Ligereza
- b) Trabajabilidad y alta resistencia mecánica
- c) Aislante térmico
- d) Aislante acústico

2.- Como sistema constructivo

- a) El poco peso que transmite al terreno da como resultado una cimentación de menor costo
- b) Alta resistencia a sismos
- c) Se evitan movimientos de tierra

3.- Como sistema de bajo costo

- a) En comparación con un sistema tradicional de tabique, acero y concreto, el sistema a base de paneles de madera reduce de un 10 a %15 los costos. Cuando se realiza un conjunto de 100 unidades como mínimo, se obtienen

12 FSC México. Consultada el 18 de Agosto del 2015 de http://www.mx.fsc.org/reconocimiento_del_fsc.html

economías del orden del 30 %.

b) Rapidez con que se fabrican los sistemas constructivos con madera, permite abatir costos indirectos¹³.

1.2.3 Propiedades de la madera

A diferencia de muchos materiales de construcción, la madera no es un material elaborado, sino orgánico, que generalmente se usa en su estado natural. De los muchos factores que influyen en su resistencia, los más importantes son: la densidad, los defectos naturales y su contenido de humedad. (Parker, 1948).¹⁴

Propiedades Físicas

El Manual de Autoconstrucción de Vivienda Rural Sustentable con Madera editado por CONAFOR, menciona que la madera presenta propiedades físicas favorables para la construcción, en comparación con otros materiales; como son su densidad baja, esto es, la hace un material ligero en comparación con el concreto y acero. Y un material poroso, que le imprime buenas propiedades de aislación térmica, eléctrica y acústica, adecuada para el confort de las construcciones. No obstante también presenta propiedades físicas limitantes, como el hecho de

tratarse de un material higroscópico, propiedad que le permite absorber y ceder humedad en forma de vapor al medio ambiente¹⁵.

Las siguientes propiedades, son importantes para su consideración en el uso de la construcción.

La madera y el agua: Más del 90 % de todos los problemas con la madera provienen o están relacionados con la humedad (Bruce, 1980)¹⁶.

La higroscopicidad de la madera es ocasionada debido a que en su estructura capilar por ser un material poroso absorbe agua en un ambiente húmedo o cede agua en un lugar seco o hasta su adaptación, a través de un proceso de absorción mecánica, resultante de fuerzas superficiales de tensión entre sólido poroso y un líquido (Hurtado, 2000). Según el manual de construcción de estructuras ligeras de madera de (COFMAN, 1994) Existen tres valores que son importantes para definir la relación entre la madera y el agua

1.- Contenido de humedad (CH)

2.- El contenido de humedad en equilibrio (CHE)

3.- Punto de saturación de la fibra (PSF)

Contenido de humedad en la madera (CH): Se define como la relación entre el peso del agua contenida en una pieza de madera y su peso

13 Comisión Forestal de América del Norte COFAN. (1994). Manual de construcción de estructuras ligeras de madera. México DF

14 Parker, H. (1995). Comenta en su libro: Diseño simplificado de estructuras de madera.

15 CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). Manual de Autoconstrucción de Vivienda Rural Sustentable con Madera

16 Bruce R. (1980). Comenta en su libro: *Understanding Wood. A craftsman's guide to Wood technology.*

cuando está secada al horno, expresada en porcentaje.

En México, la Clasificación Visual para Madera de Pino de uso Estructural¹⁷ NMC-C-239-ONNCCE1985- establece que en nuestro país se debe utilizar para madera seca (CH < 18 %).

El contenido de humedad de equilibrio (CHE): Es el estado en el cual la humedad de la madera logra un equilibrio con las condiciones ambientales. Este estado es afectado por los cambios de humedad relativa (HR) y temperatura (T) del aire circundante (Pérez, et al.)¹⁸.

Asimismo, el contenido de humedad, dentro de un cierto rango, influye en las propiedades de resistencia, rigidez, dureza, resistencia a abrasión, maquinado, poder calorífico, conductividad térmica, propiedad de gases para producción de combustible, rendimiento, calidad de celulosa y resistencia de la madera contra pudrición. El contenido de humedad es importante en el secado, impregnación, acabado y flexión de la madera. Y finalmente el costo de transporte en almacenes de madera depende en la densidad de la madera que es influenciada por su contenido de humedad. La determinación del contenido de humedad y el contenido de la relación madera-líquido son las de mayor importancia (Kollman & ¹⁷ Manual de clasificación visual para madera estructural. Nota técnica 12. INIREB-LACITEMA. Xalapa, Ver. s/p.

¹⁸ Pérez, N. Valenzuela, L. Díaz, J. Ananías, R. (2011). *Predicción del contenido de humedad de equilibrio de la madera en función del peso específico de la pared celular y variables ambientales.*

Coté, 1968)¹⁹.

Punto de saturación de la fibra (PSF): (Hurtado, 2000), explica, se considera PSF el promedio de humedad que se encuentra más o menos en 30 por ciento, punto en el cual el contenido de agua libre se ha evaporado y sólo permanece el que se encuentra confinado en las paredes celulares. Por otra parte, (Kollman & Coté, 1968) mencionan, “*el punto de saturación de la fibra (PSF) de la madera es el contenido de humedad alcanzado cuando todas las fibras están completamente hinchadas (saturadas con agua higroscópica), pero no existe agua libre en la estructura capilar más gruesa*”. A sí mismo, (Hurtado, 2000) menciona, “*la pérdida de humedad a partir de aquí es más lenta, justo cuando la madera empieza a cambiar sus propiedades mecánicas (resistencia a la flexión, compresión, tracción) y físicas (dimensionales)*”. El contenido de humedad por debajo del PSF está en función de la temperatura y de la humedad relativa del ambiente; así, una madera seca absorberá agua en un medio húmedo, mientras que una madera húmeda la perderá en un ambiente seco.

Densidad de la madera: El peso específico de las diferentes especies de madera, lo determinan las diferencias de disposición y tamaño de las células huecas, así como el espesor de las paredes de las células. “*La resistencia de la madera está íntimamente relacionada con su densidad*” (Parker, 1948)²⁰.

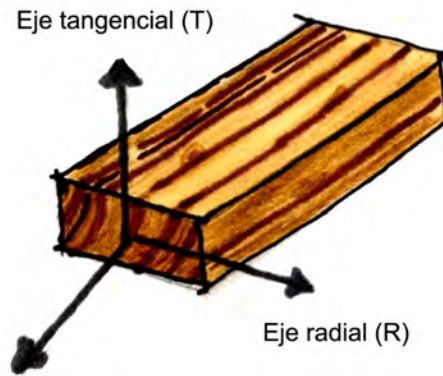
¹⁹ Principles of Wood Science and Technology.

²⁰ Parker, H. (1995). Diseño simplificado de estructuras de madera.

Propiedades Mecánicas

Según el manual de construcción de estructuras ligeras de madera de COFMAN, la madera posee una alta resistencia mecánica para su reducido peso, al compararse con otros materiales de construcción. La resistencia mecánica de la madera se ve afectada por las variaciones en el contenido de humedad, por la presencia de defectos como nudos, rajaduras y desviación de la fibra, así como por la afectación por el ataque de hongos (pudrición), además por las variaciones naturales de crecimiento del árbol, que pueden hacer variar su densidad, y con ello, la capacidad de soportar cargas, por lo que debe revisarse y seleccionarse cuidadosamente la madera a usar en la construcción²¹.

Ejes estructurales de la madera: Debido a la disposición que guardan las células que componen la madera, existen diferencias importantes en su comportamiento ante diferentes acciones, dependiendo de la dirección en que estas son aplicadas, por lo que al hablar de propiedades mecánicas es preciso especificar, además del tipo de acción, la dirección en la que se aplican de acuerdo con un sistema de ejes ortogonales (longitudinal, radial y tangencial)²².



Eje longitudinal (L)

Imagen. 09. Ejes estructurales de la madera. Fuente. Manual de construcción de estructuras ligeras de madera. Elaboración propia, 2015.

Acción			Esfuerzo último kg/cm ²
Flexión			625
Tensión	Paralela		890
	Perpendicular		890
		Tangencial	20
		Radial	40
Compresión	Paralela		500
	Perpendicular		60
Cortante	Paralelo (1)		90
	Perpendicular (2)		45
	Perpendicular (3)		300
(1) Cortante en el plano (L-T) o (L-R) con carga en la dirección del eje L			
(2) Cortante en el plano (L-T) o (L-R) con carga en dirección del eje T o R, por rodamiento			
(3) Cortante en el plano (R-T)			

Imagen. 10. Esfuerzo último de acciones sobre madera de pino, libre de defectos. Fuente. Manual de construcción de estructuras ligeras de madera. Elaboración propia, 2015.

Clasificación de la madera: En México la clasificación se establece en la norma NMX-C1985-239- (DGN 1985). Las reglas separan la madera en tres grupos de resistencia, dos para uso estructural y uno para uso no estructural:

- Uso estructural
1. Alta resistencia "A"

21 (Op cit.)

22 (Op cit.)

2. Mediana resistencia “B”
 - Uso no estructural
3. Baja resistencia “C”

Química de la madera

Químicamente la madera tiene dos formas de composición:

- a) Composición elemental
- b) Composición química.

Composición elemental: La madera está compuesta en valores aproximados de 50 % de carbono (C), 43 % de oxígeno (O), 6 % de hidrógeno (H), 0.8 % de nitrógeno y 0.2 % de sustancias minerales (cenizas).

Composición química: los compuestos principales son celulosa (65 a 75 %), lignina (20 a 30 %) y los compuestos extraíbles (3 al 7 %).



Imagen. 11. Esquema de la composición química de la madera. . Fuente: Manual CONAFOR. Consideraciones tecnológicas en la protección de la madera. Elaboración propia, 2015.

Celulosa: La celulosa o fibra es el elemento constitutivo de la madera. Desde el punto de vista químico, la celulosa es un polímero natural formado por unidades de glucosa²³. La celulosa
 23 ARAUCO. ¿Qué es la celulosa? Consultado el 18 de Agosto del 2015 de <http://www.arauco>.

es un polímero que elaboran las plantas donde las largas cadenas moleculares se acomodan linealmente para formar el esqueleto vegetal, con lo que da resistencia mecánica lineal combinada con flexibilidad lateral, esto permite a la planta aumentar su altura sin romperse (Jones, 1993)²⁴.

Lignina: Esta palabra proviene del latín lignum, que significa madera; así, a las plantas que contienen gran cantidad de lignina se las denomina leñosas. Después de los polisacáridos, la lignina es el polímero orgánico más abundante en el mundo vegetal. Su función principal es mantener la unión de las células de la madera.

Extraíbles de la madera: A este grupo de compuestos se le denomina sustancias extraíbles de la madera. Un ejemplo son los taninos, usados para la industria de la piel.

Conductividad térmica

La madera tiene buenas propiedades de regulación climática tanto como en su forma natural y como en finas partículas. La madera es a prueba de viento, este es un buen regulador de humedad, y el viento tiene un valor de aislamiento útil (Berge, 2000)²⁵. (Kubler, 1989) menciona, dado que la madera carece de los electrones libres que transfieren rápidamente el calor y la electricidad en metales, esta conduce el calor por

[cl/informacion.asp?idq=697&parent=688&ca_submenu=3197&tipo=3&idioma=17](http://informacion.asp?idq=697&parent=688&ca_submenu=3197&tipo=3&idioma=17)

24 Jones, M. (1996). *Procesamiento del plástico*. México DF: Limusa.

25 Berge, B. (2000). Comenta en el libro: *Ecology of Building Materials*.

la transferencia relativamente ineficiente de la energía vibratoria de una partícula a la siguiente. Por esta razón, y porque las células huecas de la madera atrapan aire, la madera y paneles a base de madera son bajos en la conductividad térmica, la madera es un aislante. Aislantes comunes de fibra de vidrio con 8.9 cm (3.5 in) de espesor, logran un valor R - 11, mientras que la madera con el mismo espesor y densidad de 0.5 g y 12 % de humedad contiene R - 4.4 . Las diferencias en la conductividad térmica entre especies de madera se explican en gran medida por diferentes densidades, la conductividad aumenta en proporción a la densidad. En la dirección longitudinal de la fibra, que es el largo en la mayoría de las piezas, la madera conduce el calor 1.5 a 2.8 veces más rápido que en la dirección transversal, perpendicular a las fibras²⁶.



Imagen. 12. Conductividad térmica de la madera.

Fuente: Kuber H. *Concise Encyclopedia of Wood & Wood*. Elaboración propia, 2015.

Con respecto a la madera, la NORMA Oficial Mexicana NOM-020-ENER - 201, publicada en el diario oficial de México, informa el valor de conductividad y aislamiento térmico

26 Kuber, H. (1989). *Concise Encyclopedia of Wood & Wood*

de la madera presentada en la siguiente tabla²⁷.

Madera	Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³
Blanda	610	0,130
Dura	700	0,150

Madera (humedad 12 %)	Densidad kg/m ³	Conductividad térmica (λ) W/ m K
Pino	663	0.162
Cedro	505	0.13
Roble	753	0.18
Fresno	674	0.164

Imagen. 13. Conductividad térmica de la madera. Elaboración propia 2015. Fuente: NORMA Oficial Mexicana NOM-020-ENER2011-

1.2.4 Deterioro de la Madera.

(Hinz & Peraza, 1986) mencionan que en la degradación de la madera, principalmente, intervienen hongos e insectos xilófagos y en menor escala los xilófagos marinos²⁸. (Hinz, 1995) comenta que la madera, por ser un material orgánico está expuesta a una serie de ataques, entre los cuales la acción climática juega un papel relevante²⁹. Todo deterioro producido por la acción climática deja la madera lo suficiente deteriorada como para dar paso a un ataque por agentes biológicos como insectos,

27 NORMA Oficial Mexicana NOM-020-ENER2011-, Eficiencia energética en edificaciones.-Envolvente de edificios para uso habitacional.

28 Hinz, V & Peraza, F (1986). *Protección de la madera*.

29 Hinz, V. (1995). *Informe tecnológico "La madera material de construcción de Chile en el futuro"*.

hongos y bacterias, las que definitivamente destruyen el material. Como menciona (Hinz, V & Peraza, F. 1986), el clima interviene siempre y cuando existan tres factores:

- Humedad
- Oxígeno
- Alimento (en este caso la propia madera).

Si falta un factor de esto, generalmente estos organismos no podrán desarrollarse.

La madera y la falta de humedad: Las maderas que se han utilizado en lugares secos pueden permanecer intactas durante generaciones como el caso de las maderas en zonas desérticas o maderas que constantemente son protegidas contra el ataque o la influencia de la intemperie.

La madera y la falta de aire: Si falta el aire la madera se conserva igualmente durante miles de años. Es el caso de maderas que han estado sumergidas constantemente en el agua.



Imagen. 14. Palafitos (Arquitectura vernácula), vivienda de madera con cimentación expuesta en agua constantemente. Isla de Chiloé, Chile. Fotografía propia, 2015.

Debe ser obra de inteligencia el evitar una de las tres circunstancias antes mencionadas. Como los dos primeros factores, el aire y la humedad, son difíciles de evitar, debemos procurar quitar a estos organismos el tercer factor, el alimento por medio una protección adecuada como la manipulación química.

1.2.5 Protección de la madera.

(Hinz & Peraza, 1986) mencionan, según el lugar de aplicación de la madera, se emplea un determinado protector y el sistema de impregnación más adecuado. Los principales protectores se dividen en dos grupos según el uso de la madera³⁰.

Para **piezas de madera expuestas a intemperie y humedad** como elementos estructurales exteriores, puertas y ventanas, se puede aplicar una impregnación en autoclave por el método del doble vacío con materiales oleosos que contengan inmunizantes contra xilófagos, además de resinas y ceras para evitar la absorción de humedad desde el medio ambiente.

Este proceso consisten básicamente en extraer parte del aire contenido en el interior de la madera por medio de un vacío limitado (50 - 25 %), en el cual se introducen los líquidos inmunizantes aplicando presión. Después de evacuar el líquido de la autoclave se aplica un vacío prolongado.

Por otra parte para **maderas no expuestas al exterior**, se recomienda impregnar con productos de ácido bórico y bórax disueltos en agua. Estos productos se aplican también en autoclave. Otro producto para el uso en interior es el aceite de linaza.

Para **madera que esté en contacto con el suelo y con el agua**, se emplea el mismo método de impregnación pero con cobre, cromo y arsénico (CCA), los cuales no son recomendables para construcción por el color que adquieren y por ser sustancias tóxicas³¹. Más bien este método se usa para postes de luz y pilotes de cimentación en construcciones. Como menciona la investigadora (Marcela Vidal, 2015)³² del Centro de Polímeros Avanzados en Chile, *“Si bien el CCA es sumamente efectivo, económico y puede durar muchos años, se transforma en un riesgo inminente frente a los efectos del agua. Al enfrentarse a la lluvia o humedad del ambiente, la madera tratada con CCA sufre el arrastre de los metales pesados que lo componen, los cuales se depositan en el suelo y recursos hídricos, quedando alojados principalmente en las capas subterráneas. Esto genera un problema ambiental considerable, afectando directamente la salud de las personas”*.



Imagen. 15. Autoclave, por este medio, se aplican materiales oleosos y CCA a la madera.

Aserradero La Asunción Oaxaca. S. A de CV.
Fotografía propia, 2015.

30 Hinz, C & Peraza, F (1986). Protección de la madera.

31 Informe tecnológico “La madera material de construcción de Chile en el futuro”.

32 Madera impregnada con CCA y sus riesgos. Centro de investigación de polímeros avanzados CIPA.

1.3 DEFORESTACIÓN EN MÉXICO

Es evidente que a nivel mundial el cambio climático nos lleva a replantear los procesos industriales. La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2009), menciona que la principal causa de deforestación es el crecimiento demográfico desmedido, que ha llevado al humano a hacer un uso irracional de los bosques, al realizar una tala inmoderada para el establecimiento de áreas destinadas a actividades agrícolas, pecuarias o de otro tipo de uso de suelo, como asentamientos humanos o carreteras. El ritmo de deforestación que padece México es uno de los más intensos del planeta: de acuerdo con el Instituto de Geografía de la UNAM, cada año perdemos 500 mil hectáreas de bosques y selvas. En México, la principal causa de deforestación es el cambio de uso de suelo para convertir los bosques en potreros o campos de cultivo.

1.4 CICLO DE VIDA DE LA MADERA

En México, el ciclo de la madera es impredecible, no se desarrolla de forma adecuada, el proceso de extracción presenta problemas ante conflictos ejidales y políticos por lo tanto no se aplica un manejo forestal adecuado y constante para el cuidado de los bosques. De igual forma la falta de tecnología adecuada genera aumento de costo, falta de calidad y aprovechamiento total.

La industria forestal debe ser una

economía orientada al reciclaje y cero desperdicios. Como mencionan (Kaufmann & Nerding, 2012)³³ *“La sociedad actual necesita sustentabilidad, naturaleza y procesos para la cría inteligente de bosques y el uso eficiente de la madera en términos de recursos y particularmente el suministro de la industria para la construcción”*.

Para lograr un aprovechamiento sustentable, La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de febrero de 2003 define, el Desarrollo Forestal Sustentable como el proceso evaluable y medible mediante criterios e indicadores de carácter ambiental, silvícola, económico y social que tienda a alcanzar una productividad óptima y sostenida de los recursos forestales sin comprometer el rendimiento, equilibrio e integridad de los ecosistemas forestales, que mejore el ingreso y la calidad de vida de las personas que participan en la actividad forestal y promueva la generación de valor agregado en las regiones forestales, diversificando las alternativas productivas y creando fuentes de empleo en el sector.³⁴

Es indiscutible que la gestión forestal y el uso de la madera hoy deben satisfacer los requisitos económicos, ecológicos y sociales

33 Kaufmann, H. & Nerding, W. (2012). *Building with Timber. Paths into the future*. Munich. Prestel.

34 La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de febrero de 2003 y en su última reforma publicada el 04 de junio de 2012, en el Título Tercero “De la Política Nacional en Materia Forestal”. Capítulo I “De los criterios de la Política Nacional Forestal”, artículo 30.

en diferentes aspectos. Para documentar los impactos ecológicos complejos de producción de material de construcción y uso, es necesario aplicar métodos de análisis del ciclo de vida de otras industrias a los productos.

Los materiales que utilizamos tienen un ciclo de vida, empieza en el momento de la extracción de los recursos para producirlos, hasta conformar los productos que fabricamos, usamos y desechamos. El ciclo de vida de un material es una analogía de la forma en que los organismos existen en la naturaleza: nacen, se desarrollan, se reproducen y mueren (Echeverría, 2013)³⁵.

El equilibrio ecológico, también conocido como la evaluación del Ciclo de Vida, es un modelo holístico que tiene en cuenta el ciclo de vida de materiales de construcción, incluyendo tanto el consumo de recursos e implicativos ambientales, con el fin de evaluar su impacto medioambiental general.

El ciclo de vida consiste en una serie de fases que son: diseño, extracción y adquisición de recursos y materiales, procesado y tratamiento de materiales, fabricación/producción, transporte y distribución, vida útil, uso y servicio de manutención, fin de vida del producto, recuperación, re-utilización o segunda vida útil, reciclaje y deshecho (introducción a un nuevo ciclo de vida del producto) y descomposición de

materiales (García Brenda, 2008)³⁶.

En la siguiente imagen, se muestra el ciclo de vida que debe tener la madera en la industria de la construcción. En México, este ciclo de vida no se cumple en su totalidad, en regiones forestales se extrae la madera, se industrializa, se construye poco con madera, no se le da mantenimiento y no se recicla.



Imagen. 16. Ciclo de vida de la madera. Elaboración propia, 2015

También se presenta en la siguiente imagen que durante la transformación de la madera, la producción, no aprovecha el %100 del árbol, la corteza generada por el proceso de descortezado, se considera residuo o es empleado como combustible. Ante esto, se busca que la corteza de pino, un producto considerado residuo en la industria maderera, tenga una reconexión al ciclo de vida, diferente a ser combustible.

35 Echeverría, J. (2011). Comenta en su tesis: *Materiales Biocompuestos para el diseño ecológico. Caso de estudio: Fibras de Bagazo de Agave tequilana como Agente de Refuerzo para el Biopolímero*.

36 García, B. (2008). Comenta en el libro: *Ecodiseño "Nueva herramienta para la sustentabilidad"*.

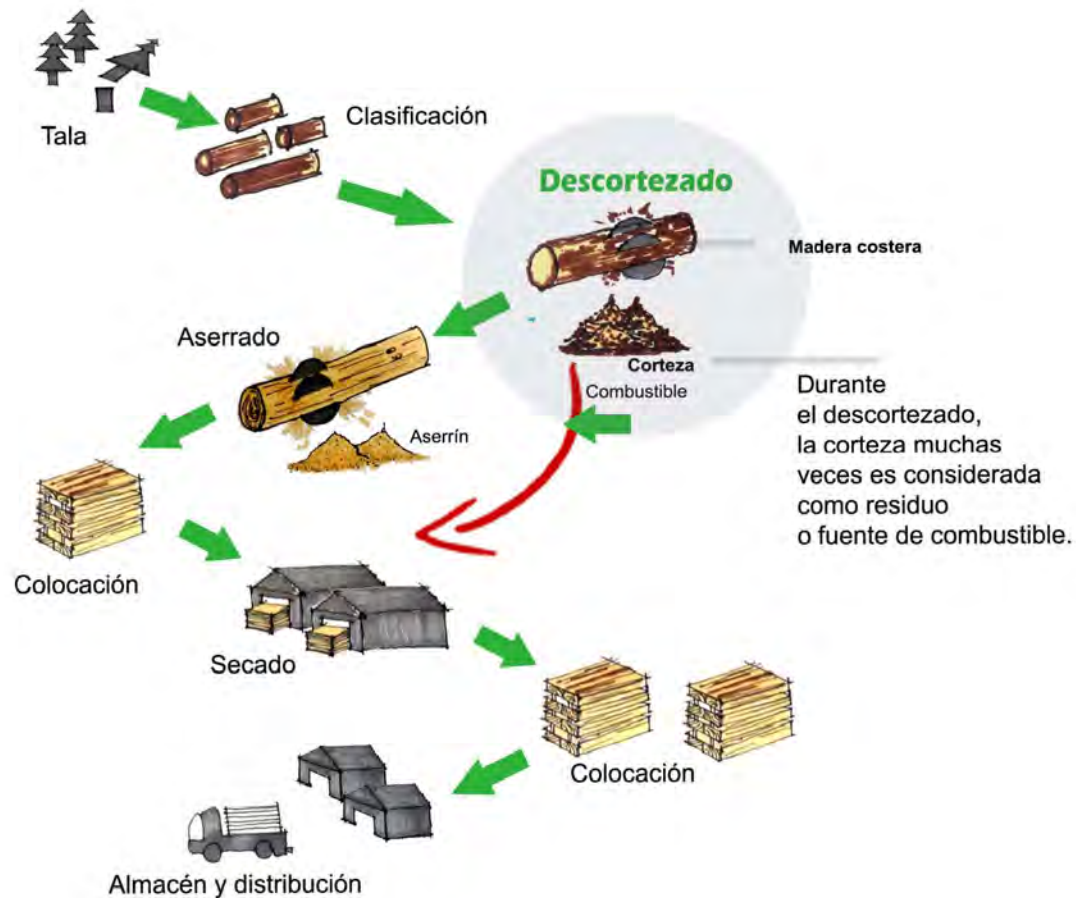


Imagen. 17. Proceso de transformación de la madera. Generación de corteza. Elaboración propia, 2015

Con lo mencionado anteriormente, la madera utilizada adecuadamente, es un material con propiedades sorprendentes para su uso en el diseño de productos y sobretodo en la construcción, por su aislamiento térmico, su ligereza y buen comportamiento estructural.

La madera se presenta como un material sustentable en otros países, se aprecia por ser un material que influye de forma positiva en el comportamiento de las personas, por lo tanto contribuye en la generación de espacios habitables.

Sin embargo en México ante problemáticas políticas, ejidales, culturales y económicas, el aprovechamiento eficiente de la madera no se presenta al 100 %. Por el momento no se puede cambiar de forma inmediata esta situación, pero como arquitectos podemos empezar a contribuir en el correcto aprovechamiento de los productos maderables, conociendo sus propiedades, trabajando de forma eficiente y reciclándolos para aumentar la vida útil de estos.



Imagen. 18. Residuo de Corteza en Aserradero. Fotografía, Fotografía propia, 2015

[CAPÍTULO 2]

Aprovechamiento residual en la industria
maderera para formar materiales compuestos

2.1 RESIDUOS

(Green Pace México, 2016), informa que en México se producen cada día más de 100 toneladas de basura doméstica en México, equivalente a cerca de 37 millones de toneladas anuales de residuos sólidos urbanos vertidos cada año en rellenos sanitarios, basurales o vertederos. La gestión de los residuos se ha centrado en un único aspecto: su eliminación a través de tiraderos, rellenos sanitarios e incineradores, escondiendo el problema sin resolverlo, generando graves impactos ambientales y daños en la salud de las personas, además de impactos paisajísticos³⁷.

Los residuos se definen en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) como aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso y que se contienen en recipientes o depósitos; pueden ser susceptibles de ser valorizados o requieren sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la misma Ley (DOF, 2003). La presente gráfica, muestra los porcentajes de residuos en México. En primer lugar encontramos a los materiales orgánicos, seguidos por papel, otros residuos y plásticos.



Imagen. 19. Residuos en México. Fuente: Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol., México, 2012. Elaboración propia, 2015.

Actualmente en la industria de la construcción se buscan alternativas para la fabricación de materiales con menor impacto ambiental. El aprovechamiento de los residuos industriales y reciclaje de plásticos se presenta como una opción. Los residuos son problemática mundial, como menciona

37 Green Pace México. (2016). *Basura cero*. Consultado el 21 de Marzo del 2016 de <http://www.greenpeace.org/mexico/es/Campanas/Toxicos/basura-cero/>

la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2013) en uno de sus informes, la eliminación de los desechos todavía deja mucho que desear, la tasa de producción de desechos de los países desarrollados y de los países en desarrollo aumenta a un ritmo sin precedentes³⁸. Es necesario valorar los residuos y el impacto negativo que generan en el medio ambiente, como se menciona *“los residuos no son simples residuos, todos los sistemas biológicos producen residuos, pero el residuo de un sistema puede ser valioso para otro”* (Janis Birkeland, 2002)³⁹.



Imagen. 20. Basura . Consultada el 06 de Septiembre del 2016 de <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/la-basura-que-flota-en-nuestros-ocanos>

38 Naciones Unidas. (2011). *Desarrollo sostenible de los asentamientos humanos y gestión ecológicamente racional de los desechos sólidos*.

39 *Design for Sustainability A Sourcebook of Integrated Eco-logical Solutions*.

Por otra parte, el aserrín y la corteza resultan desechos de la industria de la transformación primaria de la madera. *“En el mundo se desarrollan cada día nuevas tecnologías para dar un uso racional a estos residuos, que además contribuyen con su acumulación a la contaminación del entorno”* (Álvarez, 2011)⁴⁰.

2.2 CORTEZA; BIOMASA RESIDUAL

La corteza es considerada biomasa residual en los aserraderos. La Real Academia Española, define biomasa, f. Biol. Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. La biomasa forestal primaria, desde el punto de vista de su origen, es un recurso más del monte, indisoluble del resto de aprovechamientos forestales⁴¹.

En el caso de la biomasa existen otros beneficios como propiciar el desarrollo rural y proporcionar el tratamiento adecuado de residuos, en algunos casos contaminantes, o gestionar los residuos procedentes de podas y limpiezas de bosques limitando la propagación de incendios.

La situación por la que actualmente atraviesa México, ha originado un gran número de cambios de índole ambiental y económica principalmente. Se requiere de una tecnología tendiente a simplificar los sistemas de obtención

40 *Aprovechando los residuos madereros*.

41 Gobierno del Principado de Asturias. (2011). *Estrategia regional de aprovechamiento sostenible de la biomasa forestal*.

de productos con la finalidad de mejorar la situación de las familias a través del uso racional y la conservación de los recursos existentes en las comunidades rurales⁴².

2.2.1 Aprovechamiento de la corteza en aserraderos

La enciclopedia Barsa, define a la corteza como la parte exterior de la parte leñosa del tallo o de la raíz de los árboles y otras plantas. La corteza de los árboles es fácil de distinguir y puede separarse sin dificultad del cuerpo leñoso interior. Una de las funciones principales de la corteza de los árboles y los arbustos es la protección que ofrece a las estructuras interiores más delicadas: evita que éstas se dessequen y las defiende contra accidentes externos. Con una corteza gruesa defiende el árbol la humedad que contiene en su interior⁴³.



Imagen. 21. Corteza de Pino Patula. Fotografía propia, 2015.

En la industria forestal, la corteza, suele considerarse como residuo. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1991) menciona que la corteza es un residuo del proceso del aserrío, a lo largo de los años, muchos aserraderos han considerado los residuos de madera como un subproducto engorroso de la operación de aserrío, con su consiguiente eliminación para relleno de terrenos o incinerándolos en quemadores⁴⁴.

Actualmente el aprovechamiento de la corteza, se ha generado para la producción de calor para el secado de la madera. Aldo Ballerini, Dr. en Tecnología de la Madera y vicerrector de la Universidad del Bío-Bío en Chile, comenta que *“Cualquier otro uso que se le pueda dar a la corteza, es mejor que usarla como combustible en el secado de la madera”* (Ballerini, 2015)⁴⁵.

Otro uso que se le da a la corteza es como abono. Ante estos dos usos que se le da a este residuo, se puede replantear su uso como un nuevo producto que aumente calidad de vida en personas, tanto como del que produce como del que consume.

“Debemos partir de la base de que todo residuo es potencialmente aprovechable simplemente por el hecho de que sea portador de materia y energía, las cuales son siempre por definición valiosas. No existen otras limitaciones

42 López ,J. Ramón, S. *Cuantificación de taninos condensados de corteza y madera en la especie sangre de drago (Jatropha dioica)*

43 Enciclopedia BARSÁ. (1980). de consulta fácil. Tomo V.

44 Estudio FAO Montes 1991).93). Aprovechamiento Potencial De Los Residuos De Madera para la Producción de Energía.

45 Comunicación personal, Septiembre 2015 ,20).

a este concepto que las que se derivan de nuestra falta de voluntad, ingenio o capacidad tecnológica para efectuar el reprocesamiento” (Viñolas, 2005)⁴⁶.

La proporción de corteza en un árbol depende de la especie y el diámetro del árbol, sin embargo puede ocupar del 20 – 10 % del árbol (Sopp & Kolozs, 2000)⁴⁷, porcentaje que se puede aprovechar en lugar de quemar o descomponer.



Imagen. 22. Residuos de corteza y madera costera. Región Sierra Norte del estado de Oaxaca. Fotografía propia, 2015.

2.2.2 Corteza para la construcción de hábitats

La Arquitectura Vernácula en lugares con aprovechamiento forestal como Canadá, desarrolló el uso de cortezas de árboles como recubrimiento exterior en viviendas y construcción de otros elementos para poder subsistir del medio ambiente que los rodeaba.

46 Viñolas, J. (2005). Diseño Ecológico.

47 SOPP, L. & KOLOZS, L. (2000): Fatömeg-számítási táblázatok [Wood volume tables]. Budapest: Állami Erdészeti Szolgálat.



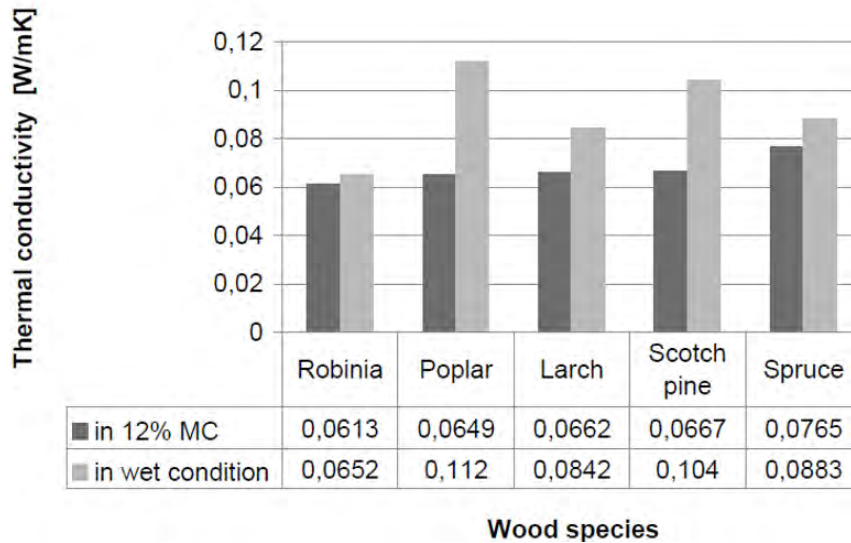
Imagen. 22 . Vivienda vernácula con cubierta de corteza de abedul. Canadian Museum of History. Fotografía propia, 2015.

En la Actualidad el uso de la corteza no es usual, sin embargo empresas e investigaciones con visión en formar parte de un cambio sustentable estudian las opciones de aprovechar la corteza residual de la industria forestal.

La Universidad de West Hungary, Hungary (Pásztor & Ronyecz, 2013), realizó un estudio: La Capacidad de Aislamiento Térmico de la Corteza de Árboles. En este artículo se menciona que hoy en día se pone cada vez más énfasis en la mejora de la calidad de los diferentes materiales de aislamiento y en el desarrollo de tales a partir de materiales de origen natural. La investigación se centra en la capacidad de aislamiento térmico de la corteza de astillas de madera de especies frondosas y coníferas. Se examinó la corteza de cinco especies de árboles: algarrobo negro, un clon de álamo, el alerce, el abeto, y pino silvestre⁴⁸. Se compararon sus características de aislamiento con aislantes utilizados

48 Pásztor. Z & Ronyecz. I (2013). *Investigación de la Universidad de Hungary, Hungary.*

tradicionalmente. Los resultados indican que la capacidad de aislamiento térmico de corteza de árbol es comparable a materiales de aislamiento, tales como lana de vidrio⁴⁹.



Gráfica. 01. Comparación de conductividad térmica entre especies de corteza. Fuente: Pásztor. Z & Ronyecz. (2013). The Thermal Insulation Capacity of Tree Bark. University of West Hungary, Hungary.

2.2.3 Materiales de corteza.

Por otro lado, “Barksink” (piel de corteza) es un material de corteza orgánica, machacado a mano que viene en varios colores naturales y de diseño. Su uso es decorativo como recubrimientos en muros y muebles⁵⁰.

Bark House⁵¹ es una empresa que aprovecha la corteza de los árboles, es un revestimiento artesanal, usado en interiores y exteriores. Esta empresa fue fundada por nativos de Carolina del Norte, EUA. Se inspiraron en la naturaleza, su trabajo se produce con madera de los residuos Apalaches. Con una nueva industria, se crearon empleos que se ajustan tanto a la cultura y la economía de esta comunidad. Este material tiene certificación FSC y Cradle to Cradle⁵² Oro para uso interior y exterior. La empresa tiene un estándar de alta calidad que se basa en tres elementos fundamentales: proceso, producto, y propósito.

49 (Op.cit)

50 Architecture Open Library. (2016). *Materials Innovation & Design*

51 Material Bark House. (2016)

52 Cradle to Cradle Certification. Instituto de Innovación en productos

2.3 MATERIAL COMPUESTO

El uso del plástico como materia prima ha experimentado un crecimiento cada vez mayor desde el comienzo del siglo XXI. De todos los tipos de plástico, más del 80 % son termoplásticos, el resto son termofijos. Un termoplástico se ablanda cuando se calienta y se endurece de nuevo cuando se enfría (Intraplás, 2015)⁵³, el polietileno de alta densidad (PEAD) es un plástico de este tipo.

Se comenta que las propiedades de algunos productos de residuos plásticos son similares a aquellos hechos con materiales vírgenes, con pruebas que indican sólo un ligero cambio en las propiedades mecánicas del polietileno reciclado (Jayaraman y Bhattacharyya, 2004)⁵⁴. Mencionando la problemática de los residuos, el plástico PEAD se recicla con facilidad y no pierde en gran manera sus propiedades, favoreciendo una alternativa para incrementar la recolección y gestión de residuos urbanos de HDPE para la producción de materiales compuestos.

(Mallick, 2007)⁵⁵ define a un material compuesto, como un material reforzado con fibras embebidas en una matriz en donde se formarán interfaces entre ellos. De esta forma

53 Intraplás 2015. *Plastic*.

54 Jayaraman, K & Bhattacharyya, D. (2004). *Mechanical performance of Wood fiber-waste plastic composite materials*

55 *Overview-Fiber reinforced composites materials manufacturing and design*.

la fibra y la matriz conservan sus propiedades físicas y químicas pero su combinación produce un material con propiedades mecánicas superiores a la simple suma de las propiedades de sus componentes por separado.

El polietileno de alta y baja densidad (PEAD y PEBD) ha sido de uso más extensivo en la producción de compuestos madera- polímero (Youngquist, 1999)⁵⁶.



Imagen. 23. Materiales compuestos de fibras naturales y plástico. Universidad del Bio-Bio, Chile. Fotografía propia, 2015.

2.3.1 Proceso de fabricación de materiales termoplásticos y fibras lignocelulósicas

El procesamiento de materiales termoplásticos y fibras lignocelulósicas, normalmente, es llevado a cabo por extrusión, donde los dos elementos son mezclados a temperaturas adecuadas, tanto para la matriz y fibra, seguido por una operación

56 *Wood-Based Composites and Panel products, in: Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*

de conformado (Nabi & Jog, 1999)⁵⁷.

El proceso de extrusión es la acción de forzar, por medio de presión, a pasar a través de un “dado” o “boquilla” un plástico o material fundido. El tipo de maquinaria que se emplea es el de tornillo doble o simple. Dentro de la máquina el polímero se funde y homogeniza. De igual forma, (Muñoz, F, 2013) menciona que los principios básicos de la extrusión son: 1) mezclar continuamente la materia prima en estado sólido y fundido; 2) fundir continuamente la mezcla y 3) homogenizar la materia prima térmica y físicamente.

Los parámetros tales como mezcla, velocidad (rpm) del tornillo de la extrusora, y la temperatura rigen las propiedades de los compuestos. De igual manera. Estos parámetros de procesamiento deben ser sujetos de acuerdo a la proporción fibra/polímero y características morfológicas de la fibra. (Migneault et al, 2008)⁵⁸ y (Zhang et al, 2008)⁵⁹, indican que una buena dispersión de las fibras en la matriz HDPE, un mezclado distributivo, una velocidad media del tornillo y lubricante son beneficiosos para mejorar la uniformidad, las propiedades mecánicas y acabado superficial de los materiales compuestos.

El moldeo por compresión se sujeta entre las patinas calientes de una prensa hidráulica. Se

coloca una cantidad preparada del compuesto de moldeo en el molde y el molde se coloca en la prensa. La prensa cierra con presión suficiente para evitar o minimizar la fuga del material. El compuesto se reblandece y fluye para amoldarse. La prensa se abre y se saca la pieza moldeada.

2.3.2 Productos de Polietileno HDPE

El polietileno (PE) es el plástico que se produce en mayor volumen en el mundo. Tiene relativamente una temperatura de fusión baja (106 y 130 °C). El punto de fusión bajo permite el uso de fibras de celulosa como material de relleno sin mucho riesgo significativo de degradación térmica. (Anatole, 2007)⁶⁰.

El criterio de clasificación más empleado es la densidad, según la tecnología que se emplee se pueden obtener dos tipos de polietileno: el de baja densidad (PEBD) y el de alta densidad (PEAD). Dentro de los productos fabricados con PEAD tenemos:

Bolsas para mercancía, bolsas para basura, botellas para leche y yogurt, cajas para transporte de botellas, envases para productos químicos, envases para jardinería, detergentes y limpiadores, frascos para productos cosméticos y capilares, recubrimientos de sobres para correo, sacos para comestibles, aislante de cable y alambre, contenedores de gasolina, entre otros.

El símbolo para identificar los productos de PEAD es:

57 Advances in Polymer Technology.

58 Effect of fiber length on processing and properties of extruded wood-fiber/HDPE composites.

59 Investigation on the uniformity of high-density polyethylene/Wood fiber composites

60 Anatole, A. (2007). *Wood and plastic composites*.



HDPE, PEAD Polietileno de alta densidad

Imagen. 24. Símbolo para identificar los productos de PEAD. Elaboración propia, 2015.

Se designa como HDPE (por sus siglas en inglés, High Density Polyethylene) o PEAD (polietileno de alta densidad). En los productos mencionados anteriormente lo podemos encontrar con estas siglas y marcados con el símbolo de reciclaje con el número dos.

2.4 MATERIAL COMPUESTO MADERA - PLÁSTICO

La madera tecnológica WPC (Wood Plastic Composite) es un compuesto mezcla de madera y plástico totalmente reciclable.

SCT-STRAW en colaboración con ecotek wpc es pionera en España en la fabricación de madera tecnológica por extrusión. La madera utilizada para la fabricación de la madera tecnológica es subproducto de las aserradoras, por lo tanto no se talan árboles para su producción, el plástico también puede ser reciclado. Hay muchas composiciones posibles en base a los productos

mezclados. Las más habituales son mezclas 70 % de madera 30 % plástico, 80 - 20 y 50-50. En cuanto a los plásticos utilizados normalmente son; polietileno, polipropileno y cloruro de polivinil. Dependiendo del que se utilice se obtendrá un tipo de madera tecnológica con un aspecto y unas propiedades mecánicas características. La madera tecnológica es totalmente reciclable. Una vez acabada su vida útil en una aplicación en concreto puede ser reutilizada como materia prima para cualquier nueva aplicación⁶¹. El crecimiento de este tipo de materiales ha sido mucho mayor en Estados Unidos y Europa en donde actualmente el mercado supera las 600000 ton/año. (Morton, 2005).

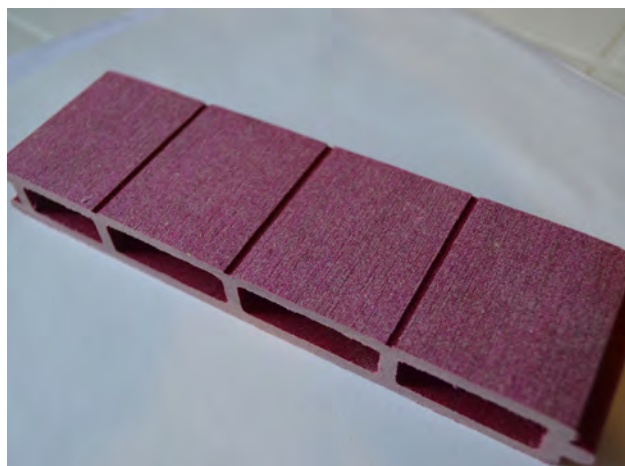


Imagen. 25. Muestra de compuesto de madera y plástico. Fotografía propia, 2015.

El éxito comercial de estos materiales emergentes se debe en gran medida a mejorar la resistencia de la humedad en la madera, el incremento del reciclado de residuos y la utilización del material⁶².

61 WPC. Siglas en inglés del compuestos madera/plástico

62 A Technology Review for Wood Plastic Composites. International 33rd Particleboard/Composite Materials Symposium Proceedings.

2.4.1 Uso de materiales compuestos madera/plástico en arquitectura

El uso de materiales compuesto de madera /plástico, busca mejorar propiedades de madera y aprovechar todos los productos maderables de los árboles. En México se empieza a investigar la fabricación de estos compuestos. Los Compuestos de madera o de plástico WPC - la combinación de madera y plástico - están ganando popularidad mundial como un material seguro y ambientalmente sostenible. WPC ofrecen una amplia gama de ventajas sobre otras alternativas como la madera tratada a presión, resistencia a la intemperie, larga vida útil y menor mantenimiento. Estos productos también juegan un papel en el desarrollo de un futuro más sostenible: muchos WPC utilizan plástico reciclado y madera como materia prima en el proceso de fabricación.

En Japón EINWOOD⁶³, empresa que fabrica WPC, menciona que en su país, hay un sinnúmero de parques y jardines con características arquitectónicas hechas de un material compuesto de madera plástica.

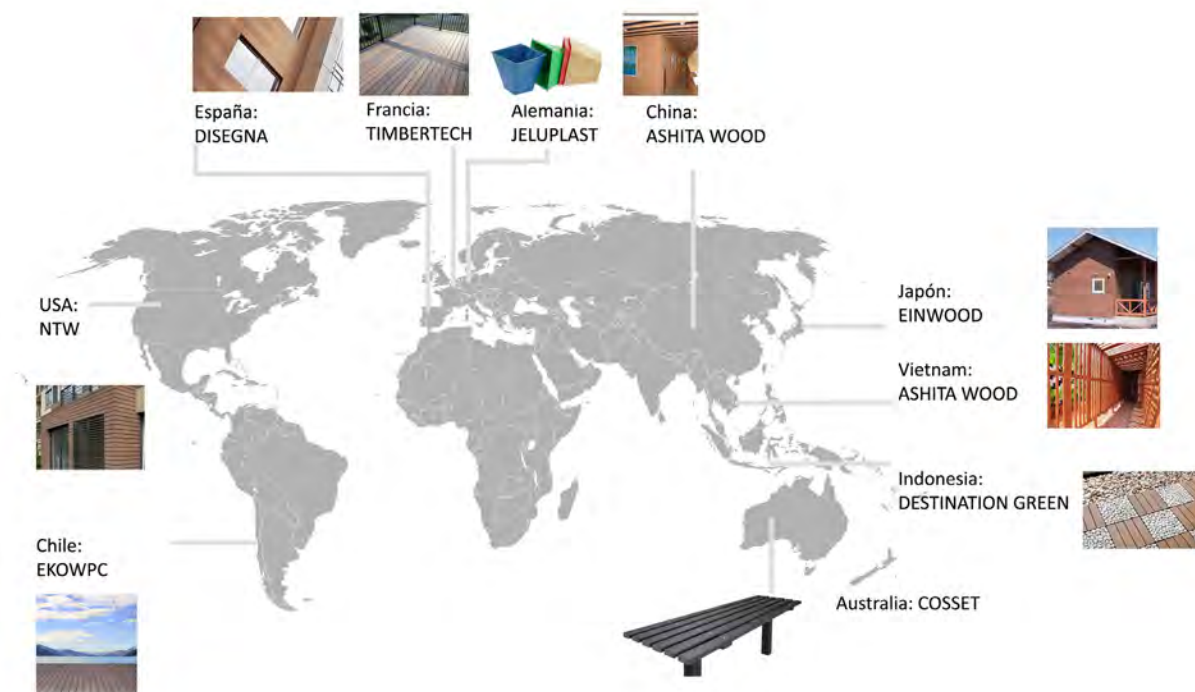


Imagen. 26. Empresas fabricantes de materiales arquitectónicos compuestos de madera/plástico. Elaboración propia, 2015.

63 EINWOOD. *Wood Plastic composite*. WPC corporation.

La mayoría de las construcciones al aire libre ahora hacen uso de este material diseñado y producido en el más puro respeto por las tradiciones japonesas. La arquitectura emplea estos productos como elementos exteriores con las siguientes ventajas:

- Fácil instalación
- Resistente para exteriores (lluvia, nieve, frío, calor)
- No necesita mantenimiento ni conservación tipo: Aceites , Barnices, Ceras
- Mantendrá la superficie completamente limpia, simplemente con aplicar agua
- No produce astillas ni grietas
- Además el WPC es totalmente reciclable

2.5 MATERIAL COMPUESTO CORTEZA/PLÁSTICO

Los compuestos madera plástico pueden ser la base de estudio para investigaciones de corteza plástico, sin embargo se tiene que estudiar a fondo las propiedades de la corteza, para conocer sus propiedades físicas, mecánicas y químicas.

Aunque varios materiales naturales y renovables de fibras tales como bambú, paja, yute, trigo y soja se utilizan en la industria de

fibras / materiales compuestos de plástico⁶⁴, el uso de la corteza como material de relleno termoplástico aún sigue en evaluación , en el mercado no se encuentra un producto en venta.

Algunas investigaciones del uso de corteza han sido las del Dr. Martin Claude Ngueho Yemele, quien ha publicado trabajos sobre el comportamiento de materiales compuestos de corteza/plástico, principalmente el uso de corteza de álamo y abeto. En sus publicaciones comenta, en comparación con los compuestos de harina de madera, la corteza mostro menor resistencia.

Otro estudio se realizó en Chile por el Dr. (Fredy M, 2013)⁶⁵, menciona las posibilidades del uso de corteza de *Eucalyptus nitens* en un elemento híbrido de corteza / plástico y madera.

Finalmente se obtuvo un producto de ingeniería con características mecánicas adecuadas que permiten su aplicación en puertas, ventanas, cubiertas, pisos, terrazas, muebles para jardín, componentes no estructurales, entre algunas otras aplicaciones.

Los resultados se mostraron en su tema de investigación de doctorado y conferencias.

64 Yemele, N., Koubaa A., Diouf N., Blanchet P., Cloutier A., Stevanovic T. (2008). Effects of hot water treatment of black spruce and trembling aspen bark raw material on the physical and mechanical properties of bark particleboard. *Wood FiberSci*, 51–339:(3)40.

65 Muñoz, F. (2013). Comenta en su tesis; *Diseño y Caracterización de un material Híbrido en base a fibras lignocelulósicas de la corteza de Eucalyptus nitens como un elemento constructivo*

2.6 RECICLAJE DE POLIETILENO (PEAD)

El presidente de la Asociación Nacional de Industrias del Plástico (ANIPAC), Eduardo Martínez Hernández, informó que en el 2011 México genera 3.8 millones de toneladas de basura plástica al año, lo que representa un negocio sustentable tanto para los gobiernos federal, estatales y municipales, así como para la sociedad y las propias empresas que participan activamente en la industria del plástico⁶⁶.

Ante la problemática que generan estos residuos en el medio ambiente se busca la mejor forma de recuperarlos. En comparación con tratamientos de vertedero, incineración, valorización energética y reciclado mecánico. (Salcedo, 2015) menciona que el tratamiento que reduce el impacto de consumo energético en todo el sistema es el reciclado mecánico que se realiza a partir de la recolección de las botellas que se encuentran en los vertederos y las separadas por escuelas o institutos que tiene programas de separación de basura, los cuales entregan el material a la empresa encargada de reciclarlas. A pesar del gasto superior de agua y emisiones de algunos residuos minerales en comparación con los otros tratamientos, el reciclado es la mejor opción, ya que vuelve el producto a ser utilizado, es decir, larga la vida de las botellas de PEAD, convirtiéndose en otros

productos⁶⁷.

La generación de residuos es un problema al que nos enfrentamos, sin embargo, podemos aprovecharlos para generar nuevos productos. En otros países, se ve un avance superior en el manejo de residuos, los compuestos maderaplástico se producen de los residuos de la industria maderera, logrando un material con potencial en su uso en exteriores. De igual forma investigadores analizan la posibilidad de usar otros materiales con fibras naturales y plástico, la corteza de árboles se presenta como una opción en nuestro país, por la existencia de regiones forestales cuya producción genera corteza. En el siguiente capítulo se presenta el método para fabricar este material propuesto.

66 García, J. (2011). *México genera 3.8 millones de toneladas de basura plástica al año*.

67 Salcedo, O. (2015). Comenta en su tesis: *Madera plástica de PEAD (Polietileno de alta densidad) Reciclado como material estructural*.



Imagen. 27. Material compuesto corteza/plástico. Fotografía propia, 2015.

[CAPÍTULO 3]

“Caso de estudio; Elaboración de un Material
Compuesto Corteza de Pino- Plástico reciclado

Actualmente los materiales ecológicos más tradicionales se combinan con otros modernos y de alta tecnología. También hoy en día se utilizan junto a estos, materiales ecológicos elaborados a partir de escombros y residuos industriales

(PROMÉXICO, 2014) ⁶⁸.

El material estudiado, es una alternativa que a largo plazo contribuirá a aprovechar los residuos y la venta de materiales para la construcción con menor impacto ambiental. La fabricación del compuesto se realizó en el Centro de Nanotecnología y Biomateriales (CBN) de la Universidad del Bío-Bío Chile, al ser una institución enfocada en el aprovechamiento maderero y el surgimiento de nuevos materiales compuestos madera/plástico. Se evaluó proporciones 70 / 30 ,50 / 50 y 80/ 20. de un compuesto fabricado con corteza de *Pinus radiata* y polietileno reciclado de alta densidad (PEAD).

El objetivo fue evaluar en los compuestos ensayos de conductividad térmica (según la norma chilena NCH 853 y la NOM-018-ENER2011- de México), hinchazón (UNE-EN_1994 317) y deterioro acelerado (ASTM G154). El ensayo de conductividad térmica e hinchazón se realizó en laboratorios de la Universidad del Bío-Bío y el ensayo de deterioro en la cámara ubicada en el Laboratorio de Conservación del Patrimonio Natural y Cultural del programa de maestría y doctorado en arquitectura de la UNAM. Los compuestos se realizaron por el proceso de extrusión y prensado hidráulico sin aditivos, lubricantes y agentes químicos.

Finalmente el material presento baja conductividad térmica y resistencia al deteriorado por humedad, propiedades físicas favorables para la fabricación de envolventes arquitectónicas.

68 PROMÉXICO. (2014). *LOS MATERIALES ECOLÓGICOS SON ESENCIALES PARA FOMENTAR LA ARQUITECTURA SUSTENTABLE EN MÉXICO*

3.1 MÉTODO DE EXPERIMENTACIÓN.

La estrategia experimental estuvo organizada de la siguiente manera:

- Recolección de materiales: Corteza y plástico reciclado (PEAD) en forma de pellets
- Preliminares: Limpieza, secado, molienda y tamizado del material de corteza.
- Elaboración del material compuesto con corteza y PEAD
- Elaboración de muestras
- Pruebas de caracterización: Conductividad térmica, hinchazón, absorción y envejecimiento.

Al no encontrar un antecedente directo del uso de corteza de pino y PEAD, se consideró pertinente llevar a cabo la elaboración del material sin aplicar de manera inicial ningún aditivo, del cual se podrá partir para realizar un estudio de la afectación o mejora al momento de introducir lubricantes o aditivos en futuras fabricaciones de probetas.

3.1.1 Materiales

La corteza utilizada en esta etapa fue de *Pinus radiata* procedente de Chile. Se escogió este tipo de pino por ser una especie originaria del sur de USA y norte de México. Esta conífera presenta propiedades similares a otros pinos

existentes en México.

Ficha técnica:

-Familia: *Pinaceae*

-Nombre Científico: *Pinus radiata* D. Don

-Nombre Común: Pino

-Nombres comunes relacionados: Pino insigne, Pino de Monterrey

-De fácil trabajabilidad, presenta defectos muy leves en el cepillado y moldurado

La Corteza de *Pinus radiata* de Chile, fue donada por un aserradero de la región del Bío Bío, cerca de la ciudad de Concepción. Se obtuvo a partir de residuos del proceso de descortezado de la troza. La corteza interna tiene una densidad mayor que la corteza externa, lo cual puede deberse a que está formada por células vivas y a la presencia de sustancias alimenticias (Cassens, 1974)⁶⁹. De igual forma, la parte interna de la corteza es la zona que contiene más células fibrosas. Esto se pudo comprobar por medio de una microscopía electrónica de barrido (SEM). (Ver imágenes en la siguiente página). En cuanto al **Plástico reciclado: El polietileno de alta densidad (PEAD)** corresponde a un termoplástico proveniente de residuos de una fábrica de bolsas plásticas con tres ciclos de extrusión de la empresa "Plásticos Besalle" de Concepción, Chile. Fue proporcionado por la Universidad del Bío-Bío, presenta forma de pellets. La densidad de este plástico es de 23 °C: 950 Kg/m₃.

69 CASSENS, D. (1974). «Bark properties of eight westernsoftwoods».

Propiedad	Prom	Mín	Máx
Densidad (kg/m ³)	463	405	495
PH	3.94	3.62	4.18

Tabla. 01. Densidad y pH de la corteza. Fuente: Poblete, H & Sánchez, J. Tableros con corteza de Pinus radiata.

Composición	%
HDPE Virgen	73%
Carbonato de Calcio	14.60%
Masterbach	3.50%
Polietileno Lineal	8.80%

Tabla. 02. Composición del PEAD utilizado.



Imagen. 28. Microscopía realizada a la corteza de Pino Radiata. Con el objetivo de analizar el contenido de sus células fibrosas.



Imagen. 29. Microscopía realizada a la corteza externa de Pino Radiata. Con el objetivo de analizar el contenido de sus células fibrosas.

Este plástico es recomendado para el proceso de extrusión. Sus recomendaciones de procesamiento son las siguientes: Temperatura de fusión: 200 - 225 °C y rebaba: 3-5.

Equipo empleado:

- Báscula 16 kg
- Termo-balanza Precisa XM60
- Extrusora Milacron TC35- de doble tornillo cónico rotativo de 35 mm
- Molino de cuchillas Ming Lee
- Prensa hidráulica DUMONT CHILE 250 Ton.
- Marcos metálicos para probeta de 30 x 30 x 1 cm
- Estufa: Marca WTC Binder. Capacidad 3.1 m³. Temperatura -0 °300C, HR %0 a %100
- Pie de metro digital: Marca Mitutoyo. Precisión 0.001 mm
- Máquina Instron: Capacidad 50 KN
- Láminas de acero inoxidable de 40 x 40 cm



Imagen. Estufa



Imagen. Tamizadora



Imagen. Prensa



Imagen. Marcos



Imagen. Molino



Imagen. Báscula



Imagen. Escuadradora



Imagen. Pie de metro

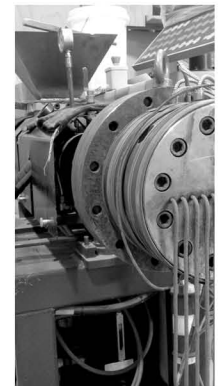


Imagen. Extrusora

Imagen. 30. Equipo empleado. Fotografías propias, 2015.

3.1.2 Preparación de materia prima

La corteza al ser residuo se presentó húmeda y con tierra, por lo tanto fue necesario seleccionarla, secarla, limpiarla, molerla, tamizarla y secarla hasta alcanzar un CH del 3 %.

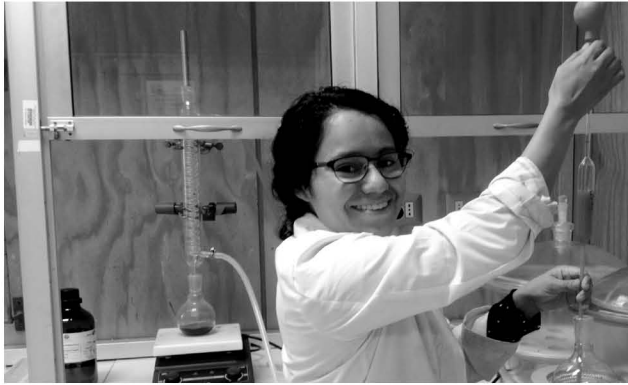


Imagen. Caracterización



Imagen. Selección



Imagen. Limpieza



Imagen. Secado



Imagen. Molienda



Imagen. Tamizado

Imagen. 31. Preparación de materia prima. Fotografías propias, 2015.

Una vez tamizado el material se separó por granulometría y posteriormente se secó en estufa de secado. Las cantidades tamizadas se presentan en la siguiente tabla.

No. de granulometría (mesh)	Corteza en partículas (Kg)
40	11.2264
60	0.8025
100	0.9096
Partículas menores de 100	0.2
TOTAL	13.1385

Tabla. 03. Cantidad de partículas de corteza obtenida. Elaboración propia, 2015.

Como se informa en la tabla 03, la corteza, en total fue de 13.1385 kg, de los cuales el rendimiento más alto fue el de la granulometría de 40 mesh, obteniendo 11.2264 kg. Por lo tanto, esta granulometría es la que se trabajó en las pruebas, variando la proporción corteza / PEAD.

3.1.3 Preparación de compuestos

Se realizaron tres compuestos en la extrusora, utilizando corteza / PEAD, las proporciones fueron :

50 / 50

70 / 30

80 / 20

Cada preparación se realizó de 3 Kg, obteniendo

PRUEBAS:		PORCENTAJES		CANTIDADES		
PREPARACIÓN CORTEZA/ HDPE REICLADO	2 PROBETAS A FABRICAR (m ²)	CORTEZA 40 MESH	POLIETILENO REICLADO (HDPE) EN PELLETS	TOTAL (Kg)	CORTEZA (kg)	POLIETILENO REICLADO (PEAD) EN PELLETS (Kg)
50 / 50	0.30 X 0.30 X 0.01	50	50	3	1.5	1.5
70 / 30	0.30 X 0.30 X 0.01	70	30	3	2.1	0.9
80 / 20	0.30 X 0.30 X 0.01	80	20	3	2.4	0.6
CANTIDAD DE MATERIALES					6	3

Tabla. 04. Cantidades de material para fabricar compuesto por proceso de extrusión. Elaboración propia, 2015.

dos muestras solicitadas en el Centro de Investigación en Tecnología de la construcción (CITEC) de la UBB para el análisis de conductividad térmica. Las cantidades se presentan en la tabla 04. Cada compuesto se realizó por el proceso de extrusión y posteriormente por prensado.

Fabricación por Extrusión

Especificaciones de extrusora:

- Temperatura: 200 °C
- Velocidad de cabezal: 5 rpm

El primer paso fue realizar la mezcla de los dos materiales a mano durante 10 minutos, después la mezcla se depositó en la tolva de la extrusora. Se ocupó un cabezal de tipo pellets. Posteriormente el material formado por la extrusora fue fraccionado y procesado en un molino de cuchillas Ming Lee, el producto fue secado a estufa a 60 °C hasta obtener un contenido de humedad de 2.5 %; el contenido de humedad fue determinado por una termo-balanza. El proceso se muestra en las siguientes imágenes

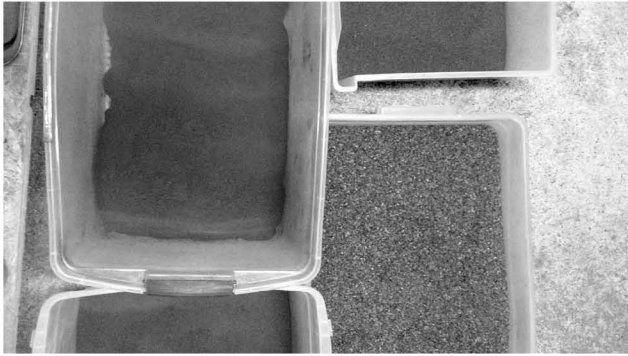


Imagen. Selección de granulometría de corteza

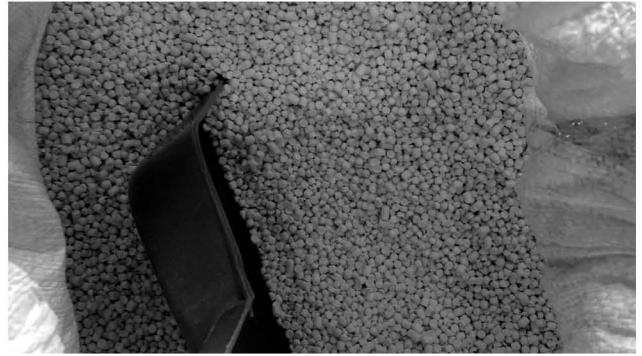


Imagen. PEAD Reciclado

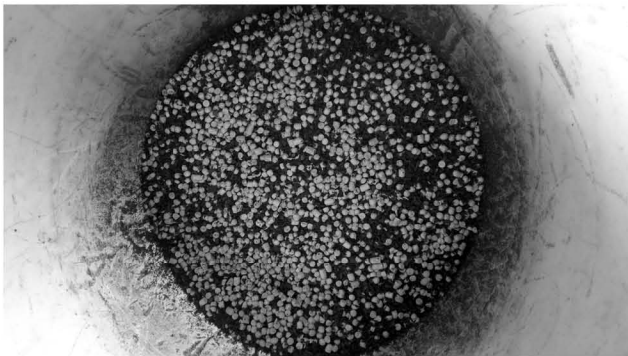


Imagen. Mezclado



Imagen. Colocación en tolva de extrusora

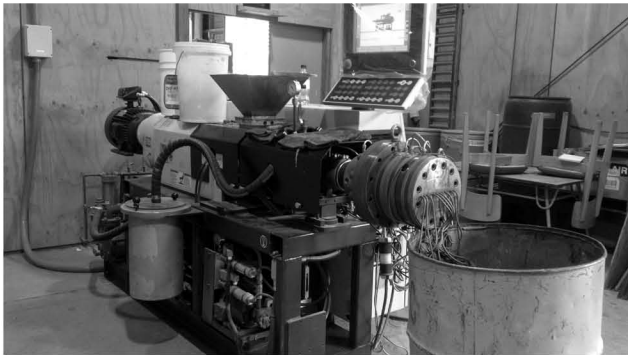


Imagen. Proceso de extrusión

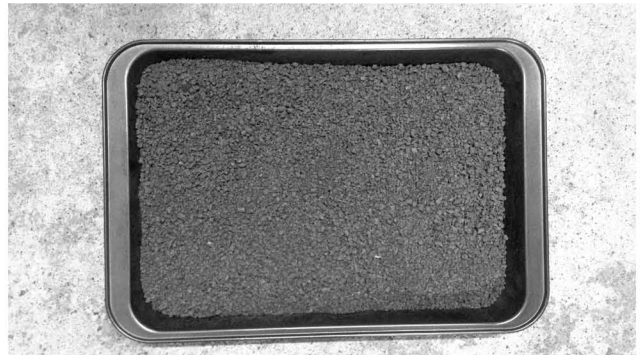


Imagen. Material en forma de pellets

Imagen. 31. Proceso de extrusión. Fotografías, propias, 2015.

Fabricación por Prensado

Posteriormente los pellets fueron colocados en un marco metálico con las medidas de la probeta de 30 x 30 x 1 cm y dos láminas de acero inoxidable (cumplen la función de contener el material para que no se salga del marco

metálico). Es importante señalar que las láminas, sufrieron una deformación al momento de prensar, generando fuga del material contenido en el marco, por lo que es conveniente en futuras pruebas mejorar esta falla.

Se prensó a una temperatura de 180 ° C, el tiempo de prensado fue variado para analizar el comportamiento del material. De igual manera según el cálculo realizado, la masa del material necesaria para la probeta es de 0.82 kg para cubrir el volumen de 0.0009 m³.

Conociendo las cantidades necesarias, se decidió, variar las cantidades de masa para verificar el comportamiento del material durante el prensado. Los tiempos y cantidades se presentan a continuación:

Probeta			Masa inicial antes de prensado kg
A 1 y 2 50/50	15 minutos		0.8
B 1 y 2 70/30	30 minutos		0.82
C 1 y 2 80/20	15 minutos		0.82

Tabla. 05. Tiempos y cantidades para el proceso de prensado. Elaboración propia, 2015.

El proceso de prensado se presenta en las siguientes imágenes:



Imagen. Pesado de material



Imagen. Prensado



Imagen. Colocación en en marcos



Imagen. Resultado

Imagen. 32. Proceso de prensado. Fotografías propias, 2015.

3.2 ENSAYOS Y RESULTADOS

3.2.1 Ensayo de Conductividad térmica.

Después de la fabricación, las 6 probetas se prepararon para el análisis de conductividad térmica en un conductímetro bajo la norma chilena NCH 853.



Imagen. 33. Probetas listas para análisis. Fotografía propia, 2015.



Imagen. 34. Conductímetro. Fotografía propia, 2015.

Los resultados del ensayo son los siguientes:

Probeta	Masa final después de prensado kg/m ³	Densidad (kg)	Volumen (m ³)	Conductividad térmica (W/m K)
A 1 y 2 50/50	0.669	719	0.00093	0.186
B 1 y 2 70/30	0.753	856	0.00088	0.197
C 1 y 2 80/20	0.765	860	0.00089	0.198

Tabla. 06. Resultados de ensayo de conductividad térmica. Elaboración propia, 2015.

La masa final, disminuyó al momento del prensado, ya que parte del material se salió del molde. A esto, se presentó una variable no controlada durante el proceso de prensado (deformación de las placas de acero), por lo consecuente, la masa final varía en comparación de la masa inicial.

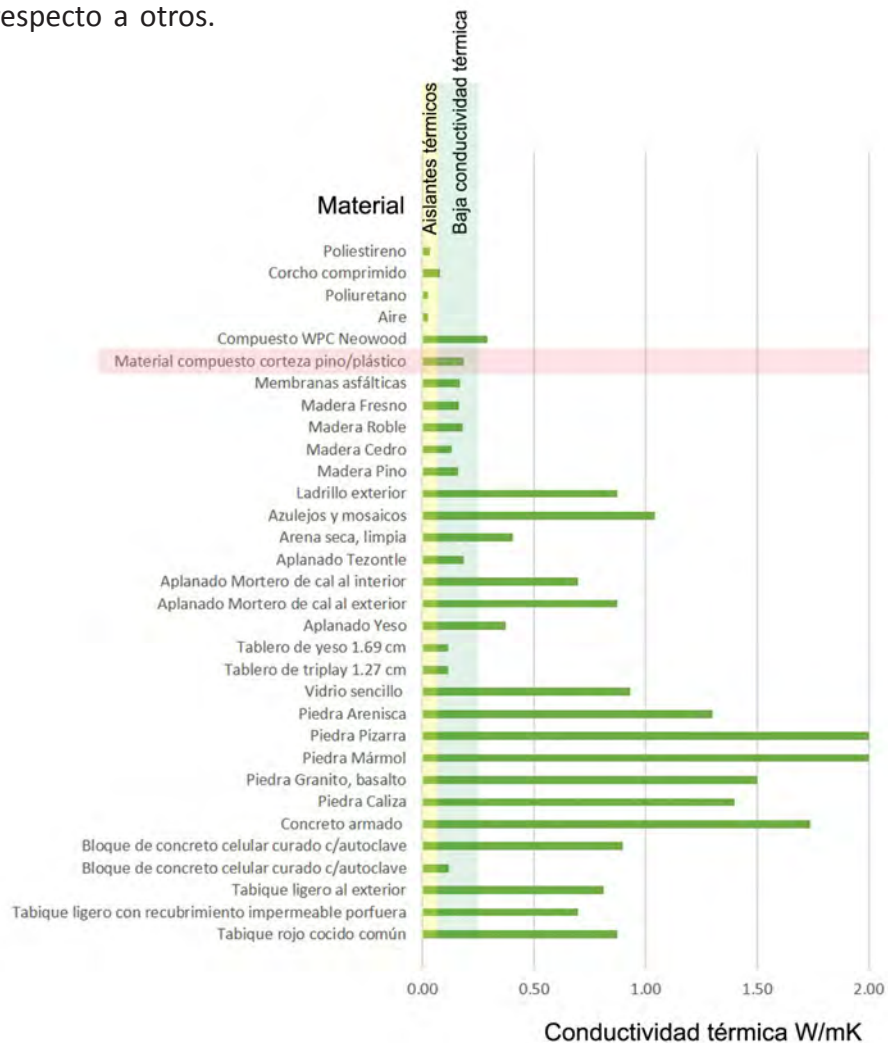
Como se mencionó anteriormente, la masa inicial vario entre 0.80 a 0.82 kg, el comportamiento final se determinó por la

densidad y la masa de las probetas.

La tabla, nos muestra, que todas las probetas se encuentran en un rango de **0.18 a 0.19 W/m K de conductividad térmica**, calculando una media obtenemos **0,185 W/m K**. Mientras más aumenta la densidad, mayor es la conductividad térmica.

Al usar un compuesto de fibras naturales /plástico como revestimiento o piso en interior, el funcionamiento térmico de la envolvente

se conoce a través del análisis térmico de un espacio, una parte de este es calcular el flujo global de transferencia de calor, a esto es necesario conocer la conductividad térmica de los materiales de la envolvente. Se realizó el ensayo de conductividad y se comparó el material fabricado con otros. Comparando con madera, la empresa Arauco⁷⁰, maneja un tablero terciado de Pino Radiata como revestimiento con espesor de 12 mm, el cual contribuye como aislante térmico, debido a su bajo coeficiente de conductividad térmica de 0.10 W/mK. De igual forma, comparado el material fabricado con un compuesto WPC, la empresa Neowood⁷¹ España presenta uno de sus perfiles de 23 mm de espesor con una conductividad térmica de 0.290 W/mK. Para tener una comparación respecto a otros materiales, se retomó de la NORMA Oficial Mexicana NOM-020-ENER2011- la conductividad térmica de varios materiales, al igual de fichas técnicas de materiales, los cuales muestran la ubicación del material corteza/PEAD con respecto a otros.



Gráfica. 02 .Comparativa de conductividad térmica de materiales. Elaboración propia, datos retomados de NORMA Oficial Mexicana NOM-020-ENER2011- y fichas técnicas.

Elaboración propia, 2015.

- 70 Revestimiento Araucoply. Empresa Maderera en Chile.
71 Neowood España

Material	Conductividad térmica W/mK	Densidad kg/m ³
Tabique rojo cocido común	0.87	2000
Tabique ligero con recubrimiento impermeable porfuera	0.70	1 600
Tabique ligero al exterior	0.81	1 600
Bloque de concreto celular curado c/autoclave	0.12	450
Bloque de concreto celular curado c/autoclave	0.90	500
Concreto armado	1.74	2 300
Piedra Caliza	1.40	2 180
Piedra Granito, basalto	1.50	2 600
Piedra Mármol	2.00	2 500
Piedra Pizarra	2.00	2 700
Piedra Arenisca	1.30	2 000
Vidrio sencillo	0.93	2 200
Tablero de triplay 1.27 cm	0.12	----
Tablero de yeso 1.69 cm	0.12	----
Aplanado Yeso	0.37	800
Aplanado Mortero de cal al exterior	0.87	----
Aplanado Mortero de cal al interior	0.70	----
Aplanado Tezontle	0.19	----
Arena seca, limpia	0.41	1 700
Azulejos y mosaicos	1.04	----
Ladrillo exterior	0.87	----
Madera Pino	0.16	663
Madera Cedro	0.13	505
Madera Roble	0.18	753
Madera Fresno	0.16	674
Membranas asfálticas	0.17	1 127
Material compuesto corteza pino/plástico	0.19	860
Compuesto WPC Neowood	0.29	100
Aire	0.03	1223
Poliuretano	0.03	30
Corcho comprimido	0.08	540
Poliestireno	0.04	50

Tabla 07. Conductividad térmica y densidad de materiales, datos retomados para la elaboración de la gráfica anterior de conductividad térmica. Fuente Norma NOM-020-ENER2011- y especificación de materiales consultados.

Ante estos datos, podemos decir que el material compuesto por corteza/ PEAD presenta una baja conductividad térmica.

Posteriormente a las pruebas de conductividad térmica, las probetas de 30 x 30 x 1 cm se cortaron para pruebas de hinchazón y absorción según las norma UNE-EN_317.



Imagen. 35. Corte de probetas por medio de una sierra escuadradora. Fotografía propia, 2015.

3.2.2 Prueba de hinchazón

El ensayo de hinchazón se realizó conforme la norma UNE-EN_317. Para esto se prepararon 4 probetas de las formulaciones fabricadas. La inmersión en agua se realizó durante un periodo de 24 hrs.

Se calculó el hinchamiento por medio de la fórmula:



Imagen. 36. Inmersión de probetas, según norma UNE-EN_317. Fotografía propia, 2015.

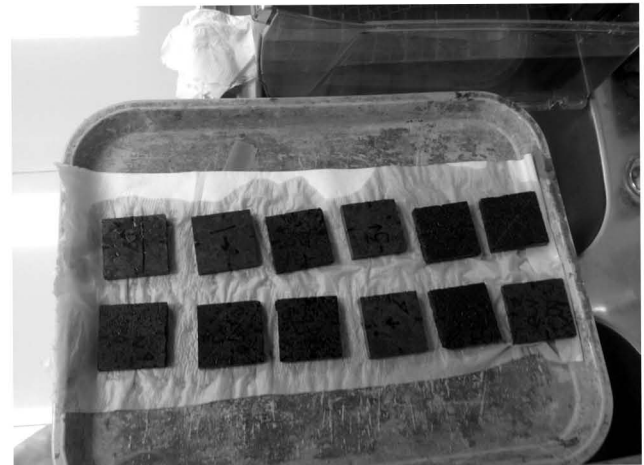


Imagen. 37. Probetas utilizadas para inmersión. Fotografía propia, 2015.

$$\text{Hinchazón} = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100$$

t_1 = espesor inicial

t_2 = espesor final

Los resultados detallados, se presentan en el (Anexo 2) del presente trabajo de investigación. Los resultados para cada probeta, fueron los siguientes:

Corteza / PEAD		
A 50/50	1.48	%
B 70/30	3.55	%
C 80/20	4.8	%

Tabla. 08. Resultados de ensayo de hinchazón. Elaboración propia, 2015.

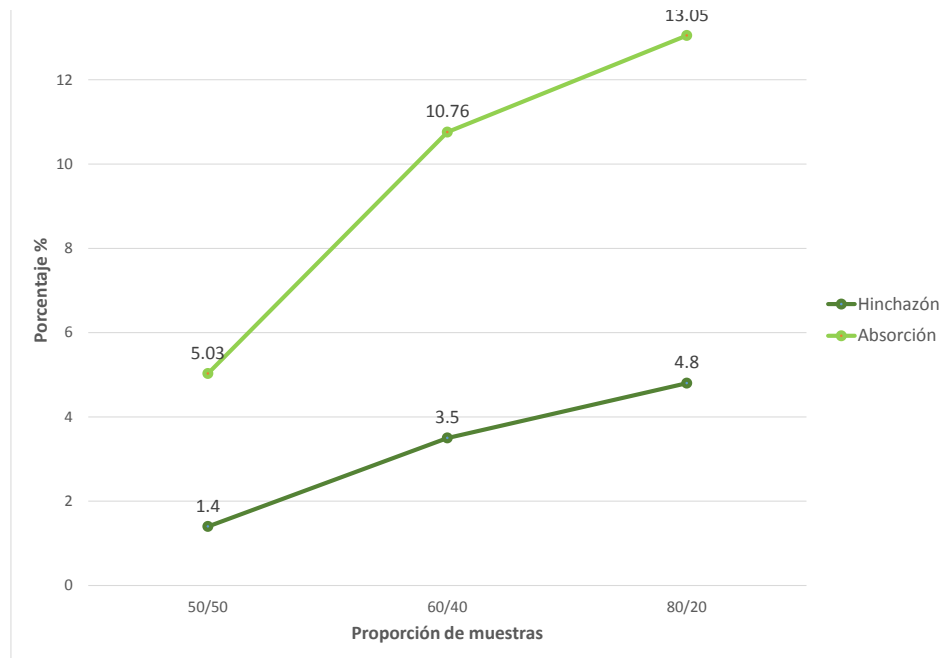
3.2.3 Prueba de absorción

Se pesó el contenido inicial de cada probeta, se realizó la inmersión en agua y después de 24 horas se volvió a pesar cada probeta, finalmente se determinó la absorción por medio de la fórmula:

% de Absorción de agua = masa húmeda - masa seca/ masa seca.

	Peso inicial g	Peso final g		
A 50/50				
A1	19.36	20.38	% Absorción de agua =	masa húmeda- masa seca x100
A2	19.26	20.18		masa seca
A3	18.71	19.77		
A4	18.78	19.61		
PROM	19.0275	19.985	% Absorción de agua =	5.03
B 70/30				
C1	20.51	22.71		
C2	21.61	24.1		
C3	20.53	22.48		
C4	20.12	22.39		
PROM	20.6925	22.92	% Absorción de agua =	10.76
C 80/20				
B1	21.21	23.88		
B2	20.27	22.98		
B3	20.95	23.53		
B4	20.64	23.52		
PROM	20.7675	23.4775	% Absorción de agua =	13.05

Tabla. 09. Resultado de ensayo de absorción. Elaboración propia, 2015.



Gráfica. 03. Comparación de ensayos de absorción e hinchazón. Elaboración propia, 2015.

El compuesto 50- 50 presenta menor hinchamiento y absorción en comparación con el 80- 20, esto se debe al aumento de plástico en el compuesto.

3.2.4 Costo

El siguiente cuadro, muestra el costo aproximado de la fabricación realizada del material.

Descripción del concepto	Unidad	Precio Unitario	Cantidad	Costo en peso (MXN)
Materias primas				
Corteza de Pino, limpia y molida	kg	10	1	10
Polietileno PEAD reciclado, molido en forma de pellets	kg	10	1	10
Costo de materias primas				20
Gastos directos de producción				
Gas	kg	2	1	2
Mano de obra (2 personas)	kg	12	2	24
Electricidad	kg	5	1	5
Agua	lt	2	1	2
Costos indirectos				33
COSTO POR KG DEL MATERIAL CORTEZA/PLÁSTICO				53

Tabla. 10. Desglose de costos de fabricación de muestras. Elaboración propia, 2015.

3.2.5 Análisis del cambio de color y resistencia a humedad por efecto de envejecimiento acelerado mediante rayos UV.

La siguiente prueba se realizó en el Laboratorio de Conservación del Patrimonio Natural y Cultural del programa de maestría y doctorado en arquitectura de la UNAM. (Ver en anexo IV).

Se elaboraron tres probetas del compuesto corteza/plástico, fueron cortadas con dimensiones de 12.5 x 5 x 0.5 cm. Para tener una comparativa con otros materiales, se elaboraron probetas con las mismas dimensiones de los siguientes materiales:

- Compuesto madera/plástico (Producto Designa)
- Madera de pino tratada con CCA (Madera tratada con Arseniato de Cobre Cromatado)
- Madera de Cumaru (*Dipteryx sp*)
- Madera de Cuchi (*Astronium urundeuva*)
- Triplay (Contrachapado de madera de pino)

Este envejecimiento acelerado mediante rayos UV, fue realizado usando como pauta la norma ASTM G154: (Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials). Las probetas se dejaron en envejecimiento durante un periodo de 240 hrs, tiempo dividido en ciclos de 12 h. Se repitió cada ciclo 10 veces.

Antes de meter las probetas a la cámara, se registró:

- % de humedad: Higrómetro Amprobe MT10-
- Coloración: Cámara fotográfica de un iPhone 4s y cámara reflex Nikon D5100
- Posteriormente al proceso de envejecimiento, se registrarán los mismos datos.

El porcentaje de higroscopía de cada material se midió en tres puntos de cada probeta; en los dos extremos y en la parte media. Los porcentajes medidos los podemos observar en la siguiente imagen.

La decoloración del material se registro por medio de fotografías, antes y después de la prueba.

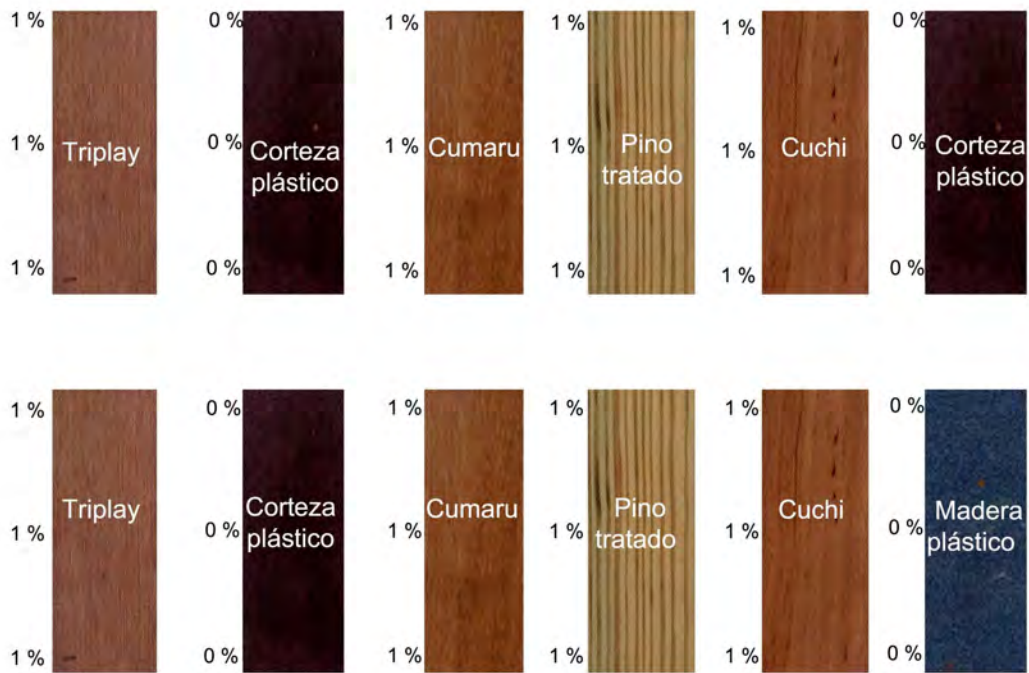


Imagen. 38. Porcentaje de humedad de cada probeta y color de las probetas antes de las pruebas. Elaboración propia, 2015.

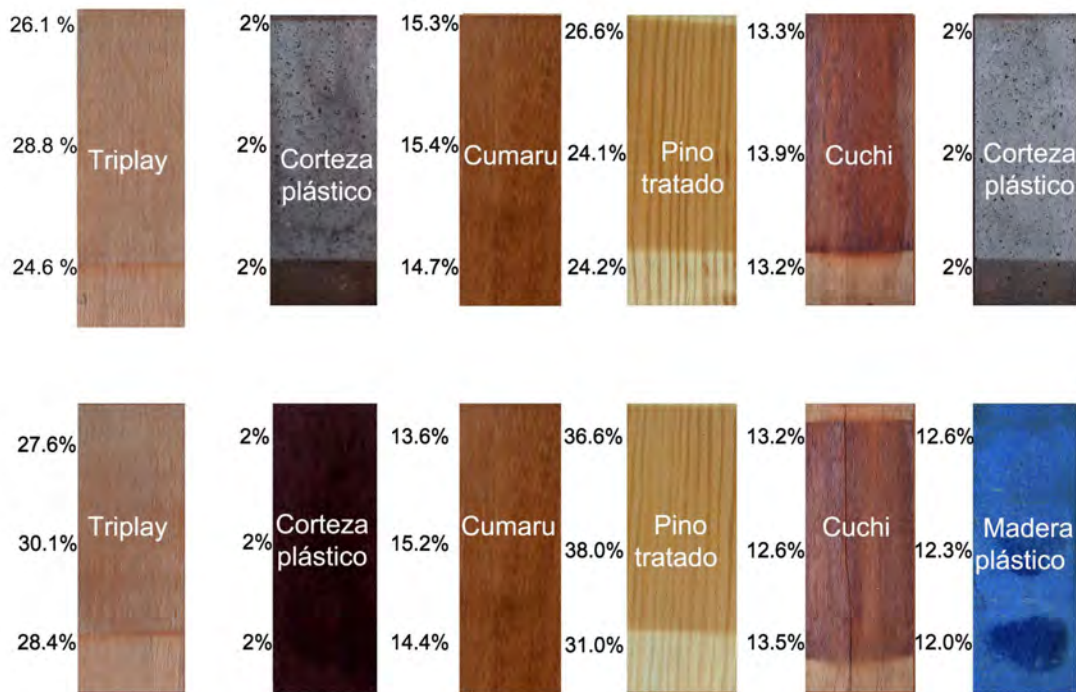


Imagen. 39. Resultados de humedad y decoloración después de la prueba. Elaboración propia, 2015.

En la siguiente gráfica se presenta el nivel de humedad que absorbe cada material en un ambiente exterior.



Gráfica.04. Porcentaje de humedad después de ensayo. Elaboración propia, 2015.

En comparación con los otros materiales, se presentan las siguientes diferencias entre el material corteza/plástico.

- Triplay = 24.70 %
- Madera de Cumaru = 11.13 %
- Madera de pino tratado = 31.20 %
- Madera de Cuchi= 9.47 %
- Compuesto madera/plástico (Disegna) = 8.30 %
- Compuesto corteza / plástico = 2 %

Se tomó el registro 2 minutos después de sacar las muestras de la cámara de envejecimiento. Se pudo constatar que el material corteza /plástico presenta menor humedad que el resto de los materiales.

Los resultados obtenidos permitieron proponer el uso de este compuesto como un nuevo revestimiento en envolvente. En el siguiente capítulo, se muestra la simulación del material en un módulo de experimentación térmica.



Imagen. 40. Utilización del material corteza/plástico como revestimiento. Fotografía propia, 2015.

[CAPÍTULO 4]

Sierra Norte de Oaxaca; región de México con potencial para industrializar el material corteza/plástico y beneficiar la envolvente arquitectónica.

Oaxaca es el quinto lugar nacional por su producción maderable de pino que asciende en promedio a 380 mil m³ rollo por año, siendo las regiones forestales más importantes del estado; Sierra Norte, Sierra Sur Zimatlán-Sola de Vega, Sierra Sur Miahuatlán, Sierra Sur Yautepec, Tlaxiaco-Putla, y Cañada.

La Estrategia Nacional de manejo forestal sustentable para el incremento de la producción y productividad 2014-2018, menciona que la producción forestal maderable contribuye actualmente con cerca del 10% en la entidad y genera alrededor de 40 mil empleos.

4.1 REGIÓN SIERRA NORTE DE OAXACA

La región Sierra Norte, se ubica en el estado de Oaxaca, este es uno de los 32 estados que conforman el conjunto de entidades federativas de la República Mexicana. Se localiza en la porción sureste de la República⁷². La división política está formada por 570 municipios, 30 distritos y 8 regiones: Cañada, Costa, Istmo, Mixteca, Papaloapan, Sierra Sur, Sierra Norte y Valles Centrales⁷³. La región Sierra Norte, cuenta con un amplio gradiente altitudinal que va desde el nivel del mar hasta más de 3,000 metros de altura, lo que permite el desarrollo de ecosistemas importantes para Oaxaca y México.

El clima es variado, sin embargo este estudio de investigación se enfoca en los lugares con clima templado ya que presenta las temperaturas más bajas, una temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C y la temperatura del mes más frío entre -3 °C y 18 °C⁷⁴.

La región Sierra Norte de Oaxaca, presenta oportunidades de crecimiento económico, gracias a sus recursos naturales y culturales, por otra parte es una región con serios problemas de pobreza. Por lo tanto el presente tema de investigación se enfoca en beneficiar a la región e incrementar calidad de vida en las viviendas.

4.1.1 Uso de madera en viviendas de Oaxaca.

En cuanto el estado de Oaxaca, el INEGI informa, de 491 643 28 de viviendas habitadas existen 92145 viviendas de madera. Lamentablemente la mayoría de las viviendas de madera en el estado no cumple con parámetros de seguridad estructural y confort térmico.

La presente situación es mostrada en las siguientes imágenes.

72 Gobierno del estado de Oaxaca. (2014)

73 Fuente. http://www.e-local.gob.mx/wb/ELOCAL/EMM_oaxaca

74 Sierras del Norte de Oaxaca. RTP130-. "REGIONES TERRESTRES PRIORITARIAS DE MÉXICO".



Imagen. 41. Vivienda de madera en la Sierra Norte de Oaxaca. Fotografía propia, 2014.



Imagen. 42. Paisaje natural de la Región Sierra Norte de Oaxaca. Fotografía propia, 2014.



Imagen. 43. Viviendas de madera en la Sierra Norte de Oaxaca. Fotografía propia, 2014.

Las imágenes anteriores, muestran las condiciones estructurales, sin embargo, no es el único problema, la situación actual de la vivienda rural muchas veces no cumple con criterios de confort adecuados para el hábitat humano.

Durante el proceso de investigación, se realizó un diagnóstico térmico de una vivienda de madera auto producida con cimentación de mampostería de piedra de la región y polines de madera, muros perimetrales de madera costera y polines, cubierta de madera y lámina galvanizada.



Imagen. 44. Autoconstrucción de viviendas de madera en la Región Sierra Norte. Fotografía propia, 2014.



Imagen. 45. Resultado de autoconstrucción de madera en la Región Sierra Norte. Fotografía propia, 2014.

UBICACIÓN:

Región Sierra Norte de Oaxaca.

Población: San Antonio Cuajimoloyas.

Altitud: 3200 msnm.

Latitud: 17° 7'11.76"N

Longitud: 96°27'0.66"O

Zona: 14 Q

Coordenada Este: 771297.90 E

Coordenada Norte: 1894648.90 N

El espacio medido fue el área común de la vivienda que funciona como sala, comedor, área de estudio para los niños y cocina. El objetivo fue evaluar térmicamente el espacio interior de una vivienda construida con madera costera (primer corte del aserrío de la troza). La vivienda se ubica en la región Sierra Norte de Oaxaca, el periodo de medición se realizó del 19 de Diciembre del 2014 al 19 de Enero del 2015. Lamentablemente los resultados como se muestra en las siguientes gráficas, registran que durante todo el día la vivienda presenta dos horas de confort.

Comportamiento de la envolvente durante el tiempo de medición (1 mes).

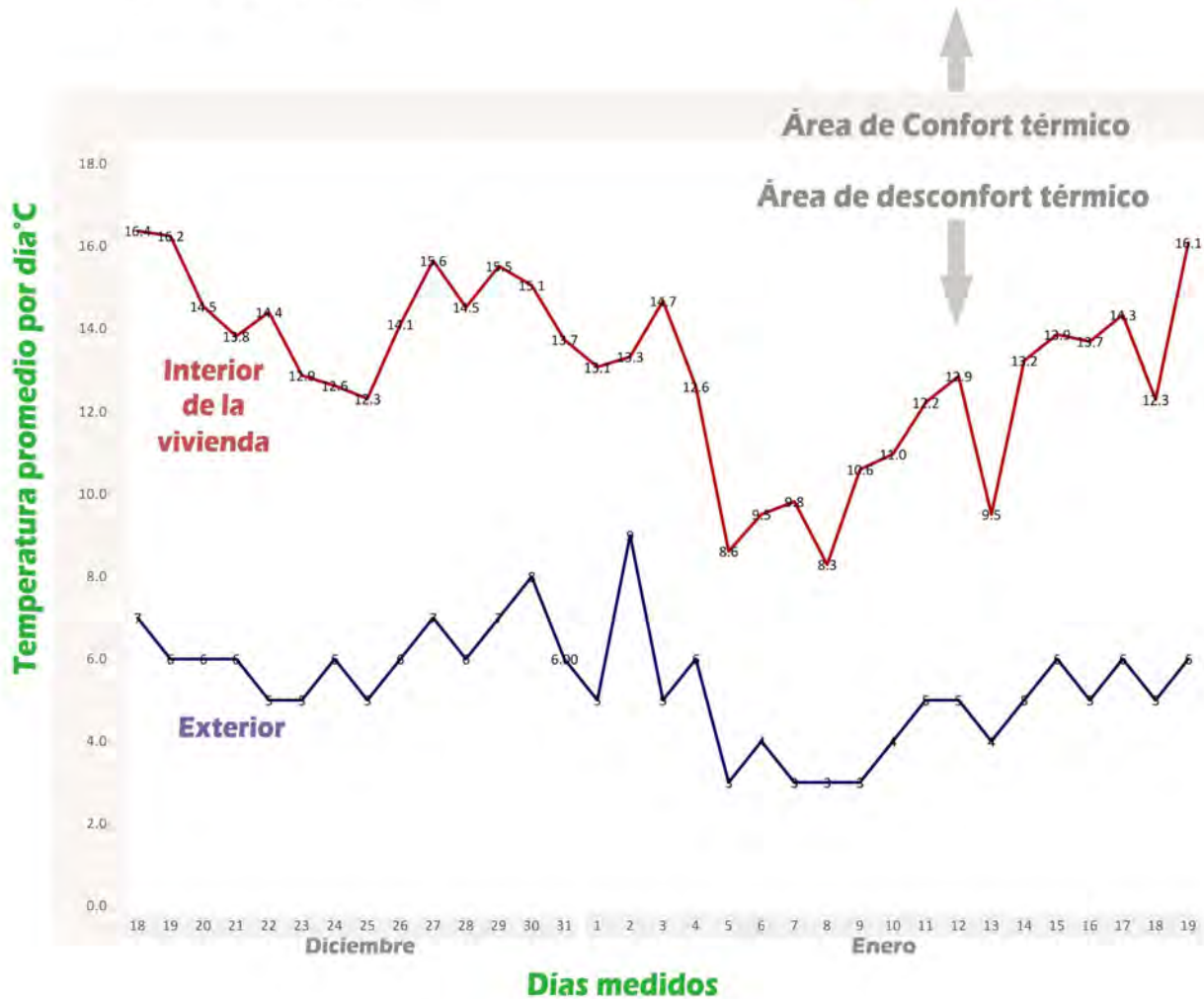
Generalidades

Ubicación: Poblado de San Antonio Cuajimoloyas
 Periodo de medición: 18 Diciembre a 19 de Enero
 Equipo: Hobo modelo: U10 Y U12
 Objetivo: Diagnosticar el estado de confort térmico térmico de la vivienda

Según Auliciems
 ecuación
 confort térmico

$$T_n = 20.73 \pm 2.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_n = 18.23 - 23.23$$



Gráfica. 05. Resultado de las mediciones obtenidas de temperatura promedio por día en ° Centígrados.

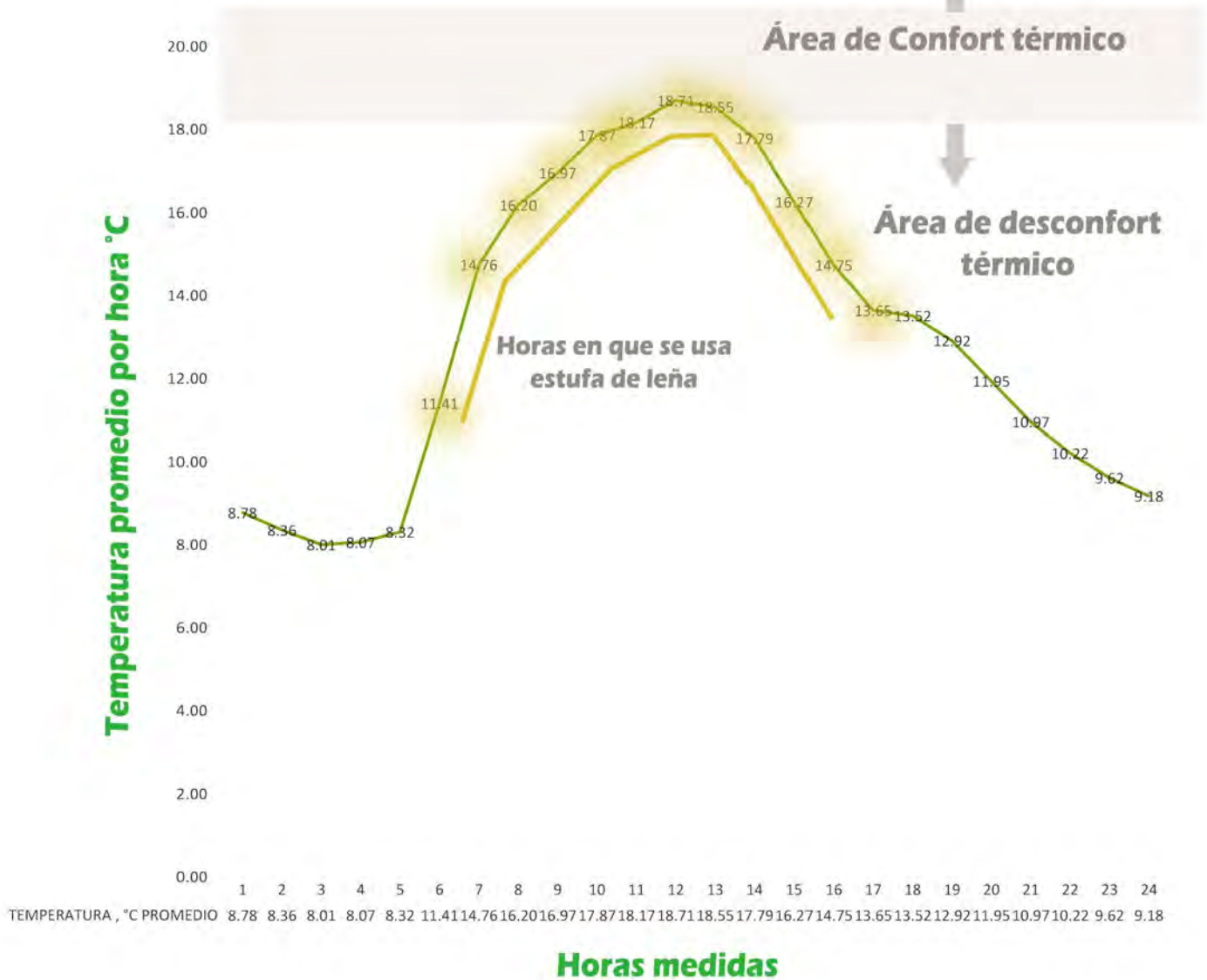
Elaboración propia, 2015

Comportamiento de la envolvente durante 24 hrs;
temperatura promedio de las horas medidas.

Según Auliciems
ecuación
confort térmico

$$T_n = 20.73 \pm 2.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_n = 18.23 - 23.23$$



Gráfica. 06. Resultado de las mediciones obtenidas de temperatura promedio por horas en ° Centígrados.

Elaboración propia, 2015

4.1.2 Corteza de pino; residuo y material sin valor en la Región Sierra Norte

En la Sierra Norte del estado de Oaxaca el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) representa ya una problemática compleja, esto debido a la falta de información, capacitación, planeación y financiamiento para formular estrategias enfocadas al manejo integral de los RSU (Cortez & Curiel, 2011).⁷⁵

Un residuo generado en la zona es la corteza de pino. (SEMARNAT, 2015)⁷⁶ menciona que la producción anual es de 589 15 millares de pt (pie tabla). Convirtiendo esto en m³ de madera en rollo, la producción es de 70.85 millares. Conociendo que la proporción de corteza en un árbol puede ocupar del 20 – 10 % del árbol (Sopp – Kolozs, 2000)⁷⁷ calculamos la cantidad aproximada que se genera por el proceso de aserrío en la región.

Producción anual de troza en la Sierra Norte Oaxaca.	Producción anual de corteza residual en la Sierra Norte de Oaxaca
70 850 m ³ de madera en rollo	14 170 m ³ de corteza



**Estos números equivalen a
6 560.1 ton de corteza
generada durante un año en la región.**

Imagen. 46. Producción anual de corteza de pino, la producción se calculó con un 10 % de acuerdo a la fuente de (Sopp-Kolozs 2000).
Elaboración propia, 2015.

Ante este número de corteza generada según por los datos obtenidos de SEMARNAT, se realizó una encuesta a tres de los aserraderos más importantes de Oaxaca. El primero el “Aserradero de los Pueblos Mancomunados”, uno de los más importantes de la región Sierra Norte, otro “Maderas de Oaxaca” cuyo abastecedor es la región de la Sierra Norte y el tercero “La Asunción”, uno de los más grandes del estado de Oaxaca. Por medio de la encuesta, estos aserraderos contestaron la siguiente

⁷⁵ Cortez, M & Curiel, M. (2011). *Propuesta de un plan de manejo integral de los residuos sólidos urbanos en Santa Catarina Lachatao y San Juan Chicomezúchil, localidades del estado de Oaxaca.*

⁷⁶

⁷⁷ SOPP, L. – KOLOZS, L. (2000): Fatömeg-számítási táblázatok [Wood volume tables].

pregunta:

¿Qué hace la empresa con la biomasa residual de corteza de pino generada por el proceso de aserrío de la troza? Las respuestas fueron las siguientes:

- 1) El aserradero “Pueblos Mancomunados” contestó que se emplea como combustible
- 2) El aserradero “Maderas de Oaxaca” comentó que se descompone para usarla como abono
- 3) “La Asunción” comentó que se vende a viveros o se usa como combustible para las estufas de secado de la madera.

Lamentablemente todavía se tiene sin cuidado el manejo de residuos generados en la industria, de igual forma la generación de residuos urbanos se han convertido ya en un problema que tiene que ser gestionado. Se plantea que estos dos factores sean aprovechados para generar un cambio en la industria del reciclaje y la construcción.

4.2 MATERIAL CORTEZA-PLÁSTICO COMO REVESTIMIENTO EN PANELES DE MADERA

(Castillo, 2012) menciona que constructivamente, un edificio está compuesto por una variedad de sistemas que trabajan conjuntamente y que determinan su funcionamiento. Cada sistema a su vez, se compone de subsistemas cuyo desempeño influye en todo el objeto; por lo que todos elementos juntos operan para un mismo fin⁷⁸.

Por otra parte, actualmente la tecnología en la madera busca nuevas alternativas para incrementar el uso sustentable de la madera, así mismo, nuevos materiales y sistemas constructivos. Es por ello que ante la disposición de madera y el concepto cultural que se tiene de la corteza como residuo o combustible, se busca introducir la producción de materiales compuestos corteza/plástico.

Se propone el material compuesto corteza/plástico como material de revestimiento exterior en paneles de madera, logrando mejorar el confort interior en espacios de vivienda, de igual forma generar una barrera de humedad. Cabe resaltar que todavía es un producto en etapa de prototipo, necesita ser mejorado, sin embargo se plantea una opción por los resultados obtenidos del ensayo de conductividad térmica y envejecimiento.

78 CASTILLO, C. (2012). Comenta en su tesis: “Envolvente ligera en edificios de oficinas existentes, hacia el control térmico de la Cd. De México”.

4.2.1 Panel de madera

Para proponer el material como elemento en un panel, se estudiaron casos análogos de paneles de madera. Esto logro poner en práctica los conocimientos de las propiedades de la madera, estudiados en el capítulo I. Los componentes estructurales que bebemos de considerar para un panel de madera según (Hempel, & Poblete, 2011) son:

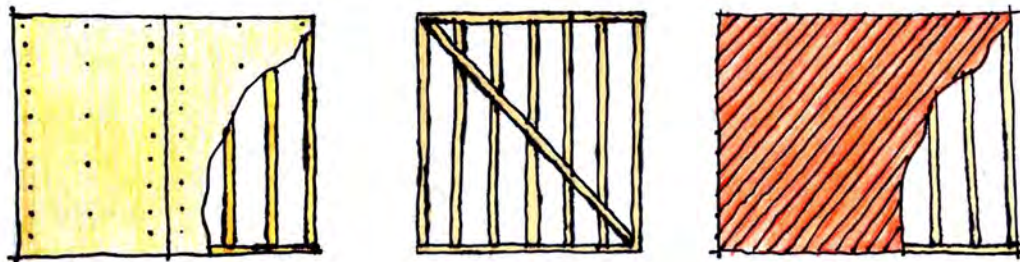
El arriostramiento: Son las soluciones que se presentan en la imagen 47, las diagonales en ambos extremos de una edificación rigidizan el conjunto al introducir triángulos en su sistema estructural. No es necesario triangular todos los elementos constructivos de una edificación, sino que solo una vez en cada extremo de sus ejes, o según determine el cálculo.

Pie derecho: La distancia entre el pie derecho depende de las cargas que lo solicitan, de los revestimientos y de la escuadría de los componentes, siendo las separaciones más frecuentes entre 40 a 60 cm. Estos siempre van colocados de perfil con respecto al plano del entramado para poder resistir en mejor forma las fuerzas horizontales perpendiculares al muro de carga.

Las soleras: Por lo general tienen la misma dimensión de los pie derecho. Se requiere un mayor ancho cuando este elemento debe resistir esfuerzos de flexión lateral producidos por la acción de las fuerzas horizontales perpendiculares al muro, producto de la acción del viento y sismos.

Las diagonales: Deben ser de una sola pieza y de menor ancho que los pie derecho. El cruce se resuelve rebajando los verticales sin cortarlos. La inclinación más efectiva para que una diagonal cumpla su función de arriostrente es de 45° con respecto a la solera inferior, no siendo recomendables variaciones de $\pm 15^\circ$. Cada diagonal debe tomar más de un pie derecho.

Así mismo los paneles, tiene como función principal la de transmitir las cargas gravitacionales que actúan en los techos y sistemas de pisos a la cimentación. Y muchas veces también deberían resistir las acciones horizontales como empujes de viento y movimientos sísmicos . Esto se resuelve como se muestra en las imágenes.



Forro de tablero contrachapado

Diagonal de arriostramiento

Forro de duela inclinada

Imagen. 47. Soluciones para resistir las acciones horizontales como empujes de viento y movimientos sísmicos

Fuente: National Design Specification for Wood Construction. National Forest Products Association.

Elaboración propia, 2015

Separación entre los pies derechos

En la siguiente imagen se presentan las separaciones entre pies derechos recomendadas, según la sección del panel y el tipo de madera de clase estructural.

Sección en cm (plg)	Clase estructural	Separación entre pies derechos: 40.7 cm				Separación entre pies derechos: 61 cm			
		Southern Pine	Douglas Fir- Larch	Hem-Fir	Spruce-Pine- Fir (South)	Southern Pine	Douglas Fir-Larch	Hem-Fir	Spruce-Pine-Fir (South)
3.8 x 8.9 (2 x 4)	Selecta estructural SS	3495	2990	2870	2420	2330	1995	1915	1615
	No. 1	2865	2585	2355	1970	1915	1725	1570	1315
	No. 2	2520	2335	2120	1785	1680	1555	1415	1190
	No. 3	1650	1500	1430	1165	1100	1000	955	775
	Pie derecho	1670	1500	1430	1165	1115	1000	955	775
3.8 x 14.0 (2 x 6)	Selecta estructural SS	7940	6970	6310	5310	5300	4650	4210	3545
	No. 1	6330	5520	5055	4235	4225	3685	3370	2825
	No. 2	5400	4935	4660	3860	3605	3290	3110	2575
	No. 3	3305	2940	2860	2280	2205	1960	1910	1520
	Pie derecho	3345	2980	2900	2295	2235	1985	1935	1530

Tabla. 11. Separaciones entre pies derechos recomendadas. Fuente. National Design Specification for Wood Construction. National Forest Products Association. Washington D.C.1991.
Elaboración propia, 2015

Elementos de Unión

Como menciona (Hurtado, 2000). Un primer requerimiento en un conector, es su poder de sujeción: la habilidad de transferir la fatiga de un miembro a otro sin desprenderlo, dislocarlo o causar daño en otro miembro. El poder de sujeción está estrechamente relacionado con las propiedades de resistencia estructural y condiciones de la madera. Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Madera, mencionan que existen procedimientos para dimensionar uniones con clavos, pernos, pijas y placas dentadas o perforadas (placas multiclavo). En esta norma se explican los alcances de cada tipo de unión. En el presente tema de investigación se retomó la normativa para el uso de pijas de madera por ser accesibles en el sector.

Normativa internacional y nacional de pruebas mecánicas para paneles de madera.

La norma ASTM E14/72 «Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction», presenta la forma de desarrollar ensayos para propiedades estructurales en los sectores de muros, el suelo y construcciones de techos. En cuestión de muros se presenta la forma de construcción del bastidor del panel.

El tamaño de prueba muestra deberá ser de 8 por 8 pies (2.44 x 2.44 m) y la formulación deberán construirse como se muestra en la Fig. 11 y un mínimo de tres paneles para cada construcción a la que se le realizarán pruebas⁷⁹.

En México, se presenta el mismo esquema con las siguientes recomendaciones en la fabricación de bastidores de madera para pruebas mecánicas en paneles de madera. Las especificaciones se presentan en la siguiente imagen y son las que se consideraron para proponer el panel con revestimiento del material corteza/plástico.

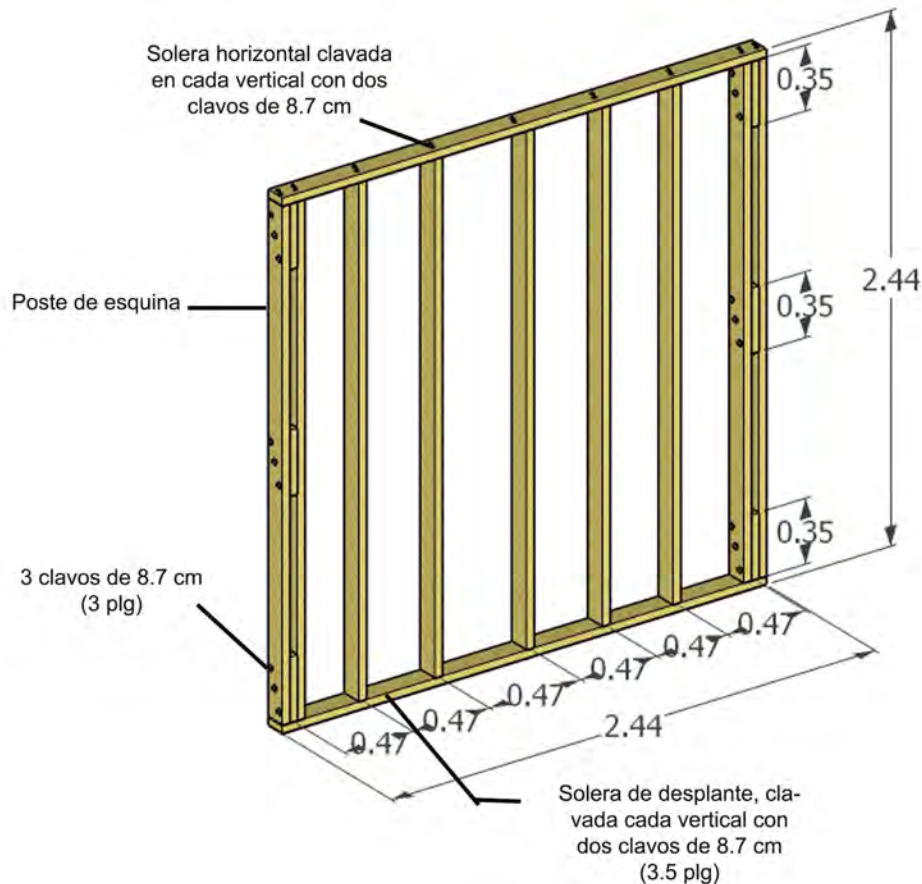


Imagen. 48. Dimensionamiento para bastidor de madera de pino de clase estructural «B» (Norma Oficial Mexicana NOM-C1985-239-)
Elaboración propia, 2015

Principales Ventajas y Desventajas en paneles de madera.

La propuesta del uso de madera en el tema de investigación, generó diálogos entre personas de acuerdo y en desacuerdo por el uso de un material que en primer plano se considera poco duradero, a esto, se menciona las ventajas y desventajas de un panel de madera y como el material de corteza, aporta un punto a favor si se integra a estos sistemas constructivos.

Ventajas:

- Mejores propiedades de aislamiento si se intercala material aislante que incrementa el confort.
- Bajo nivel de mecanización, tanto para fabricación como para el montaje de sus componentes.
- Métodos de unión económicos y sencillos
- La mayoría del trabajo es seco, tanto en planta como en obra
- Es un sistema que ofrece grandes facilidades de prefabricación
- Durabilidad, si se tiene en cuenta aspectos de protección por diseño
- El tiempo de construcción es más rápido
- Salvo algunas operaciones específicas, la práctica ha demostrado

que se requiere mano de obra sin mayor calificación durante la secuencia de fabricación y montaje, lo que lo convierte en un sistema apropiado para regiones con un gran número de mano de obra no calificada.

- El sistema utiliza por lo general elementos con secciones pequeñas y longitudes cortas, lo cual lo convierte en un sistema ideal para lugares donde la madera no se encuentra disponible en grandes dimensiones.

Desventajas:

- Se requiere una cantidad de buenos detalles constructivos para asegurar un adecuado comportamiento en la construcción.
- Considerando que el sistema de entramado consiste en la interconexión de muchas piezas relativamente pequeñas, se puede esperar que existan más problemas de variación dimensional.
- Debido al daño que provoca la humedad a la madera, es necesario diseñar adecuadamente todas las zonas expuestas para evitarlo.

La última desventaja del sistema constructivo, puede ser solucionada, si se aplica un recubrimiento exterior, que proteja del daño causado por la humedad y mejor si el material con el que es fabricado aporta un beneficio

térmico y de menor impacto ambiental.

Retardantes de fuego

En cuanto a los productos de madera y tableros, son materiales que presentan numerosas ventajas como materiales de construcción, tales como: excelentes características de habitabilidad y resistencia sísmica, calidez, rapidez de construcción, facilidad de transporte, buen aislamiento y menor costo. Sin embargo, aún son considerados como materiales ligeros y temporales en las viviendas, prefiriéndose los materiales tradicionales como hormigón (Forest Products Laboratory, 1999)⁸⁰. Existe desconfianza del comportamiento de las estructuras de madera y tableros frente a la acción del fuego, ya que persiste el temor frente a un incendio (Ramírez & Di Pace, 2002)⁸¹. En madera, la resistencia al fuego se logra con grandes escuadrías o revistiéndola con productos minerales, como las placas de yeso-cartón o fibrocemento. También existen barnices ignífugos y pinturas retardantes del fuego (Garay & Henríquez, 2010)⁸².

Dentro del área de la construcción en madera, se comercializan e investigan diferentes retardantes de fuego. En países desarrollados existe una variedad de productos retardantes como:

Tratamiento no-COM Exterior de la empresa Inglesa Arch Timber⁸³: aplicado por un proceso de impregnación de alta presión cuidadosamente controlado seguido de secado en horno. Un ejemplo de su aplicación es la vivienda de carbono ligero en Kettering Reino Unido. El edificio está techado y revestido con tejas de cedro rojo occidental. La vivienda fue uno de los primeros proyectos construidos para la definición de carbono cero del gobierno del Reino Unido. El tratamiento no-COM Exterior deja el aspecto natural de la madera sin cambios, mientras que proporciona una protección contra incendios a largo plazo que no necesita mantenimiento.

Wolmanit[®] Firestop de la empresa alemana BASF WOLMAN GmbH: Es un producto ignífugo a base de compuestos de fósforo especialmente desarrollados para el tratamiento de presión al vacío de la madera y materiales de madera⁸⁴. Un ejemplo de su aplicación es el museo de Alésia en Francia.

En México, la empresa OSMOSE MEXICANA, produce el NOFLAME.

Por otra parte, el reglamento de construcción del Distrito Federal, menciona que los elementos estructurales de madera de las edificaciones de riesgo mayor, deberán protegerse por medio de aislantes o retardantes al fuego que sean capaces de garantizar los tiempos mínimos de resistencia al fuego. Los materiales utilizados en recubrimientos de

80 Forest Products Laboratory. 1999. *Wood handbook—Wood as an engineering material*.

81 *Comportamiento al fuego de revestimientos de madera*.

82 *COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TABLEROS Y MADERA DE PINO RADIATA CON Y SIN PINTURA RETARDANTE DE LLAMA*. Maderas.

83 Arch Timber. NO-COM Exterior.

84 Wolman GmbH. Wolmanit Firestop.

muros, cortinas, lambrines y falsos plafones deberán cumplir con los índices de velocidad de propagación del fuego que establezcan las Normas Técnicas Complementarias. En el reglamento de construcción, también se menciona que los materiales usados en construcciones de riesgo menor deben de tener una resistencia al fuego de una hora.

Ejemplo de paneles de madera para vivienda social

Consultando información sobre el diseño de paneles de madera, encontramos varios ejemplos que nos ayudan a mejorar la vivienda de madera en la región de la Sierra Norte y a aplicar el compuesto corteza/plástico como revestimientos exteriores. En algunos casos, el panel de madera posee un revestimiento exterior que ayuda a proteger la madera de la humedad, factor que coloca al material corteza/plástico como una opción. Algunos ejemplos son los siguientes:

En Chile, se realizó un proyecto en el Centro de Innovación y Desarrollo de la Madera (CIDM), creado por convenio entre la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC) y la Corporación de la Madera (CORMA). El proyecto Fondef D03i1020 consiste en la investigación diseño por envoltente, el proyecto busca mejorar la calidad de vida en los usuarios y aumentar el uso del pino radiata⁸⁵.

85 Investigación Fondef D03i1020. *Diseño por envoltente. Centro de Innovación y Desarrollo de la Madera - CORMA UC.*

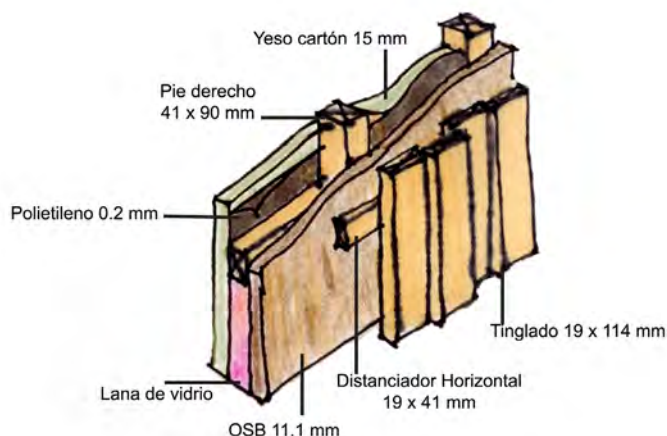


Imagen. 49. Panel de Madera. Fuente: proyecto Chileno Fondef D03i1020. Elaboración propia, 2015

En México, el ingeniero V. Rubén Ordóñez Candelaria (Ordoñez, 1995), público en su artículo "*Muros de cortante en estructuras de madera*"⁸⁶ los resultados del comportamiento estructural de paneles de madera construidos con bastidores de madera y forros que proporcionan rigidez. En esta investigación se nos informa, que los tableros con forro de contrachapado de 12 mm y forro con duela machihembrada de pino en diagonal presentan mejor comportamiento estructural. Los métodos de prueba se realizaron conforme a la normativa ASTM mencionada anteriormente, por lo consecuente para el panel planteado, se retoma el uso de contrachapado para asegurar el comportamiento estructural.

Por otra parte, los paneles de madera, se complementan con otros materiales como tabla roca, tierra, paja, acero, revestimientos exteriores para contrarrestar los efectos de

86 Ordoñez, C. (1995). Comenta: en su artículo: *Muros de cortante en estructuras de madera*

humedad, etc. La selección del material exterior se determina por medio de los criterios de diseño más adecuados para el uso y ubicación del inmueble.

El manual del centro de transferencia tecnológica de la madera (CORMA, 2015) de Chile, menciona que el tipo de terminación exterior, dado por el diseño arquitectónico, es lo más visible que presenta una vivienda. Debido a que el exterior es tan prominente, se vuelve indispensable elegir el revestimiento acorde con el proyecto y ser cuidadoso tanto en el control geométrico de la base sobre la cual irá, como en la instalación del mismo.

Un ejemplo de revestimiento en exterior es:

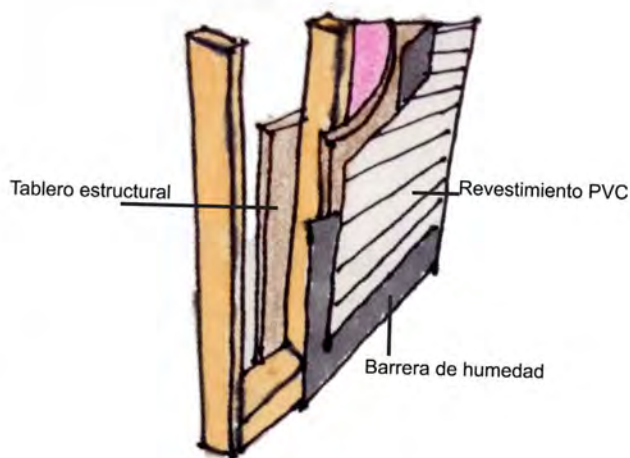


Imagen. 50. Revestimiento vinílico en panel de madera. Fuente: Manual CORMA. Elaboración propia, 2015

Los principales aspectos a considerar al seleccionar el revestimiento exterior son:

- Apariencia final
- Características del clima, como luz solar, viento, pluviometría, humedad relativa, etc
- Costo del revestimiento
- Tiempo de instalación
- Mantenimiento recomendado por el fabricante

4.2.2 Materiales regionales

Ante la situación de la vivienda rural construida con madera costera en la región Sierra Norte de Oaxaca, se retomaron las bases de criterios de diseño encontradas en la literatura para proponer un panel de madera, se propuso mejorar las condiciones de confort térmico y aprovechamiento de materiales considerados como productos residuales en aserraderos e implementarlos en materiales para la industria de la construcción (material compuesto corteza/plástico).

Para la propuesta del panel y el uso del material compuesto, se buscaron los materiales regionales, los cuales trabajándolos adecuadamente podemos emplear en la construcción de viviendas.

Madera costera.

En cuanto a la madera costera. El catálogo de productos maderables 2009, menciona que la costera es el producto que se obtiene del primer asierre y proviene de los costados de la troza dada su redondez, por lo que estas piezas presentan una cara plana y otra curva, que en ocasiones es de forma irregular y contiene restos de corteza. Sus longitudes dependen de los tamaños de las trozas. Así mismo, el catálogo menciona: Por sus características, este tipo de costera se separa del total con la finalidad de volver a procesarla en talleres y obtener nuevos productos. Generalmente se utiliza en la construcción de viviendas y se procesa en industrias para la obtención de lambrín, piezas para caja de empaque, barrotes, etcétera.



Imagen. 51. Madera Costera en aserradero región Sierra Norte de Oaxaca. Fotografía propia, 2014.

Especies de Pino de la región.

El estado de Oaxaca cuenta con 24 especies y tres variedades nativas de coníferas distribuidas en ocho géneros y cuatro familias⁸⁷. Las especies más apropiadas para la industria de la construcción con madera en el Estado de Oaxaca son:

- Pino patula (*Schl. et Cham*)

- Pino pseudostrobus (*Pinus pseudostrobus Lindl. var pseudostrobus*)

Pino Patula Nombre científico: *Pinus patula Schl. et Cham.*

Nombre(s) común(es): Pino patula, ocote, pino llorón, pino triste, pino colorado, pino chino, pino xalocote, pino macho, ocote liso o-cote colorado.

Pino pseudostrobus Nombre científico: *Pinus pseudostrobus Lindl. var pseudostrobus*. Es buen productor de resina, es ampliamente explotada en los estados del centro y sur del país (6). La madera es de buena calidad se usa en aserrío, triplay, chapa, para cajas de empaque, molduras, en la construcción, en la fabricación de ventanas, muebles finos, artesanías, ebanistería y pulpa para papel⁸⁸.

Secciones de madera disponibles en la región

Una vez que ingresa la troza al aserradero, ésta es sometida a diversos procesos de corte, obteniéndose los siguientes productos:

87 CIDIR OAXACA.

88 *Ensayo de Integración de Conocimientos sobre el Género Pinus en México.* Tesis Profesional.

Tablas: Son piezas rectangulares planas de diverso grosor, ancho y largo; y en las tres dimensiones de cada tabla se agrega un refuerzo, el cual varía en cada región del país⁸⁹. Comercialmente, los aserraderos, producen tablas de $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $8/7$ y 1 pulgada de grosor⁹⁰.

Tablones: Son piezas rectangulares planos de diverso grosor, ancho y largo; y en las tres dimensiones de cada tablón se agrega un refuerzo, el cual varía en cada región del país. A diferencia de las tablas, éstos se caracterizan por ser más gruesos, hasta medir 4 pulgadas⁹¹. Sin embargo, comercialmente en México se producen de $1\frac{1}{2}$ y 2 pulgadas⁹².

Polines: Son piezas cuadradas o rectangulares de diversas medidas, las más comunes en grueso y ancho van de 3 a 4 pulgadas, mientras que el largo varía de acuerdo al uso. A estas medidas se agrega un refuerzo, el cual varía en cada región del país.

Vigas: Son piezas rectangulares planas de diverso grosor, ancho y largo; y en las tres dimensiones de cada viga se agrega un refuerzo, el cual varía en cada región del país. A diferencia de los tablones, éstas se caracterizan por ser aún más gruesas⁹³. Las medidas más comerciales son 3 x 4, 8 x 8 y 4 x 10 pulgadas, los largos son de 8, 10, 12, 14, 16 pies⁹⁴.

Producto	Largo (pies)	Ancho (pulgadas)	Grueso (pulgadas)
Tabla	8 $\frac{1}{4}$, 10	6, 8, 12, 10	$\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1
Tablones	8 $\frac{1}{4}$, 10	4, 5, 6, 7, 8, 10, 12	1 $\frac{1}{2}$, 1 $\frac{1}{4}$, 1 $\frac{3}{4}$, 2
Polín	8 $\frac{1}{4}$, 10	3 $\frac{1}{2}$ x 3 $\frac{1}{2}$, 3 $\frac{1}{4}$ x 3 $\frac{1}{4}$, 3 x 3, 4x 4	-
Madera Costera Uniforme	4, 8	-	-

Tabla. 12. Dimensionamiento. Fuente: Maderería la Asunción Oaxaca S. A. de C. V y Aserradero Juquilita S. A. de C. V en Oaxaca.

Fotografía propia, 2014.

- 89 Catálogo de productos maderables 2009. Conafor.
 90 Fuente: Venta de producción en aserraderos y madererías en México.
 91 Catálogo de productos maderables 2009. Conafor.
 92 Fuente: Venta de producción en aserraderos y madererías en México.
 93 Catálogo de productos maderables 2009. Conafor.
 94 Fuente: Venta de producción en aserraderos y madererías en México.

Como se mencionó anteriormente, la corteza que generan los aserraderos de la región, la convierte en un material residual. De igual forma el plástico es un residuo urbano generado en una población de 489 ,176 Habitantes (INEGI, 2010)⁹⁵. Estos materiales considerados como regionales.

4.2.3 Propuesta de panel

Los dos puntos principales a considerar fueron, en primer lugar, la falta de confort térmico en vivienda de madera en zonas rurales de Oaxaca, en segundo lugar, se consideró la principal desventaja por la cual las personas temen construir con madera: durabilidad y madera no certificada. Y en tercer lugar la aplicación del material corteza/plástico.

Materiales seleccionados

Los materiales propuestos para la fabricación del panel son productos de origen natural procesados en la región, residuos de corteza y residuos urbanos.

Productos de origen natural de la región: Madera maciza y tableros contrachapados

Productos residuales de la región: Corteza de Pino y plástico (polipropileno de alta densidad HDPE)

Productos industrializados que se venden en la zona: Tornillos y fieltro asfáltico



Imagen. 52. Materiales propuestos para el panel de madera. Fotografía propia, 2014.

95 INEGI. (2010). Censo de Población y Vivienda.

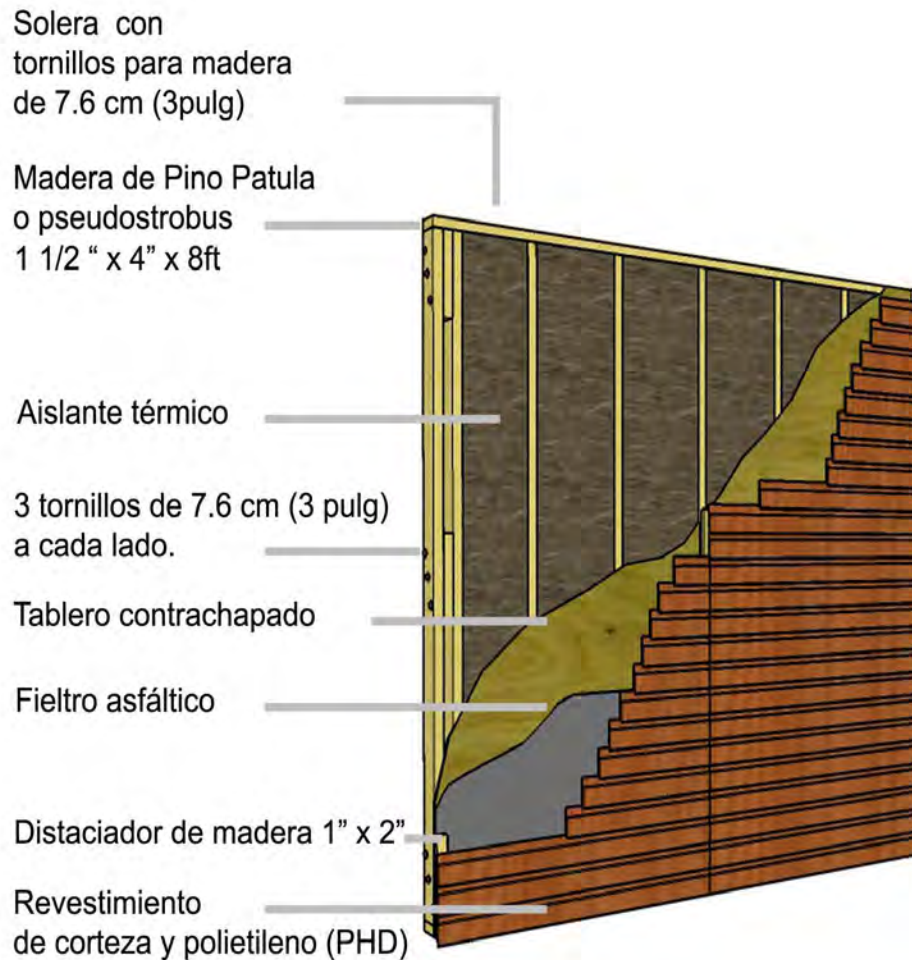


Imagen. 53. Propuesta de panel. Revestimiento exterior con el material compuesto por corteza de pino y plástico.
Fotografía propia, 2014.

El panel está planteado para mejora las condiciones de vivienda rural de 80 m² con una cubierta de armaduras de madera y teja de barro, tejamanil o lámina galvanizada (vivienda vernácula en las regiones templadas de la Sierra de Oaxaca). La cubierta se apoya sobre claros de 6 m. Los muros perimetrales deben soportar una carga máxima de 170 kg/m² (combinación de cargas muertas y vivas).

El bastidor de madera, se propuso con madera estructural clase "B" al ser parte de la estructura.

Detalles constructivos del bastidor del panel

Bastidor o entramado de panel

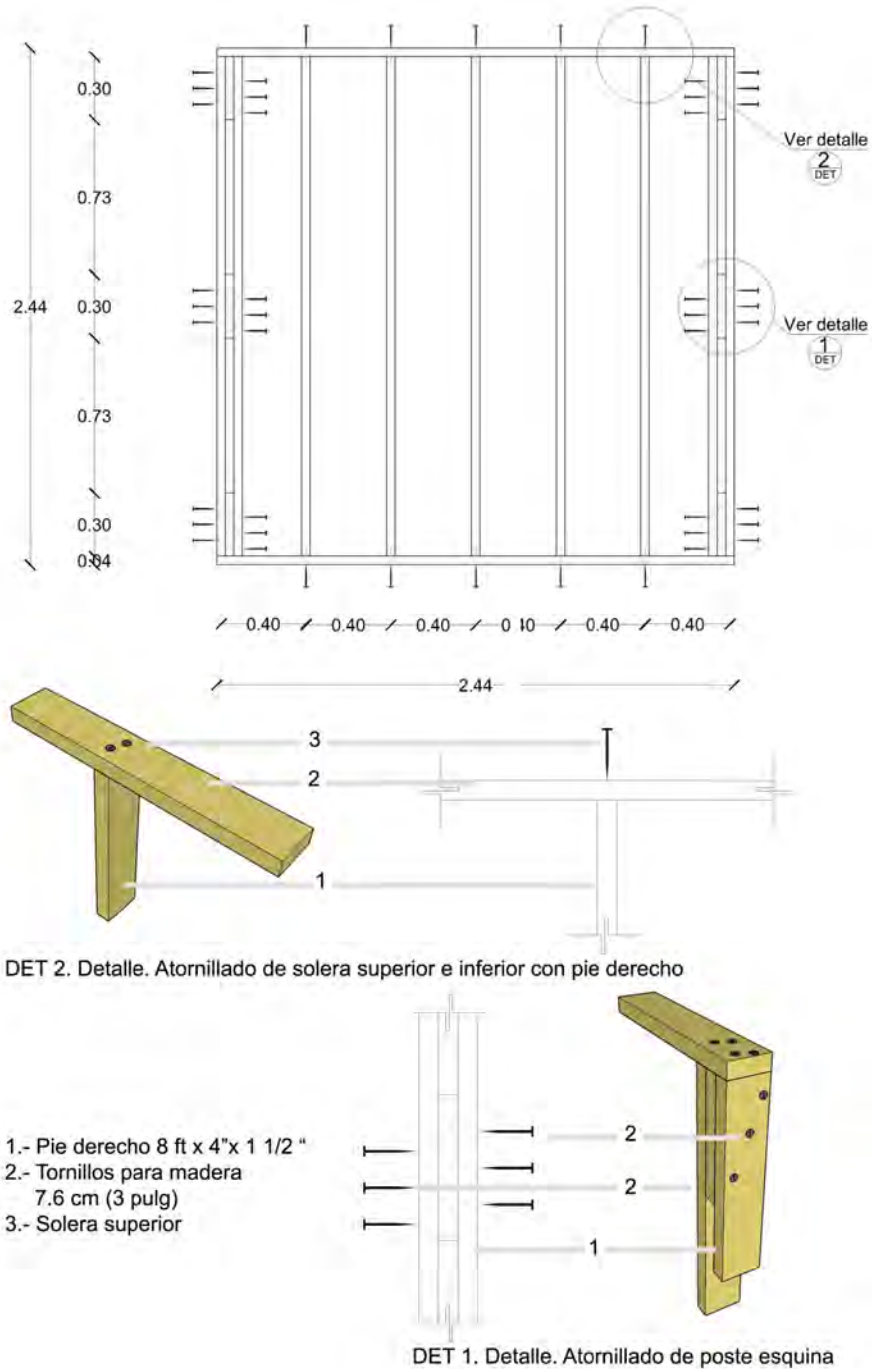
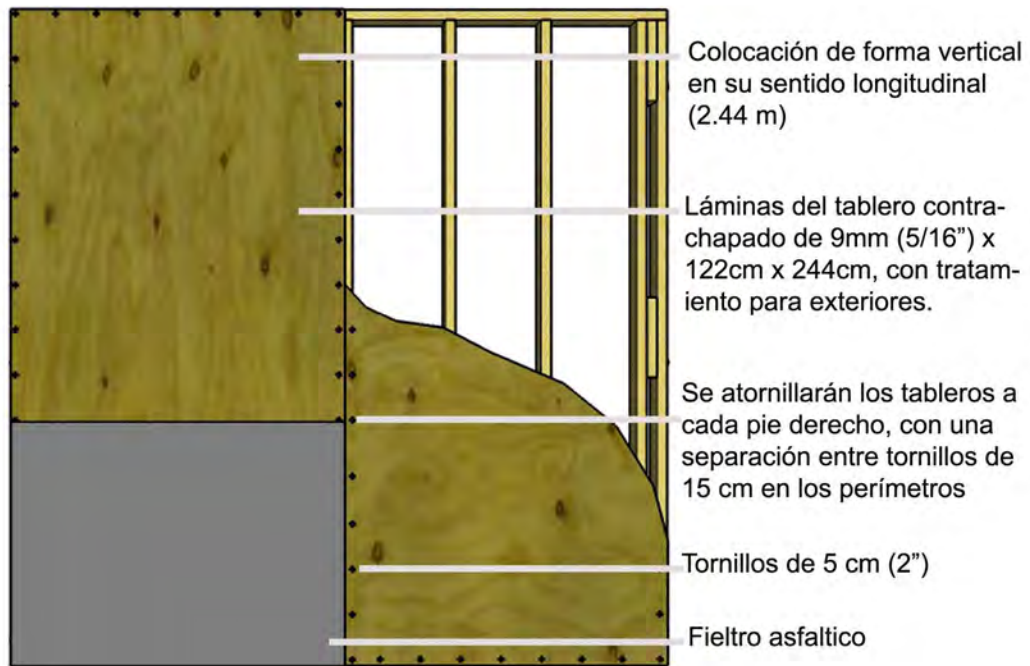


Imagen. 54. Detalles de dimensionamiento y uniones del panel. Fotografía propia, 2014.

Contrachapado de madera



Revestimiento

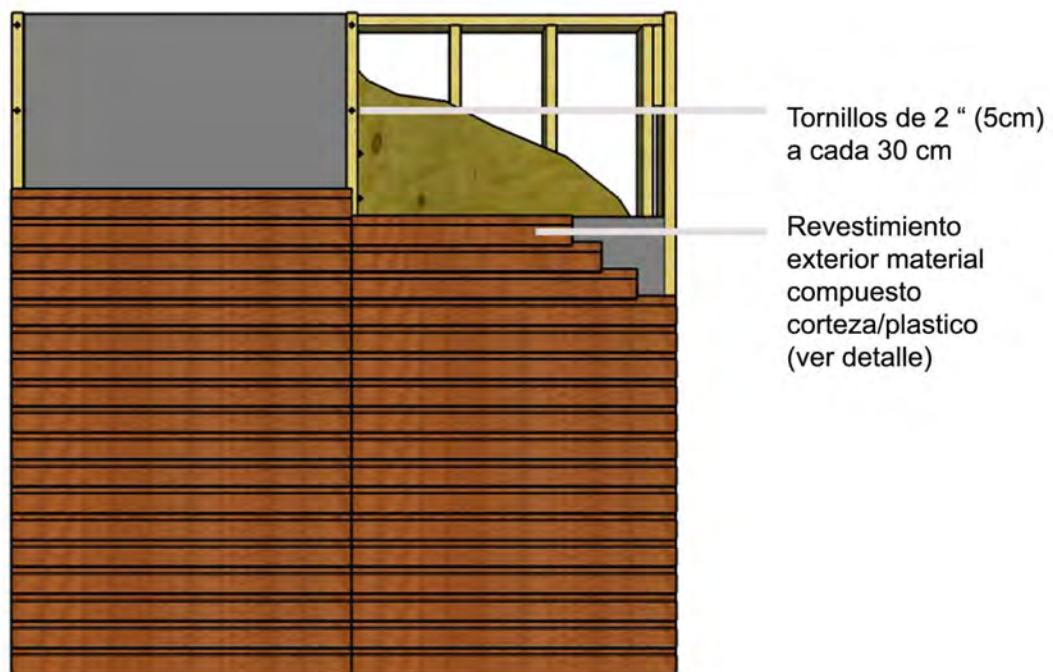


Imagen. 55. Especificaciones de colocación de contrachapado en panel. Fotografía propia, 2014.

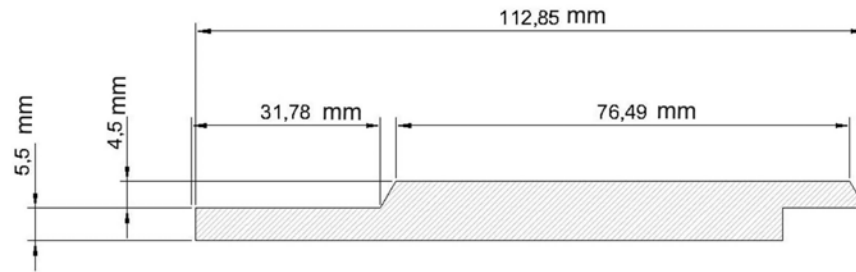


Imagen. 56. Dimensionamiento del revestimiento. Elaboración propia, 2015.

El revestimiento exterior para el panel se propone del material compuesto de corteza/plástico. La idea, se retomó el uso de corteza de árboles como protección, como se mencionó anteriormente, la corteza le sirve de protección al árbol, protege de los factores climáticos, función que se aprovechaba en la arquitectura vernácula.

Retomando esta función de protección, se buscó tomar el concepto y adaptarlo a necesidades actuales de la arquitectura como: búsqueda de materiales con menor impacto ambiental, construir espacios habitables y reciclaje de materiales.

Por lo tanto se fabricó un prototipo, el diseño del revestimiento se fabricó con una normativa chilena; La norma NCh2100 Of 2003 Maderas- Molduras-Designación y Dimensiones, esta norma define tamaños y formas de las molduras. Se uso está normativa, ya que en México no existe una normativa que incluya el dimensionamiento de revestimientos exteriores de madera. También se ocupó al no existir

normativa para revestimientos de corteza/plástico.

Para analizar el uso del material corteza/plástico como revestimiento en paneles, se fabricó un primer prototipo de las molduras. De primera instancia, se ocupó el material fabricado en los laboratorios chilenos. El proceso de elaboración se realizó después de la fabricación del material mencionado en el capítulo 3, Primero se dimensiono el material en prismas rectangulares que fueron procesados por lijadora y escuadradora de madera. Las siguientes ilustraciones muestran lo realizado.

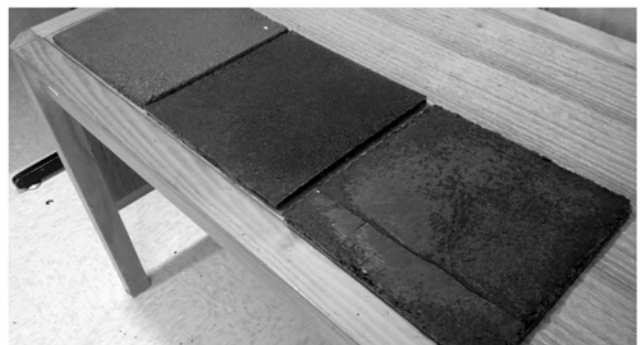


Imagen. 57. Muestras obtenidas del capítulo 3. Fotografía propia, 2015.

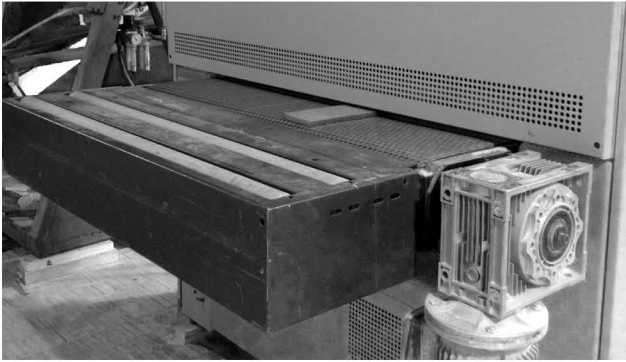


Imagen. 58. Corte y lijado. Fotografía propia, 2015.



Imagen. 59 .Dimensionamiento. Fotografía propia, 2015.

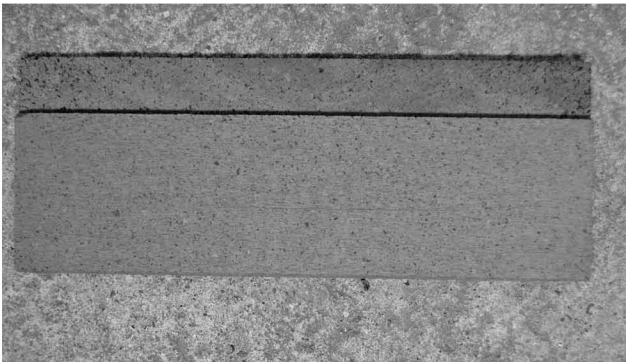


Imagen. 60. Moldura. Fotografía propia, 2015.



Imagen. 61 . Revestimiento. Fotografía propia, 2015.

4.3 EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO TÉRMICO DEL PANEL

Después de diseñar el prototipo del panel, se buscó comprobar que por medio del material de corteza y el mejoramiento de un sistema de paneles de madera, se aumenta el estado de confort térmico en la tipología de vivienda donde se realizó el diagnóstico térmico (mencionado anteriormente). El planteamiento y obtención de resultados completos se presenta en (Anexos III con el título: Simulación del comportamiento térmico en una muestra de panel; madera y material compuesto de corteza de pino-plástico reciclado).

La evaluación térmica se realizó en una muestra de 30 x 45 x 1 cm del panel propuesto. La muestra del material, se fabricó, conforme a las especificaciones planteadas en el tema de investigación.

El tiempo de medición se realizó en 12 días. Se tomó un registro cada minuto.

Equipo empleado

- Módulo de experimentación térmica (fabricación y calibración: Arq. David A. Gómez García, estudiante de posgrado de la UNAM.

El equipo que se ocupó fue:

- 4 termopares colocados en las caras interiores del módulo y en la cara interior de la muestra.

- 1 termopar en la cara exterior de la muestra.

Estos se conectaron a un datalogger, el cual registro los datos.

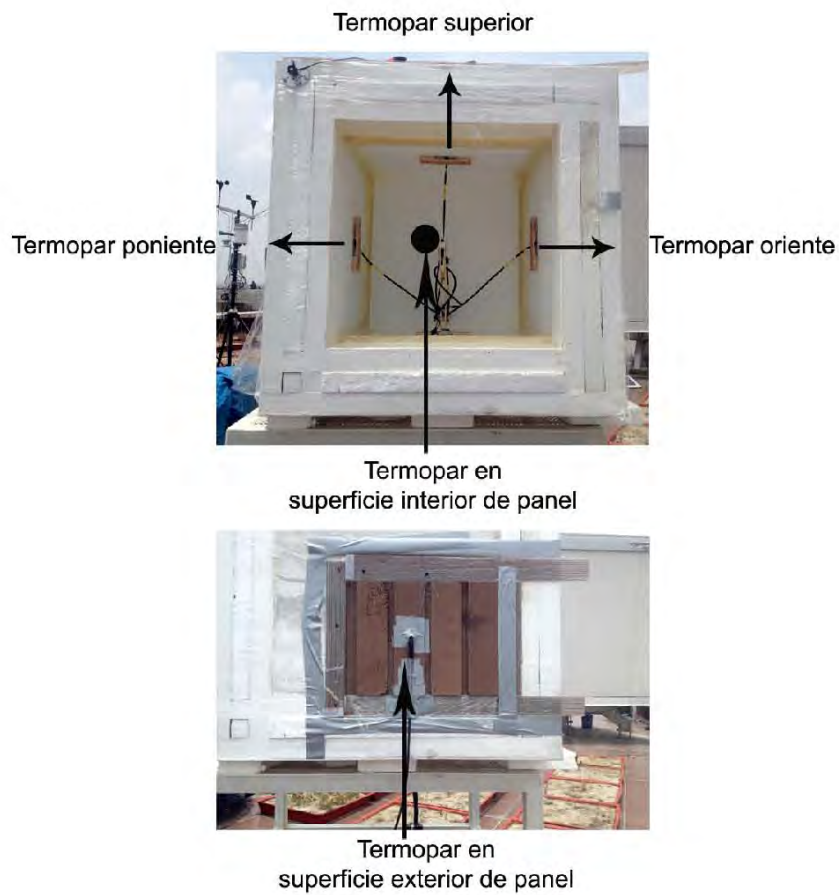
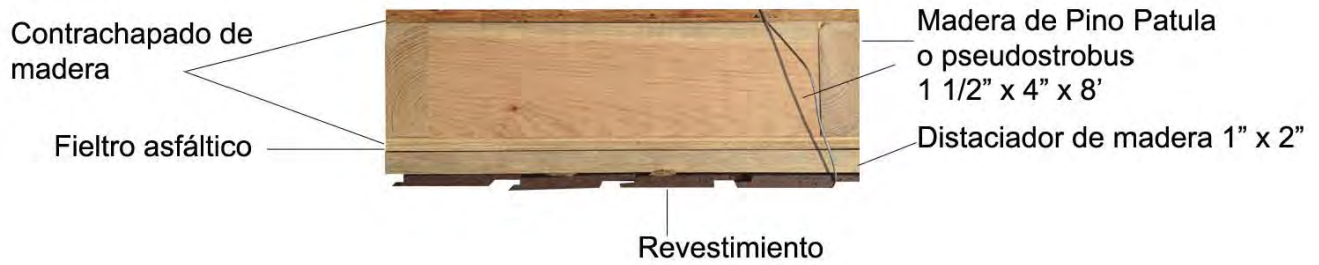


Imagen. 62. Componentes del panel y ubicación de termopares en el módulo de experimentación térmica. Fotografía propia, 2015.

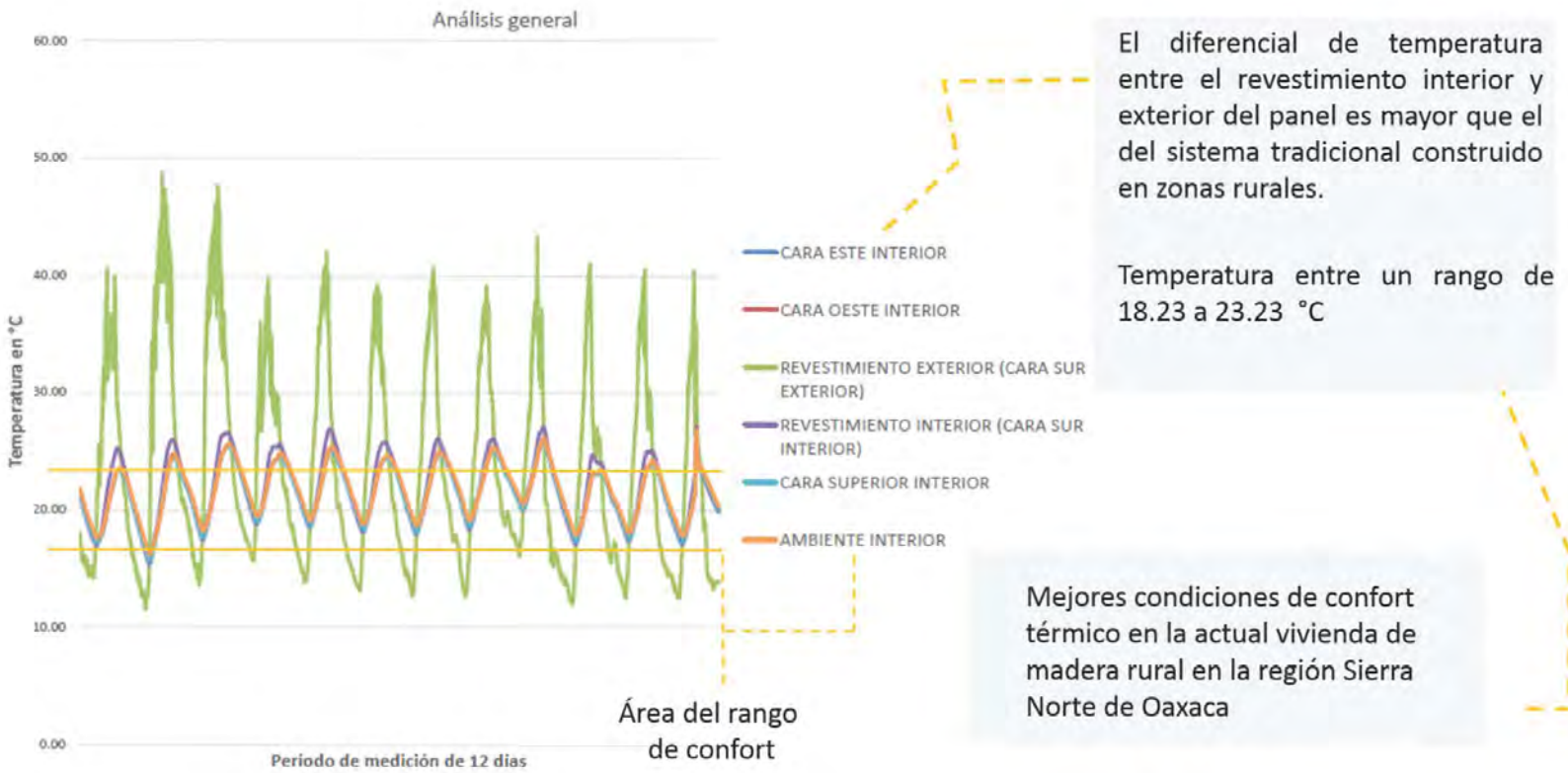
Los registros mostraron (ver gráfica 07) que la temperatura ambiente interior se encuentra dentro del rango de confort, al igual que la temperatura registrada en los materiales del interior del módulo. El diferencial de temperatura es considerable, como se muestra en la siguiente tabla:

12 DÍAS DE MEDICIÓN (REGISTRO CADA MINUTO)	SUPERFICIE EXTERIOR	SUPERFICIE INTERIOR	DIFERENCIAL DE TEMPERATURA
TEMPERATURA PROMEDIO MÁXIMA °C	48.81	27.21	21.60
TEMPERATURA PROMEDIO MÍNIMA °C	11.51	15.34	3.83

El resultado obtenido por la simulación durante doce días, demostró que el material corteza de pino, con una conductividad térmica de 0.19 W/m (valor según prueba de conductividad térmica) favorece en disminuir la transferencia de calor entre la capa exterior del panel y la interior. El diferencial durante la hora de temperatura máxima (día) es de 21.60 °C. Mientras que durante la temperatura mínima (noche) el diferencial es de 3.83 °C. Durante el día, el panel disminuye la transferencia de calor y durante la noche almacena parte de este y la transferencia de calor es más lenta (la información la podemos constatar en los resultados de la gráfica 07). Se propone realizar más pruebas usando un aislante térmico en el panel, de igual forma comprobar esta información con el comportamiento de otros sistemas constructivos.



Imagen. 63. Muestra del panel en el módulo de experimentación térmica. Fotografía propia, 2015.



Gráfica. 07. Resultados de la simulación térmica. Elaboración propia, 2015.

4.4 CRITERIOS BÁSICOS PARA INDUSTRIALIZAR EL COMPUESTO CORTEZA/PLÁSTICO EN LA REGIÓN.

Como se pudo constatar, las pruebas del primer prototipo del material corteza/plástico, presentan propiedades físicas adecuadas para mejorar condiciones de confort térmico y protección contra la humedad. Sin embargo, es necesario resaltar que el material propuesto, necesita ser estudiado con criterios más estrictos de evaluación, se necesita fabricar el material con materiales 100 % de la región Sierra Norte. Para ello se necesita contar con el equipo e instalaciones adecuadas para la ejecución. Esta investigación promueve el uso de la corteza de pinos descortezados, así como la recolección de plástico generado por los residuos urbanos de la zona. Por ello a continuación se plantean los criterios básicos a considerar para fabricar este material en la Sierra Norte de Oaxaca.

El modelo planteado se presenta a continuación:

- **Recolección de residuos:** Se recolectarán 560.1 6 ton de corteza aproximadas que se generan al año en aserraderos de la región. En

cuanto al plástico, este se recolectará de los residuos urbanos generados en la población, se propone realizar campañas de recolección, así como incentivar a las poblaciones a dividir la basura según su tipo.

- **Preparación y Producción:** Esta etapa consiste en limpiar el material recolectado, caracterizarlo, prepararlo previamente y producir el material.
- **Comercialización:** Aplicar lo establecido en el estudio de mercado e incentivar a la población a usar sus residuos para producir un nuevo material regional.

En futuras investigaciones, se plantea la búsqueda de recursos económicos por medio del apoyo a municipios de la región. Es necesario presentar un plan de trabajo y mencionar los beneficios ambientales, sociales y económicos que se pueden generar. Esto contribuirá a que las empresas madereras de la región puedan ofrecer un nuevo producto para la construcción, generando una derrama económica mayor (Se considera hablar con el cabildo municipal quienes son los que deciden sobre los aserraderos, ya que la mayoría son comunales, no son privados).

En las siguientes imágenes, se muestra el esquema para obtener el material en la región y las áreas del taller de producción.

El siguiente esquema, muestra las áreas que debe tener el taller de fabricación, de igual forma, se especifica la maquinaria e instalaciones para cada zona.

PRODUCCIÓN EN SIERRA NORTE DE OAXACA → Materia prima

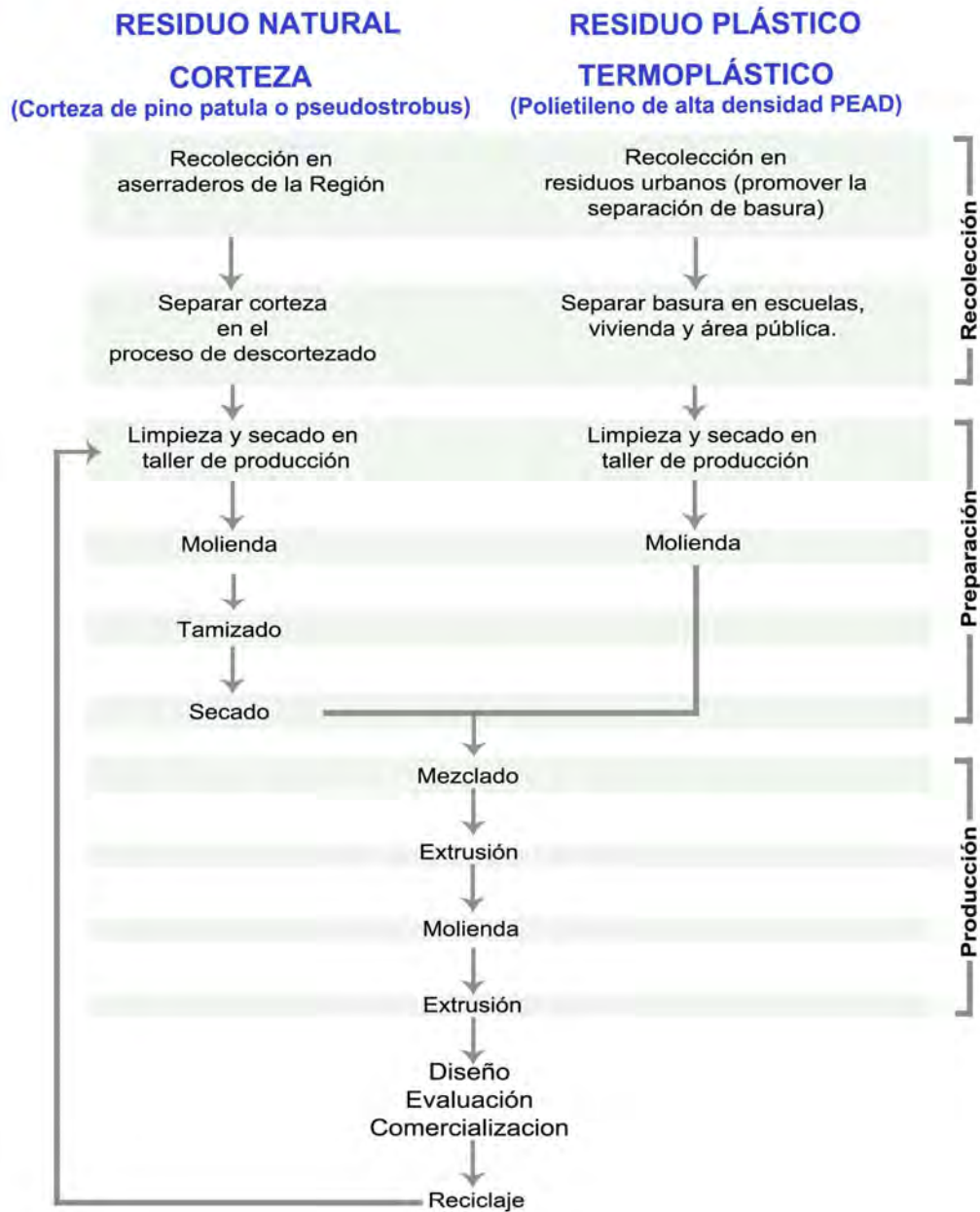


Imagen. 62. Esquema de producción propuesto. Elaboración propia, 2015.

Esquema de zonas para la producción del material corteza-plástico.



Imagen. 63. Esquema de zonas, maquinaria e instalaciones necesarias para la producción del material propuesto.

Elaboración propia, 2015.

Esquema de zonas para la producción del material corteza-plástico.

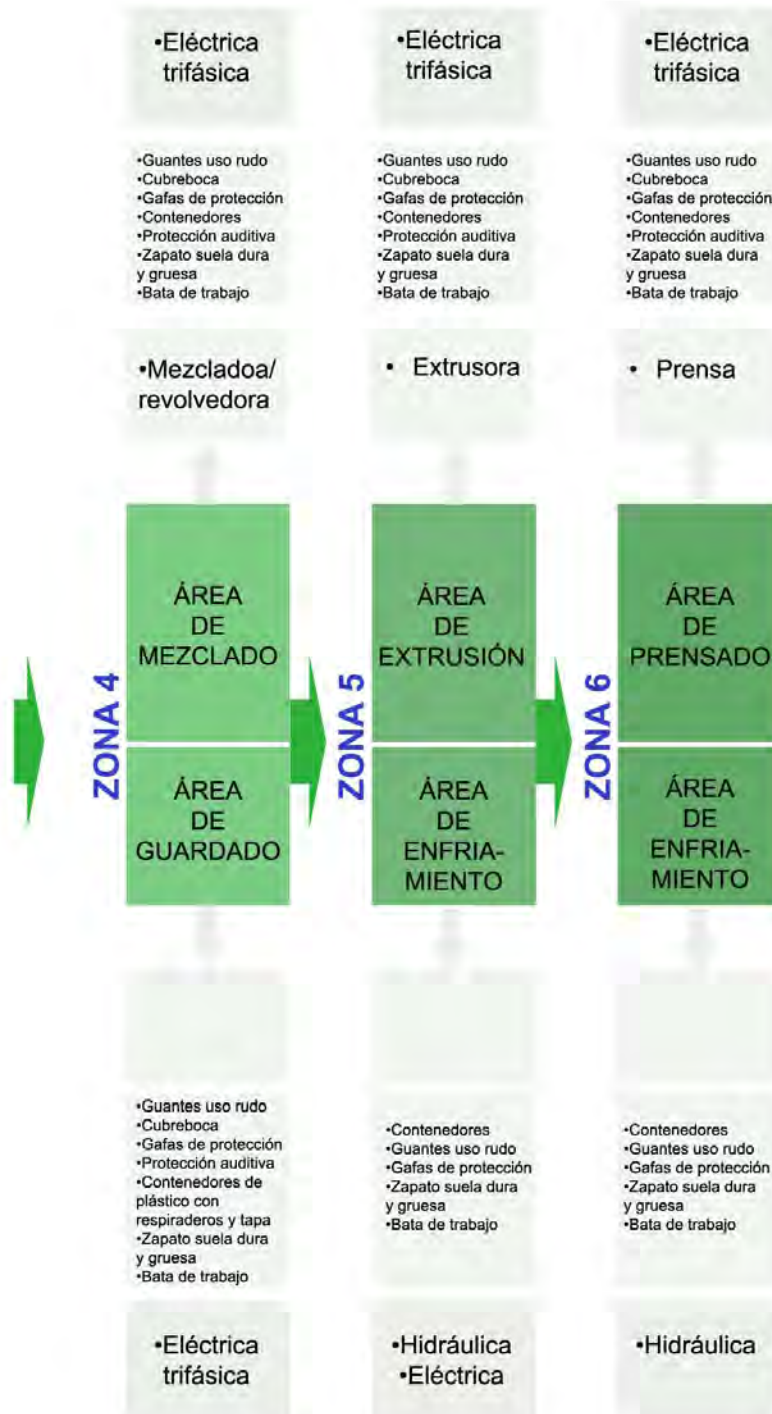
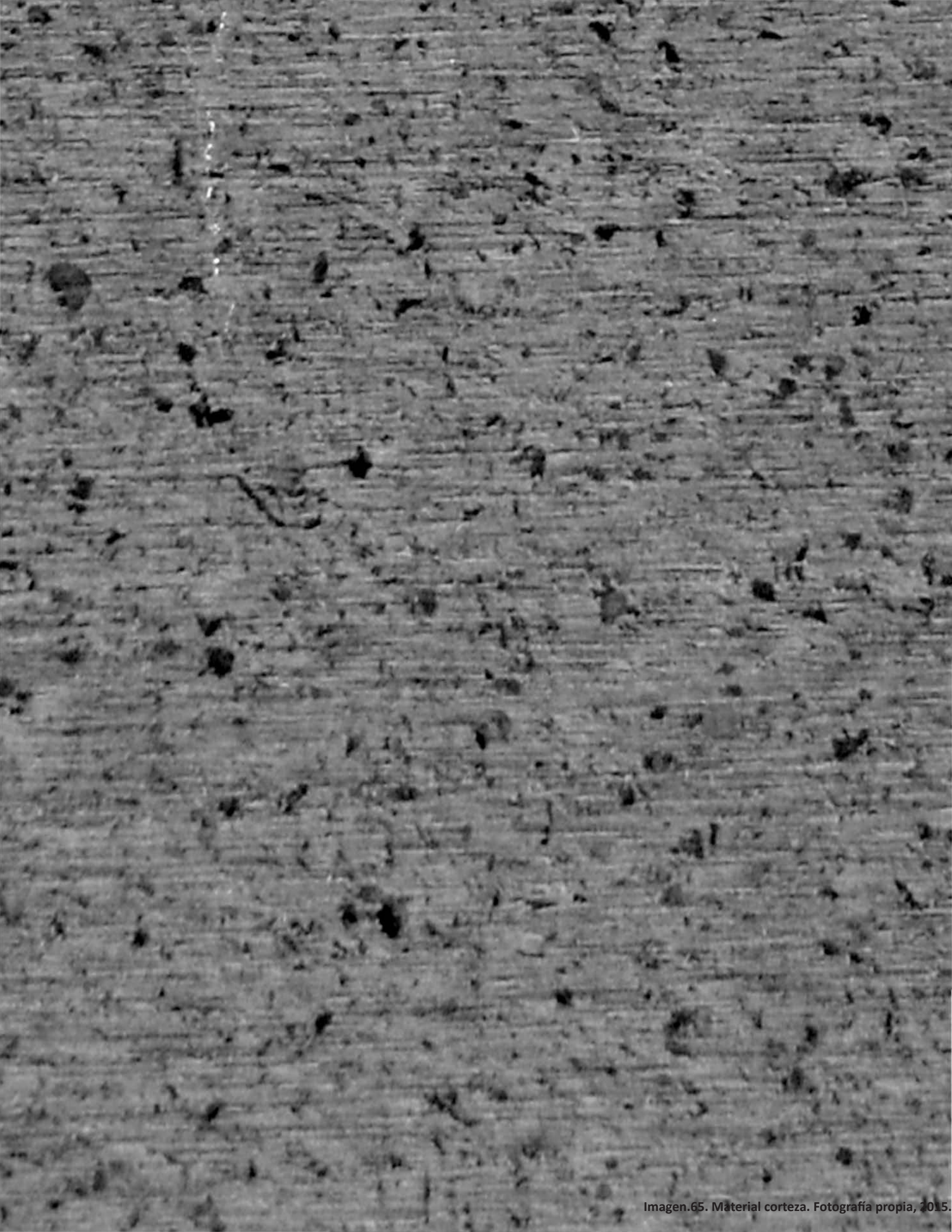


Imagen. 64. Esquema de zonas, maquinaria e instalaciones necesarias para la producción del material propuesto.

Elaboración propia, 2015.



[CONCLUSIONES]

Uso de Madera en la construcción mexicana.

En la investigación se estudió la madera, se analizó su uso como material de construcción en México y el por qué es importante cerrar el ciclo de este material en nuestro país. Es necesario innovar y conocer las nuevas tecnologías de transformación y construcción.

La existencia de una cultura con poco interés en la investigación, uso y cuidado de la madera genera una percepción de inseguridad hacia productos maderables para la construcción. Es fundamental promover el uso correcto de la madera, tanto en profesionistas como en usuarios.

Todavía existe en los profesionales y personas dedicadas a la construcción la idea que la madera es un material desechable en el proceso de construcción, que solo sirve como cimbra. O simplemente no se tiene en cuenta el valor ambiental del material.

Ante esto, es indispensable que el arquitecto tenga claro las propiedades de los materiales que ocupa, en cuanto a la madera, es necesario conocer su origen, sus ventajas y desventajas para poder aplicarla adecuadamente. De igual forma considerar la ventaja de aprovechar residuos maderables para reintroducirlos correctamente en el ciclo de vida de la madera.

En México la madera y sus derivados pueden usarse en regiones donde la actividad económica es la industria forestal, un ejemplo es la Región Sierra Norte de Oaxaca. En esta

región lamentablemente se pudo apreciar construcciones de madera costera que no cumplen con criterios estructurales y de confort térmico adecuados para los habitantes. La madera costera es considerada residuo o como madera de baja calidad, sin embargo se emplea en la construcción de viviendas por su bajo costo.

Aprovechamiento de residuos madereros.

Como se mencionó anteriormente, el objetivo principal fue trascender en aprovechar madera que se considera residuo y favorecer envolventes arquitectónicas en zonas forestales. En un principio se buscó la forma de usar la madera costera, mejorar ensambles en las envolventes, sin embargo, conforme se fue investigando, la madera costera es difícil de ser ensamblada por sus variables en dimensionamiento. Se observó que parte de esta madera contiene corteza, material que es considerado residuo o combustible. Por lo tanto la corteza fue el punto clave en la investigación; debido a lo aprendido en la maestría durante la materia de tecnología de la madera, los avances tecnológicos, la problemática de los residuos y la estancia de investigación, la corteza tomó fuerza para ser transformada en un nuevo material. Se sabe que los residuos en un futuro serán los recursos a explotar, y por qué no empezar una cultura sustentable en una región forestal con alto índice de pobreza y marginación.

Material compuesto corteza de pino y plástico.

Durante la investigación, se estudió la formulación del material corteza/plástico. Se logró realizar una estancia de investigación en Chile, potencia de la industria forestal, donde se observó y experimentó la método a seguir para formular el compuesto.

Este material presento resultados favorables en cuanto a su conductividad térmica, la cual puede ser comparada con otras maderas como roble (encinos) y haya, o el concreto celular (materiales que favorecen el aislamiento térmico). En cuanto a los resultados de hinchazón y absorción, se presentó un porcentaje mayor comparándolos con un producto madera/plástico, sin embargo es necesario realizar otra prueba, ya que en la cámara de envejecimiento acelerado se observó lo contrario.

La prueba de deterioro por envejecimiento, demostró que este material presenta menos deformaciones físicas ante factores atmosféricos (lluvia y rayos UV) en comparación con materiales compuestos madera-plástico, maderas latifoliadas y madera de pino tratada. En cambio presenta una mayor decoloración que todos los materiales con los que se comparó. Estudiando los compuestos madera-plástico, la decoloración se puede evitar.

Las pruebas mencionadas en el capítulo 3, se realizaron del compuesto fabricado en Chile, con una corteza de pino radiata. Este pino se

seleccionó por ser una especie que existe en México y por ser de características similares a los pinos de la Sierra Norte de Oaxaca. El pino radiata se utilizó al no contar con el consentimiento de la embajada de Chile para ingresar corteza mexicana, al ser un producto no procesado.

Ante esto, es fundamental repetir el proceso de fabricación con corteza de pino nacional. Esto ya que las propiedades de cada especie e incluso cada árbol son diferentes según las condiciones de su sembrado, clima, edad, etc.

Gracias a esta estancia de 3 meses, se pudo comprobar la viabilidad de la corteza para ser transformada. Como primera prueba y antecedente del material propuesto, se aprovechó el resultado de baja conductividad térmica para realizar la simulación del material implementado en un panel, primero se fabricaron las molduras que conforman el revestimiento y se implementaron al panel de madera. El panel al ser colocado en el módulo de experimentación térmica, respondió de manera adecuada a los factores climatológicos que se presentaron durante la medición, el revestimiento exterior cumplió con la función de protección a la humedad, evitando humedecer la madera del interior.

Los datos obtenidos comprueban que la superficie interior obtiene una menor ganancia de calor por radiación durante el día y en la noche adquiere una menor pérdida de calor.

Se comprobó en las primeras pruebas y

mediciones, que la aplicación de este material como revestimiento exterior en un panel de madera presenta potencial con futuras modificaciones.

Estas modificaciones podrán estudiarse con compuestos formados con la corteza de pinos mexicanos como la de pino Patula en el estado de Oaxaca. Para mejorar el compuesto con corteza de pinos mexicanos, se presentan las siguientes recomendaciones:

- Caracterizar la morfología , propiedades térmicas, físicas y nano-mecánicas de la corteza
- La mayoría de compuestos plástico-fibras naturales son considerados menos rígidos o resistentes que la madera sólida, por lo tanto se recomienda usar un agente acoplante para mejorar la adhesión entre las fibras hidrofílicas de la corteza y los termoplásticos hidrofóbicos
- Determinar y analizar el comportamiento entre la fibra de corteza y agentes acoplantes
- Usar agentes de protección a rayos UV
- Analizar el uso de agentes espumantes para reducir la densidad del material
- Realizar pruebas mecánicas del compuesto
- Reforzar el plástico (mejorar sus propiedades)

La fabricación de estos materiales es una opción para ser producida en regiones forestales donde se genera residuos de corteza y plástico generado

por los residuos urbanos de poblaciones cercanas. Finalmente, la hipótesis fue comprobada favorablemente, el proceso fue evolucionando durante la investigación, se fabricó el material de corteza, se evaluó y se implementó en el panel. El panel se sometió a una simulación térmica y se comprobó que se genera un estado de confort térmico adecuado en el interior de una envolvente arquitectónica. Con futuras modificaciones puede implementarse como material para exteriores, como: revestimiento exterior, deck, mobiliario urbano y marcos de ventanas.

Futuras investigaciones:

- Nuevos materiales para la construcción a base de corteza de pinos mexicanos y resinas
- Mediciones térmicas del material corteza/plástico
- Pruebas mecánicas del material corteza/plástico
- Fabricación de una vivienda con el panel propuesto
- Nuevos materiales a base de madera costera y plástico
- Desarrollo de un modelo de negocios para la fabricación y producción del compuesto
- Investigación y reutilización de madera residual para ser usada en envolventes arquitectónicas
- Reciclar la cimbra de madera para nuevos elementos constructivos
- Uso de la madera como potencial para incrementar la calidad de vida en viviendas
- Tecnología de la madera; nuevos sistemas constructivos

BIBLIOGRAFÍA

- Ballerini, A. Bustos X. Nuñez, M. Wechsler, A. 2008. Innovation in window and door profile designs using a Wood-plastic composite. In: Proceedings of the 51st International Convention of Wood Science and Technology. Paper SW05-. Concepción-Chile. 9p. Consultado el 13 de Noviembre del 2015 de <http://www.swst.org/meetings/AM08/proceedings/WS05-.pdf>
- Berge, B. (2000). Ecology of Building Materials. Oxford, UK : Architecture Press
- Bruce R. (1980). Understanding Wood. A craftsman's guide to Wood technology. United States of America. The Taunton Press. Inc.
- Bruce R. (1980). Understanding Wood. A craftsman's guide to Wood technology. United States of America: The Taunton Press. Inc.
- García, B. (2008). Ecodiseño "Nueva herramienta para la sustentabilidad". México: Editorial Designio
- Hernández, M. (2016). Alternativa de Vivienda de Madera para las Regiones Forestales de Durango. (Tesis de Maestría) Consultada el 22 de Marzo del 2016 de <http://oreon.dgbiblio.unam.mx/>
- Hurtado. D. (2000). Tecnología de la madera. México. DF: D. R. Librearía, SA de CV.
- Jones, M. (1996). Procesamiento del plástico. México DF: Limusa
- Kaufmann, H. & Nerdinger, W. (2012). Building with Timber. Paths into the future. Munich. Prestel.
- Kollman, F. & Coté, A. (1968). Principles of Wood Science and Technology. Volume I. Solid Wood. New York, United States of America: Springer.
- Kuber, H. (1989). Concise Encyclopedia of Wood & Wood – Based Material. Cambridge, Massachusetts: Pergamon Press.
- Muñoz, F. 2013. Diseño y Caracterización de un material Híbrido en base a fibras lignocelulósicas de la corteza de Eucalyptus nitens como un elemento constructivo. Tesis doctoral Universidad del Bío Bío, Chile.
- Nutsch W. (2000). Tecnología de la madera y del mueble. Barcelona. Editorial Reverté, S.A.
- Ordoñez, C. (1995). Muros de cortante en estructuras de madera. Maderas y Bosques. 50-37:(2)1

- Robles, F. & Echenique – Manrique. R. (1986). Estructuras de madera. México: LIMUSA.
- Yemele, N., Koubaa A., Diouf N., Blanchet P., Cloutier A., Stevanovic T. (2008). Effects of hot water treatment of black spruce and trembling aspen bark raw material on the physical and mechanical properties of bark particleboard. *Wood FiberSci*, 51–339:(3)40.
- Sascha. P (2014). *Material Revolution II. New sustainable and multi-purpose materials for design and architecture*. Traducción del Alemán al Inglés. Basel, Switzerland: Birkhauser.

REFERENCIAS

- Álvarez, E. (2011). Aprovechando los residuos madereros. Consultado el 21 de Marzo del 2016 de http://www.ecoport.al.net/Temas-Especiales/Educacion-Ambiental/Aprovechando_los_Residuos_Madereros
- Anatole, A. (2007). *Wood and plastic composites*. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley
- ARAUCO. ¿Qué es la celulosa? Consultado el 18 de Agosto del 2015 de http://www.arauco.cl/informacion.asp?idq=697&parent=688&ca_submenu=3197&tipo=3&idioma=17
- Arch Timber. NO-COM Exterior. Consultado el 3 de Febrero del 2016 de <http://www.archtimberprotection.com/fire-protection/non-com-exterior/>.
- Architecture Open Library. (2016). *Materials Innovation & Design*, Consultado el 22 de Marzo del 2016 de http://architectureopenlibrary.com/eng/libro/-0-118MATERIALS_INNOVATION_DESIGN
- ASTM E14/72a Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Mon Mar 22:12:41 23 EDT 8 2015
- Bark House. (2016) Consultado el 23 de Marzo del 2016 de <http://barkhouse.com/>
- Birkeland, J. (2002). *Design for Sustainability A Sourcebook of Integrated Eco-logical*
- Braungart, M. & McDonough, W. (2002). *Cradle to Cradle (De la cuna a la cuna)*. United States: North Point Press
- Canadian Wood Council (2014). *Why wood?* Recuperado el 1 de Noviembre del 2014 de <http://cwc.ca/why-wood/>
- Carstensen, K. (2015) ¿Qué significa realmente ser sostenible? Pensamientos del Director General del FSC. Consultado el 25 de Octubre del 2015 de <https://ic.fsc.org/the-root-of-the-matter.720.1277.htm>

- CASSENS, D. (1974). «Bark properties of eight westernsoftwoods», For. Prod. J. 45-40 :(4) 24.
- Catálogo de productos maderables 2009. Conafor. Consultado el 8 de Noviembre del 2015 de <http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Productos-maderables-certificados-Catalogo.pdf>
- Catálogo de productos maderables 2009. Conafor. Consultado el 8 de Noviembre del 2015 de <http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Productos-maderables-certificados-Catalogo.pdf>
- CNN. (2013). Los rascacielos de madera pueden transformar el rostro de las ciudades. Consultado el 21 de Marzo del 2016 de <http://mexico.cnn.com/planetacnn/16/03/2012/los-rascacielos-de-madera-pueden-transformar-el-rostro-de-las-ciudades>
- Comisión Forestal de América del Norte COFAN. (1994). Manual de construcción de estructuras ligeras de madera. México DF: Editado por Consejo Nacional de la Madera en la Construcción, A.C. (COMACO)
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). Manual de Autoconstrucción de Vivienda Rural Sustentable con Madera. Zapopán Jalisco, México: CONAFOR
- CONAPO. (2010). Índice de Marginación por EntidadFederativa y Municipio. Tomado de: www.conapo.gob.mx
- Coneval (2007). Los mapas de pobreza en México. Consultado el 20 de Noviembre del 2014 de www.coneval.gob.mx
- Constitución de los Estados Unidos Mexicanos. Art. 4. Párrafo adicionado DOF 1983-02-07
- Cortez, M & Curiel, M. (2011). Propuesta de un plan de manejo integral de los residuos sólidosurbanos en Santa Catarina Lachatao y San Juan Chicomezúchil, localidades del estado de Oaxaca. SIIR. Consultado el 20 de Marzo del 2016 de <http://www.redisa.uji.es/artSim2011/SociedadYGobierno/Propuesta20%de20%un20%plan20%de20%manejo20%integral20%de20%los20%residuos20%slidos20%urbanos20%en20%Santa20%Catarina20%Lachatao>
- Cradle to Cradle Certification. Instituto de Innovación en productos <http://www.c2ccertified.org/>
- de la madera en función del peso específico de la pared celular y variables ambientales. Consultado el 08 de Octubre del 2015 de <http://www.scielo.cl/pdf/maderas/v13n3/ART02.pdf>
- Downloaded/printed by (INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

- Echeverría, J. (2011). Materiales Biocompuestos para el diseño ecológico. Caso de estudio: Fibras de Bagazo de Agave tequilana como Agente de Refuerzo para el Biopolímero. (Tesis de Maestría). Disponible en la bases de datos de TESIUNAM
- Eguiluz, T. 1978. Ensayo de Integración de Conocimientos sobre el Género Pinus en México. Tesis Profesional. Departamento de enseñanza Investigación y Servicios en bosques. Universidad Autonoma de Chapingo. México.
- EINWOOD .2010. Wood Plastic composite. WPC corporation. Consultado el 20 de Marzo del 2016 en <http://www.greentins.com/doc/EINWOOD20%Catalog.pdf>
- Enciclopedia BARSÁ. (1980). de consulta fácil. Tomo V.
- Estrategia Nacional de manejo forestal sustentable para el incremento de la producción y productividad (2014) 2018-2013). Programas Específicos de Intervención Institucional. México: CONANFOR
- Estudio FAO Montes (1991) .93). Aprovechamiento Potencial De Los Residuos De Madera para la Producción de Energía. FAO. ISBN 9-302912-5-92
- Forest Products Laboratory. 1999. Wood handbook—Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p.
- FSC México. Consultada el 18 de Agosto del 2015 de http://www.mx.fsc.org/reconocimiento_del_fsc.html
- Garay, R, & Henriquez, M. (2010). COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TABLEROS Y MADERA DE PINO RADIATA CON Y SIN PINTURA RETARDANTE DE LLAMA. Maderas. Ciencia y tecnología, 24-11 ,(1)12. Retrieved February 2016 ,04, from http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S221-0718X2010000100002&lng=en&tlng=es. 10.4067/S221-0718X2010000100002.
- García, J. (2011). México genera 3.8 millones de toneladas de basura plástica al año: ANIPAC. Consultado el 30 de Marzo del 2016 de <http://www.oem.com.mx/elmexicano/notas/n2169886.htm>
- Gobierno del Estado de Oaxaca. (2011). Planes Regionales de Desarrollo de Oaxaca (2011) .2016-2011). Región Sierra Norte. Consultado el 30 de Octubre de 2014 de <http://www.transparenciapresupuestaria.oaxaca.gob.mx/pdf/03/Sierra20%Norte.pdf>
- Gobierno del estado de Oaxaca. (2014). Región Sierra Norte. Consultado el 20 de Septiembre del 2014 de <http://www.oaxaca.gob.mx/>

- Gobierno del Principado de Asturias. (2011). Estrategia regional de aprovechamiento sostenible de la biomasa forestal. Diseño de programas y medidas. Consultado el 15 de Abril de 2015 de https://www.asturias.es/Asturias/descargas/PDF_TEMAS/Agricultura/Politica20%Forestal/formacion/RI08-_ESTRATEGIA_BIOMASA_-02 Medidas.pdf
- Green Pace México. (2016). Basura cero. Consultado el 21 de Marzo del 2016 de <http://www.greenpeace.org/mexico/es/Campanas/Toxicos/basura-cero/>
- Grobbelaar, F. & Manyuchi, K. 2000. Eucalypt debarking: an international overview with a Southern African perspective. Forest Engineering Southern Africa (FESA) 68 p. Consultado el 12 de Noviembre del 2015 de <http://www.yourday2day.com/site2/icfrfiles/publication/FESA/Eucalypt20%debarking.PDF>
- Hinz, V & Peraza, F (1986). Protección de la madera. I Jornadas Nacionales de la Madera en la Construcción. Madrid: Impresores, S.A. Albasanz
- Hinz, V. (1995). Informe tecnológico “La madera material de construcción de Chile en el futuro”. Centro de transferencia de tecnología Chileno Alemán, Cooperación técnica chileno alemana del estado de Baden-Wurtemberg. CWZ-sercotec. Concepción.
- Hinz, V. (1995). Informe tecnológico “La madera material de construcción de Chile en el futuro”. Centro de transferencia de tecnología Chileno Alemán, Cooperación técnica chileno alemana del estado de Baden-Wurtemberg. CWZ-sercotec. Concepción.
- INEGI, (2010). Censo General de Población y Vivienda. Consultado el 30 de Octubre del 2014 en <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>
- INEGI. (2010). Censo de Población y Vivienda.
- INEGI. Censo de Población y Vivienda (2010). Tabulados del Cuestionario Ampliado. Viviendas particulares habitadas y su distribución porcentual según material en techos para cada entidad federativa y material en paredes.
- Intraplás 2015. Plastic. Consultado el 11 de Noviembre del 2015 de <http://www.yourday2day.com/site2/icfrfiles/publication/FESA/Eucalypt20%debarking.PDF><http://www.intraplas.pt/en/aprender/plastico.asp>
- Investigación Fondef D03i1020. Diseño por envolvente. Centro de Innovación y Desarrollo de la Madera - CORMA UC. Consultado el 15 de Marzo del 2015.
- Jayaraman, K & Bhattacharyya, D. (2004). Mechanical performance of Wood fiber-waste plastic composite

materials: Elsevier Resource Conserve recycled 319-307 :(4) 41.

- La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de febrero de 2003 y en su última reforma publicada el 04 de junio de 2012, en el Título Tercero “De la Política Nacional en Materia Forestal”. Capítulo I “De los criterios de la Política Nacional Forestal”, artículo 30.
- López ,J. Ramón, S. Cuantificación de taninos condensados de corteza y madera en la especie sangre de drago (*Jatropha dioica*)
- Mallick, P. (2007). Overview-Fiber reinforced composites materials manufacturing and design. °3 edition: CRC Press Taylor & Francis
- Migneault, S., Koubba, A., Erchiqui, F., Chaala, A., Englund, K., Wolcott, M. (2008) Effect of fiber length on processing and properties of extruded wood-fiber/HDPE composites. *Journal of Applied Polymer Science* :(2)110 1092-1085
- Montaner, J. (2014). Del diagrama a las experiencias, hacia una arquitectura de la acción. Barcelona: Gustavo Gili. SL
- Nabi, D., & Jog, P. (1999). Advances in Polymer Technology. Natural Fiber Polymer Composites. :(4)18 363-351
- Naciones Unidas. (2011). Desarrollo sostenible de los asentamientos humanos y gestión ecológicamente
- Neowood España, Características técnicas. Consultado el 15 de Noviembre del 2015 de <http://www.neowood.es/caracteristiques.php>
- NORMA Oficial Mexicana NOM-020-ENER2011-, Eficiencia energética en edificaciones.-Envoltente de edificios para uso habitacional.
- Ordóñez, V. & Dávalos S. (1985). Manual de clasificación visual para madera estructural. Nota técnica 12. INIREB-LACITEMA. Xalapa, Ver. s/p.
- Parker, H. (1995). Diseño simplificado de estructuras de madera. México, D.F: LIMUSA, S.A de C.V.
- Pásztor. Z & Ronyecz. I (2013). The Thermal Insulation Capacity of Tree Bark. University of West Hungary, Hungary.
- Pérez, N. Valenzuela, L. Díaz, J. Ananías, R. (2011). Predicción del contenido de humedad de equilibrio
- Poblete, H & Sánchez, J. Tableros con corteza de *Pinus radiata*. BOSQUE 1991 ,26-17 :(1)12. Consultado el

18 de Noviembre del 2015 de <http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v12n1/art03.pdf>

- PROMÉXICO. (2014). LOS MATERIALES ECOLÓGICOS SON ESENCIALES PARA FOMENTAR LA ARQUITECTURA SUSTENTABLE EN MÉXICO. Consultado el 21 de Marzo del 2016 de <http://www.promexico.gob.mx/desarrollo-sustentable/los-materiales-ecologicos-son-esenciales-para-fomentar-la-arquitectura-sustentable-en-mexico.html>
- racional de los desechos sólidos. E/CN.2001/17/PC/1. Consultado el 21 de Marzo del 2016 de <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N72/292/01/PDF/N0129272.pdf?OpenElement>
- Rafael F. del Castillo. Jorge A. Pérez. Georgina Vargas. Y Raúl Rivera CIDIR OAXACA. Biodiversidad de Oaxaca. Lista de las coníferas de Oaxaca.
- Ramírez, G.I.; Di Pace, A. 2002. Comportamiento al fuego de revestimientos de madera. Materiales, Desarrollo tecnológico y precompetitivo. 4º Jornadas de Desarrollo e Innovación. Consultado el 03 de Febrero del 2016 de <http://www4.inti.gov.ar/GD/4jornadas2002/pdf/cecon016-.pdf>
- Red de monitoreo de políticas públicas (2014). CCMSS nota informativa 38. Consultado el 2 de Noviembre del 2014 de www.ccmss.org.mx
- Rethink Wood (2014). Organización conformada por: Binational Softwood Lumber Council, Forestry Innovation Investment, Softwood Lumber Board, WoodWorks, American Wood Council y Canadian Wood Council.
- Revestimiento ARUCOPLY. Consultado el 15 de Noviembre del 2015 de http://www.arauco.cl/_file/file_4017_arucoply20%revestimiento.pdf
- Rosete, F, J. Pérez, L. Villalobos, N. Navarro, E. Salinas, R. Remond, N. (2014). El avance de la deforestación en México 2007-1976. Madera y Bosques 35-20:21.
- Salcedo, O. (2015). Madera plástica de PEAD (Polietileno de alta densidad) Reciclado como material estructural. (Tesis de Maestría). Consultado de la base de datos TESIUNAM. (ID 514008677).
- SEMARNAT. (2015). Estudio de cuenca de abasto para el desarrollo industrial forestal maderable de la región Sierra Juárez, Oaxaca. Consultado el 14 de Marzo del 2016 de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/6398/22Sierra20%Norte20%de20%Oaxaca.pdf>
- Sierras del Norte de Oaxaca. RTP130-. "REGIONES TERRESTRES PRIORITARIAS DE MÉXICO". Consultado el 04 de Noviembre del 2015.
- Solutions. Londres: Earthscan Publication Ltd.

- SOPP, L. & KOLOZS, L. (2000): Fatömeg-számítási táblázatok [Wood volume tables]. Budapest: Állami Erdészeti Szolgálat.
- TED. (2013). ¿Por qué debemos construir rascacielos de madera?/ Michael Green. Youtube. Consultado el 15 de Marzo del 2016 en https://www.youtube.com/watch?v=Xi_PD5aZT7Q
- Vidal, M. (2015). Madera impregnada con CCA y sus riesgos. Centro de investigación de polímeros avanzados CIPA. Consultado el 15 de Noviembre del 2015 de <http://www.cipachile.cl/?p=4173>
- Viñolas, J. (2005). Diseño Ecológico. Barcelona: Blume
- Wolcott, P & Englund, K. (1999). A Technology Review for Wood Plastic Composites. International 33rd Particleboard/Composite Materials Symposium Proceedings. Consultado el 15 de Febrero del 2016 de http://wpcinfo.org/techinfo/documents/wpc_overview.pdf
- Wolman GmbH. Wolmanit Firestop. Consultado el 3 de Febrero del 2016 de http://www.wolman.de/en/fire_protection/application_processes/Mode_of_action_and_application_firestop.php?thisID=405
- WPC. Consultado el 27 de Octubre de 2015 de <http://www.sct-straw.com/wpc.html>.
- Youngquist, J. (1999). Wood-Based Composites and Panel products, in: Wood Handbook: Wood as an Engineering Material, Gen. Tech. Rep. FPL-GTR113-, Madison, WI:US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory
- Zhang, J., Park, C., Rizvi, G., Huang, H., Guo, Q. (2009). Investigation on the uniformity of high-density polyethylene/Wood fiber composites in a twin-screw extruder. Journal of Applied Polymer Science -2081 :(4)113-118

GLOSARIO

Adhesivo: Sustancia capaz de sujetar dos cuerpos

Aislamiento: Operación que se usa para evitar la propagación del calor o frío

Aislante: Material que aísla el sonido, calor o frío.

Anhidro: no contiene agua.

Aserradero: Lugar donde se transforma la madera de troza (rollo) a tablas.

Aserrío: proceso de transformación de la madera donde se generan tablas, tablones, polines, etc.

Bastidor: Soporte estructural.

Biomasa residual: Materia orgánica que no se usa en el proceso de aserrío de la madera, como el aserrín, viruta o corteza.

Compuesto: Elemento creado a partir varios compuesto

Conductividad térmica: Capacidad de los materiales para conducir el calor.

Confort: Es aquello que produce bienestar y comodidades. Cualquier sensación agradable o desagradable que sienta el ser humano. Es variable según la percepción de cada ser humano.

Corteza: Parte exterior de la parte leñosa del tallo o de la raíz de los árboles y otras plantas.

Descortezado: Primer corte del aserrío de la troza de madera.

Entramado: Disposición constructiva basada en la utilización de piezas estructurales de tipo lineal, que se combinan en diversas posiciones para constituir estructuras simples.

Extrusoras de doble husillo: Maquinaria para mezclar a presión compuestos a altas temperaturas.

Hábitat: Completa satisfacción en el espacio que se habita

Hidrofílicas: Compatibles con el agua

Hidrofóbicos: No compatibles con el agua

Lignocelulósicas: Compuestos formados por lignocelulosa y celulosa.

Madera certificada: madera procedente de bosques controlados para su correcta preservación.

Madera costera: Primeras tablas generadas por el proceso de aserrío de la madera, contiene corteza

Madera de coníferas: Madera originaria de clima frío (coníferas)

Madera: Material orgánico compuesto por lignina, celulosa y extraíbles.

Maderas latifoliadas: Madera originaria de clima cálido (Madera tropical)

Panel compuesto: productos prefabricados formados por un alma de un material aislante (generalmente espumas sintéticas) y dos paramentos, principalmente de tableros derivados de la madera.

Panel: Plancha prefabricada de diversos materiales

que se usa en construcción para dividir o separar espacios.

Pellets: Pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido.

Pino radiata: El pino insigne, pino de Monterrey o pino de California, tipo de conífera.

Pino: Árbol resinoso cuyos frutos son los conos o pinas.

Protector de madera: Sustancias químicas que utilizadas solas o en combinación, las cuales le proporcionan mayor resistencia a la madera ante los agentes atmosféricos.

Retardante de fuego: compuestos químicos que incrementan significativamente el punto de ignición de los elementos

Rollo: Madera en troza, sección del fuste de un árbol, se genera durante el proceso de tala.

Sustentabilidad: Capacidad de aprovechar los recursos, satisfaciendo nuestras necesidades, tomando en cuenta los impactos ambientales que generamos, y sin afectar el ciclo de vida en el presente y futuro.

Tablero OSB: Tablero de virutas orientadas y conglomeradas, se compone de varias capas orientadas de forma perpendicular a la anterior.

Tablero: Placa de madera, plana, más larga que ancha y poco gruesa, formada por una tabla o varias tablas

Tejamanil: rebanadas de madera, su corte es delgado

y por lo general en sentido radial a la troza. Se ocupa en cobertizos y como revestimiento exterior en muros.

Termoplásticos: Tipo de plástico que a temperaturas altas se deforma y se endurece cuando se enfría.

Vivienda: Espacio que sirve de protección al hábitat de las personas



ANEXOS

ANEXO I

Evaluación térmica interior; Medición del espacio interior en vivienda construida con madera costera localizada en la región Sierra Norte de Oaxaca, México.

Nubia Luna Rueda
nubiense@hotmail.com

INFORMACIÓN

UBICACIÓN:
Región Sierra Norte de Oaxaca.
Población: San Antonio Cuajimoloyas.
Altitud: 3200 msnm.
Latitud: 17° 7'11.76"N
Longitud: 96°27'0.66"O
Zona: 14 Q
Coordenada Este: 771297.90 E
Coordenada Norte: 1894648.90 N

Palabras Clave:
Medición térmica
Envoltorio de madera costera.

RESUMEN

El presente formato, contiene la descripción del experimento planteado, para realizar la evaluación térmica del interior de una vivienda de madera costera. El principal objetivo fue evaluar la temperatura interior de la vivienda y confrontar el resultado con un rango de confort establecido por medio de la ecuación de Auliciems. Se mencionan los datos del lugar, la metodología a seguir y los resultados que muestran que esta tipología de viviendas presenta 2 horas de confort térmico óptimo durante el día en temporada de invierno.

1. INTRODUCCIÓN

El Comité de las Naciones Unidas de Derechos Económicos Sociales y Culturales, ha subrayado, "El derecho a una vivienda adecuada no se debe interpretar en un sentido estricto o restrictivo. Debe considerarse más bien como el derecho a vivir en seguridad, paz y dignidad en alguna parte"¹. Lamentablemente, en varias viviendas, esto no se ve reflejado en la Región Sierra Norte de Oaxaca. La pobreza, la migración, la falta de una educación de calidad, el desconocimiento de las propiedades positivas de los materiales de la región y la falta de una correcta ejecución de los sistemas constructivos, conllevan a hábitats que no cuentan con parámetros óptimos de confort térmico, logrando que los usuarios padezcan temperaturas bajas en el interior de las envolturas; incrementando problemas de salud y bajo rendimiento.

Ante esto, se busca explicar un problema de habitabilidad generado por la mala ejecución de las

viviendas de madera. Lo que contribuye a condiciones de vida indigna en la zona.

2. TIPOLOGÍA DE VIENDA

La vivienda medida es de madera, autoconstruida con cimentación de mampostería de piedra de la región y polines de madera, muros perimetrales de madera costera² y polines, cubierta de madera y lámina galvanizada.

El espacio medido fue el área común de la vivienda que funciona como sala, comedor, área de estudio para los niños y cocina.



Ubicación de Sierra Norte en México

¹ Folleto informativo No 21/Rev.1, El derecho a una vivienda adecuada publicado por Naciones Unidas.

² Se entiende por madera costera, a las primeras trozas del aserrío de la madera.



Fotografía del exterior de la vivienda. Foto propia. Diciembre 2014.



Fotografía del interior de la vivienda. Foto propia. Diciembre 2014.

3. METODOLOGÍA

EQUIPO REQUERIDO PARA MEDICIÓN:

Para poder efectuar correctamente el análisis térmico de las viviendas, fue necesario contar con el siguiente equipo de medición.

- 4 Hobos Data Loggers
- 1 Cámara termográfica (Fluke Ti9)
- 1 Termómetro infrarrojo (Fluke 54 II)



Hobo Data Logger



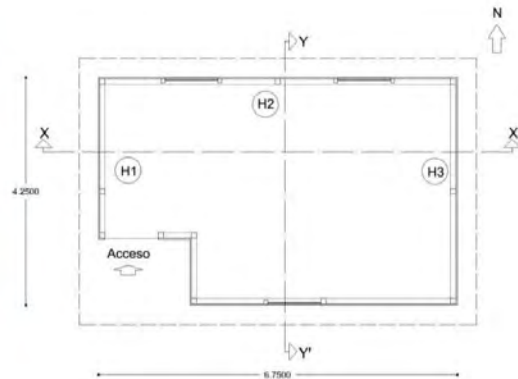
Cámara termográfica y termómetro infrarrojo

UBICACIÓN DEL EQUIPO

La planificación propuesta para medir la vivienda fue la siguiente.

1.- Planificación de ubicación de hobos: Los hobos se ubicaron en tres muros del espacio.

Los hobos tomaron registros durante un mes, del 19 de Diciembre del 2014 al 19 de Enero del 2015. Registrando datos cada hora.



H1= No. Serie 9735461

H2= No. Serie 9735461

H3= No. Serie 9735456

La altura de los hobos fue de 1.70.

La temperatura ambiente se retomó de una estación meteorológica ubicada en la población, estos datos fueron proporcionados por CONAGUA Oaxaca.

2.- Se seleccionaron puntos estratégicos dentro de cada espacio para tomar mediciones con el termómetro infrarrojo. Cabe mencionar que esta medición se realizó dos días, tomado datos en la mañana y medio día.

3.- Las fotos con cámara termográfica se realizaron día 21 de diciembre a las 9:00 y 13:00 hrs. Se tomarán imágenes de cada cara de la envolvente.

4.- Se usó el software Hobo Onset para el leer los datos registrados de los hobo y se procesó toda la información en formato Excel.

4. RESULTADOS

1.- Los resultados del termómetro infrarrojo fueron:

Primera imagen: interior sur

Segunda imagen: interior este

Tercera imagen: interior oeste

Cuarta imagen: interior norte

Quinta imagen: interior losa

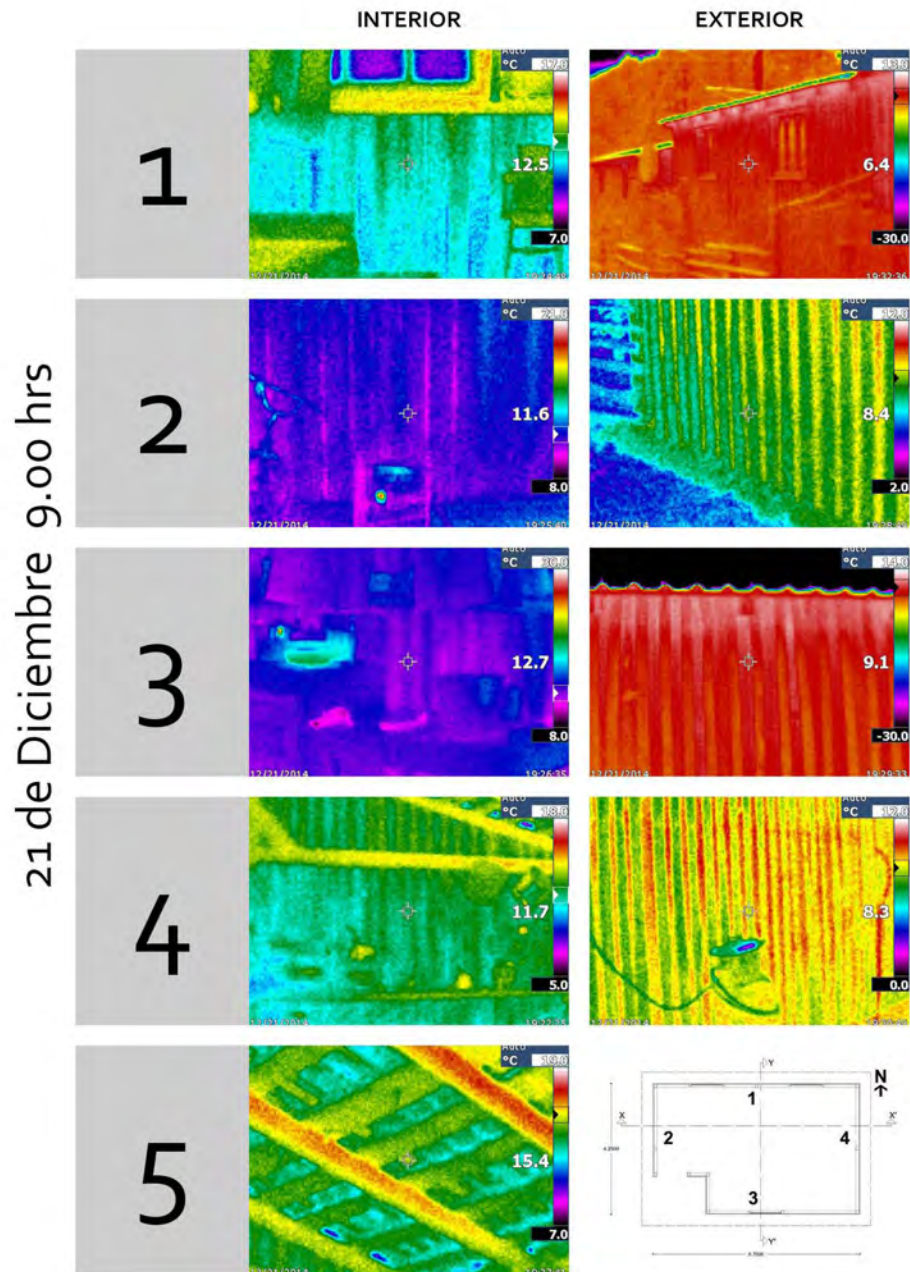


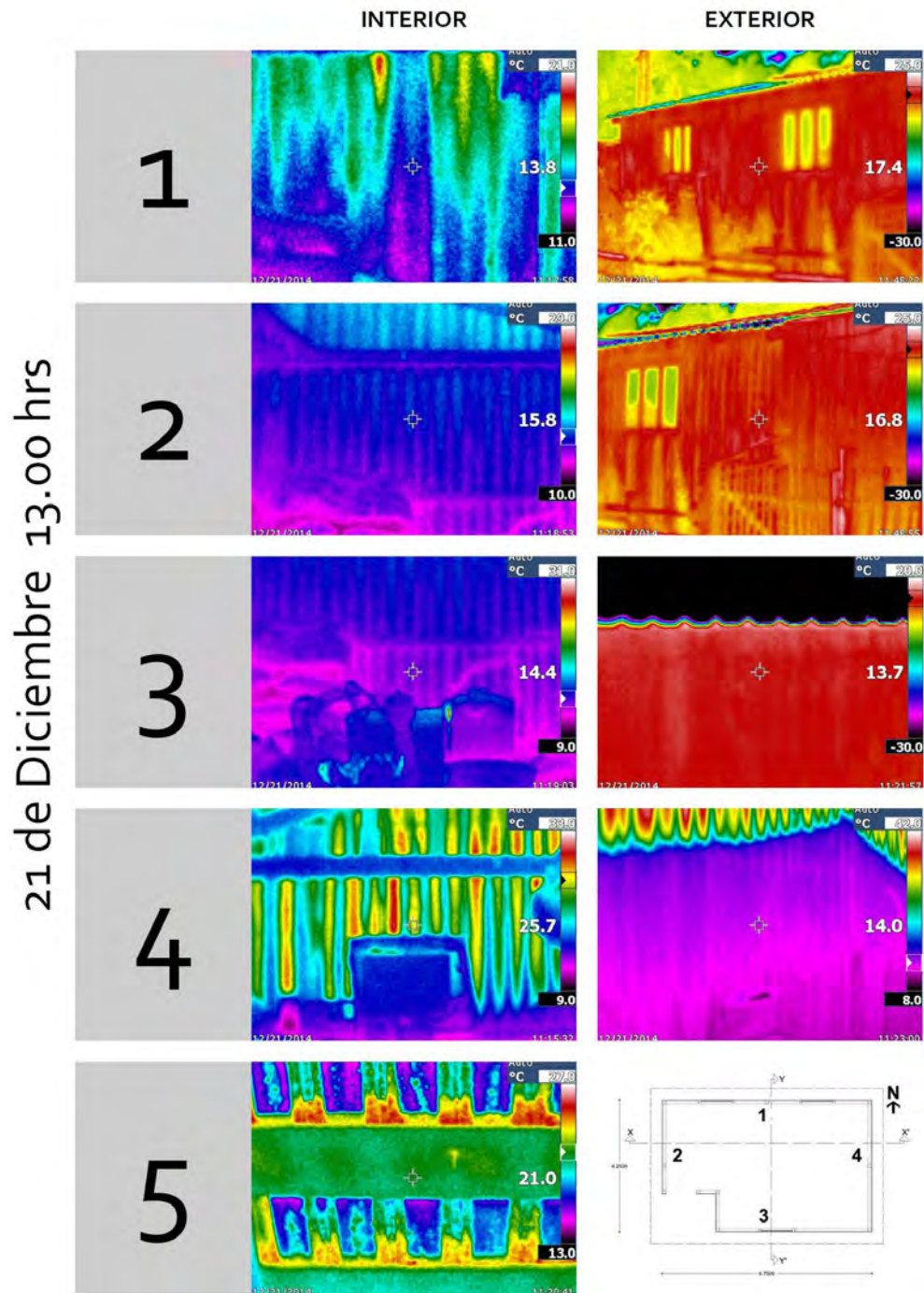
Planos esquemáticos del espacio y ubicación de los puntos medidos con el termómetro infrarrojo.

Medición	Espacio	Día		Diferencia temperatura	
		21 de Dic 10:00am	15 de Enero 17:57 pm	21 de Dic 10:00am	15 de Ene 17:57 pm
1	Interior	15.1	14.2	1	8.5
	Exterior	14.1	5.7		
2	Interior	14.1	14.5	1	7.7
	Exterior	13.1	6.8		
3	Interior	16.3	16.1	0.7	7.2
	Exterior	15.6	8.9		
4	Interior	15	21.1	1.6	1.1
	Exterior	13.4	20		
5	Interior	15.4	16.1	1.2	7.2
	Exterior	14.2	8.9		
6	Interior	25.6	15.3	11.1	9.2
	Exterior	14.5	6.1		
7	Interior	20.3	12	6.9	3.3
	Exterior	13.4	8.7		
8	Interior	13.6	13.8	1.3	6.5
	Exterior	12.3	7.3		
9	Interior	25.7	13	11.3	7.5
	Exterior	14.4	5.5		
10	Interior	23.4	12.5	13	7.3
	Exterior	10.4	5.2		
11	Interior	13.5	12.6	0.5	4.1
	Exterior	13	8.5		
12	Interior	17.6	18.9	3.4	10.4
	Exterior	14.2	8.5		
13	Interior	14.8	19.1	1.8	9.9
	Exterior	13	9.2		
14	Interior	12.1	14.1	0.2	6
	Exterior	11.9	8.1		
15	Interior	17.9	17.5	4	9.8
	Exterior	13.9	7.7		
16	Interior	15.8	17.5	2.7	8.6
	Exterior	13.1	8.9		
17	Interior	13.8	14	1.7	5.2
	Exterior	12.1	8.8		
18	Interior	17.3	18.7	4.6	14.1
	Exterior	12.7	4.6		
19	Interior	20.2	18.2	7.1	12.5
	Exterior	13.1	5.7		
20	Interior	16.4	22.2	4.4	17.6
	Exterior	12	4.6		
21	Interior	16.8	20.7	5	16.4
	Exterior	11.8	4.3		
22	Interior	21.2	12.1	7.3	0.8
	Exterior	13.9	11.3		
23	Interior	18.4	13.1	5.6	1.1
	Exterior	12.8	12		
24	Interior	18.5	12.5	5	0.9
	Exterior	13.5	11.6		
25	Interior	20.2	12.4	7.6	1.8
	Exterior	12.6	10.6		
26	Interior	21.2	12.8	8.7	1.4
	Exterior	12.5	11.4		
27	Interior	17.8	12.8	3.9	1.4
	Exterior	13.9	11.4		

Tabla1 de resultados obtenidos con termómetro infrarrojo

2.- Los resultados con la cámara temográfica son:





Los resultados de los hobos fueron los siguientes:

En la tabla de la izquierda se muestra la temperatura promedio de temperatura ambiente e interior del espacio de cada día medido. Y en la tabla derecha se muestra la temperatura promedio por hora durante el periodo medido.

TEMP. INT	TEMP. AMB	DIA
16.4	7	18
16.2	6	19
14.5	6	20
13.8	6	21
14.4	5	22
12.9	5	23
12.6	6	24
12.3	5	25
14.1	6	26
15.6	7	27
14.5	6	28
15.5	7	29
15.1	8	30
13.7	6	31
13.1	5	1
13.3	9	2
14.7	5	3
12.6	6	4
8.6	3	5
9.5	4	6
9.8	3	7
8.3	3	8
10.6	3	9
11.0	4	10
12.2	5	11
12.9	5	12
9.5	4	13
13.2	5	14
13.9	6	15
13.7	5	16
14.3	6	17
12.3	5	18
16.1	6	19

Tabla 2. Resultados de temperature promedio

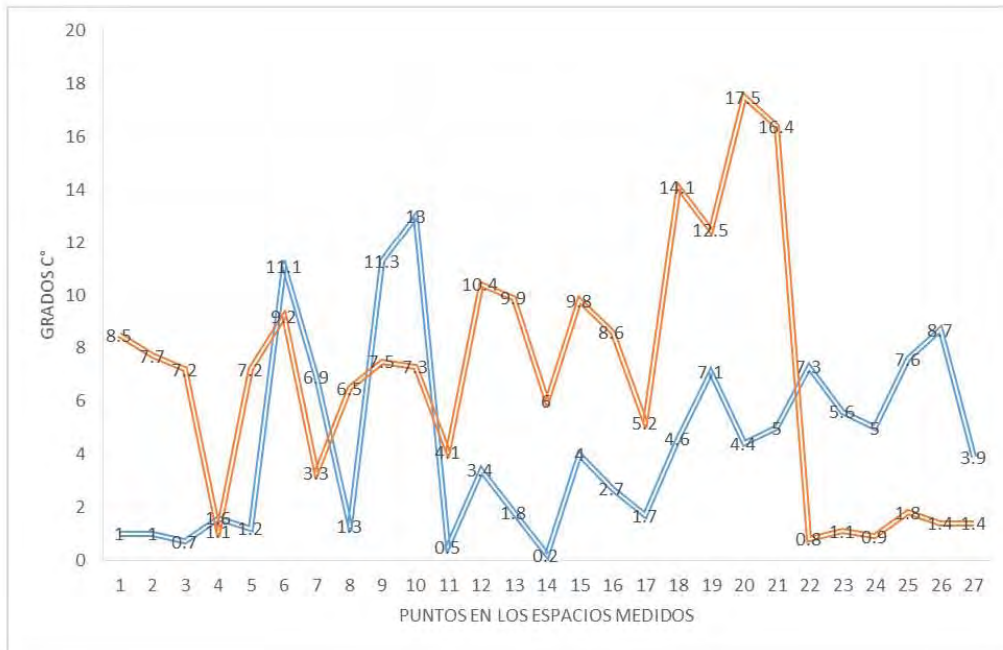
HORA	TEMPERATURA , °C PROMEDIO
1	8.78
2	8.36
3	8.01
4	8.07
5	8.32
6	11.41
7	14.76
8	16.20
9	16.97
10	17.87
11	18.17
12	18.71
13	18.55
14	17.79
15	16.27
16	14.75
17	13.65
18	13.52
19	12.92
20	11.95
21	10.97
22	10.22
23	9.62
24	9.18

Tabla3. Temperatura promedio por hora

5.- ANÁLISIS

1.- En cuanto a los datos obtenidos, se realizaron gráficas, lo cual nos ayudó a comprender el comportamiento térmico del espacio y determinar las conclusiones.

El diferencial de temperatura entre la cara interior y exterior del material de madera ocupado para el espacio se puede apreciar en la siguiente gráfica.



Gráfica 1

Diferencial de temperatura en °C 21 de Diciembre del 2014

Diferencial de temperatura en °C 15 de Enero del 2015

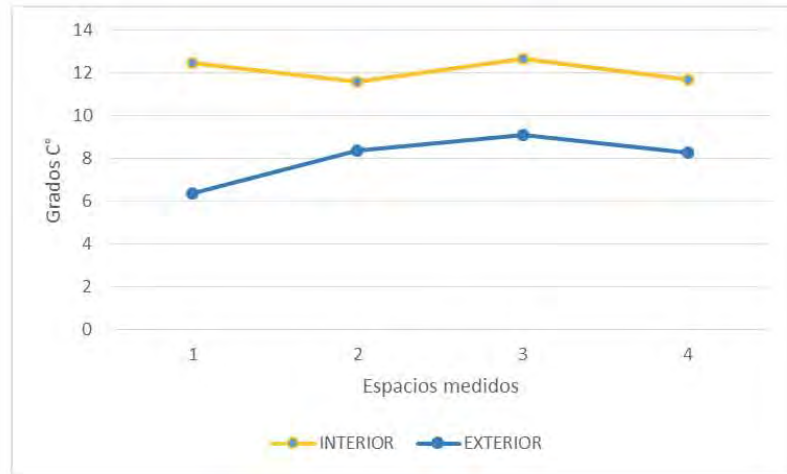
El diferencial de temperatura del 21 de Diciembre es menor al del 15 de Enero. El promedio del diferencial del mes de Diciembre es de 4.5 °C, en cambio en los meses de Enero, el diferencial es de 6.9 °C.

El Diferencial de temperatura entre la cara interior y exterior del material puede variar de 1 a 17.5 °C.

2.- En cuanto a los resultados de la cámara termográfica, se obtuvo: Que durante la mañana la temperatura más alta se presenta en el exterior del material, y en el transcurso del día por las ganancias de calor por personas y actividades, el interior del material incrementa su temperatura.

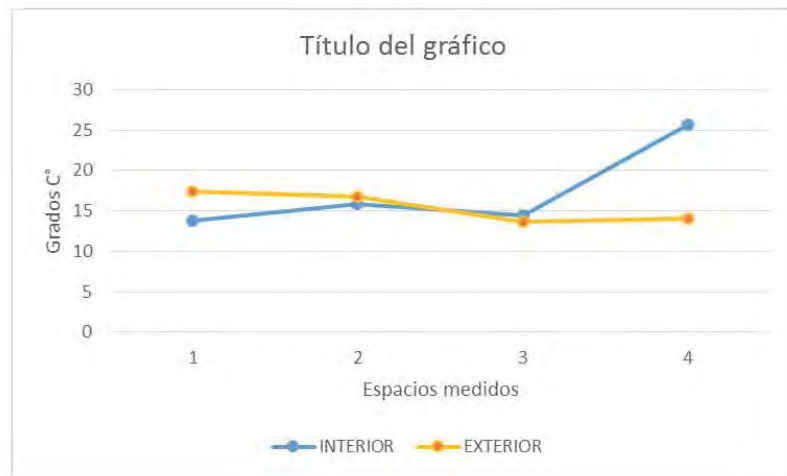
Corteza de pino;

Transformación de residuo de la industria maderera a nuevo material para la arquitectura.



Gráfica 2

Gráfica: Temperatura del material (madera costera) a las 9:00 hrs el 21 de Diciembre del 2014.



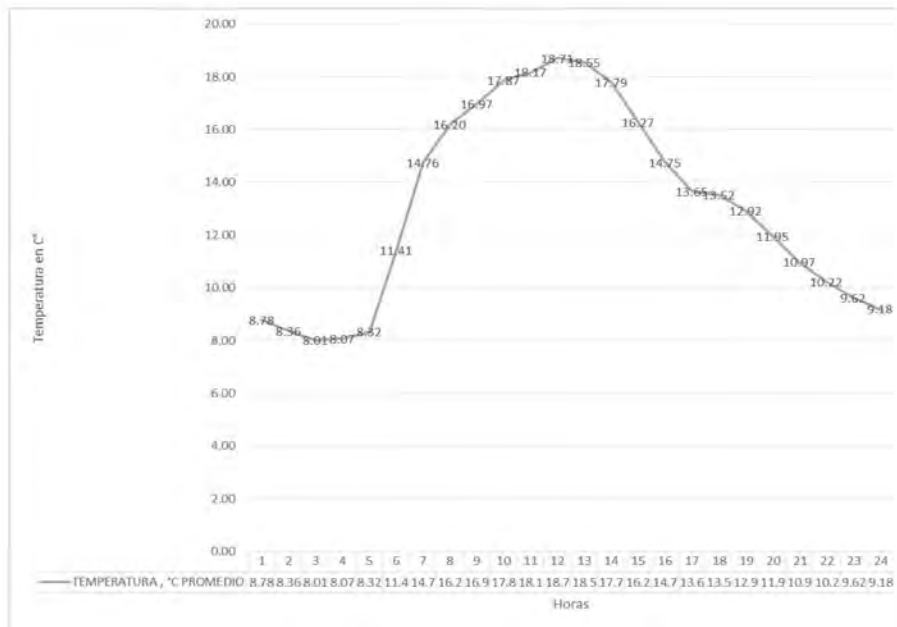
Gráfica 3

Gráfica: Temperatura del material (madera costera) a las 13:00 hrs el 21 de Diciembre del 2014.

3.- Datos obtenidos de la medición con Hobos. En estas gráficas se puede observar el comportamiento de la temperatura interior del espacio.



Gráfica 4



Gráfica 5

6.- Conclusiones.

El comportamiento del interior de espacio es el resultado del material usado en la construcción y del sistema constructivo.

Al establecer un rango de confort térmico para la zona, se ocupó la ecuación de Andris Auliciems³. El rango de confort establecido fue de 18.23 a 23.23 °C, comparando los resultados obtenidos en la gráfica cinco, podemos constatar que durante el día se presentan dos horas de confort térmico. De igual forma, de 6:00 a 16:00 hrs la temperatura aumenta drásticamente, esto se debe al uso de una estufa de leña en el interior.

En cuanto al material de madera costera, se midió la temperatura exterior e interior de este. Conforme a las gráficas, podemos constatar, que el uso como material en la envolvente del espacio, por sí solo no cumple satisfactoriamente una aportación a la percepción térmica de las personas. El diferencial que varía entre 1 y 25 °C y que se presenta al tacto, genera una sensación de frío o calor, tanto por la temperatura ambiental como por la estufa de leña.

El lugar al interior presenta sensación de desconfort térmico y estrés. Este lugar conforme a su uso, adquiere jerarquía en todas las construcciones que conforma la vivienda, ya que es el lugar donde los habitantes pasan el mayor tiempo posible, buscan refugio en el por tener una fuente de calor (estufa de leña) que aumenta la temperatura corporal durante el Invierno, ya que las otras construcciones adyacentes cuyo uso es dormitorio, construidas con el mismo material de madera costera pero con tabla roca al interior, no cuenta con una fuente de calor que les proporcione un mayor confort térmico.

Para mejorar el estado de confort térmico, se recomienda mejorar el sistema constructivo y usar materiales regionales que incrementen la percepción de confort térmico en las viviendas de madera de la región.

³ En 1981 Andris Auliciems uso una base de datos muy grande que incluía tanto edificios ventilados naturalmente como aquellos con acondicionamiento artificial. Él propuso una ecuación la cual relaciona la sensación de confort con la temperatura exterior de bulbo seco.

ANEXO II

Tabla de resultados de mediciones de Hinchazón en Material compuesto Corteza/plástico

HINCHAZÓN	CORTEZA / PLÁSTICO										RESULTADOS											
	Peso inicial	Peso final	t1= espesor inicial				t2= espesor final				Gt=	t2 - t1 x100				PROM	1	2	3	4		
			Puntos				Puntos					t1										
			1	2	3	4	1	2	3	4		1	2	3	4							
A 50/50																						
A1	19.36	20.38	9.25	9.38	9.36	9.19	9.35	9.51	9.40	9.26	1.08	1.39	0.43	0.76	0.91	0.10	0.13	0.04	0.07	1.02	5.27	3.14
A2	19.26	20.18	9.45	9.56	9.46	9.48	9.57	9.80	9.55	9.52	1.27	2.51	0.95	0.42	1.29	0.12	0.24	0.09	0.04	0.92	4.78	2.85
A3	18.71	19.77	9.08	9.28	9.16	9.32	9.36	9.35	9.21	9.37	3.08	0.75	0.55	0.54	1.23	0.28	0.07	0.05	0.05	1.06	5.67	3.36
A4	18.78	19.61	9.43	9.32	8.90	9.16	9.58	9.63	9.15	9.36	1.59	3.33	2.81	2.18	2.48	0.15	0.31	0.25	0.20	0.83	4.42	2.62
															PROM	1.48					PROM	3.00
B 70/30																						
C1	20.51	22.71	9.65	9.71	9.72	9.87	10.14	10	10	10.11	5.08	2.99	2.88	2.43	3.34	0.49	0.29	0.28	0.24	2.20	10.73	6.46
C2	21.61	24.1	9.7	9.83	9.77	9.66	9.97	10.04	10.09	10.08	2.78	2.14	3.28	4.35	3.14	0.27	0.21	0.32	0.42	2.49	11.52	7.01
C3	20.53	22.48	9.58	9.57	9.59	9.29	9.87	9.83	10.06	9.75	3.03	2.72	4.90	4.95	3.90	0.29	0.26	0.47	0.46	1.95	9.50	5.72
C4	20.12	22.39	9.79	9.86	9.77	9.71	10.12	10.15	10.06	10.29	3.37	2.94	2.97	5.97	3.81	0.33	0.29	0.29	0.58	2.27	11.28	6.78
															PROM	3.55					PROM	6.49
C 80/20																						
B1	21.21	23.88	9.3	9.37	9.34	9.21	9.67	9.8	9.83	9.76	3.98	4.59	5.25	5.97	4.95	0.37	0.43	0.49	0.55	2.67	12.59	7.63
B2	20.27	22.98	9.37	9.61	9.47	9.49	9.83	9.62	9.8	9.8	4.91	0.10	3.48	3.27	2.94	0.46	0.01	0.33	0.31	2.71	13.37	8.04
B3	20.95	23.53	9.18	9.21	9.18	9.29	9.79	9.72	9.61	9.72	6.64	5.54	4.68	4.63	5.37	0.61	0.51	0.43	0.43	2.58	12.32	7.45
B4	20.64	23.52	9.44	9.43	8.88	9.25	9.85	9.84	9.81	9.68	4.34	4.35	10.47	4.65	5.95	0.41	0.41	0.93	0.43	2.88	13.95	8.42
															PROM	4.80					PROM	7.88

ANEXO III

Simulación del comportamiento térmico en una muestra de panel; madera y material compuesto de corteza de pino-plástico reciclado.

Nubia Luna Rueda
nubiense@hotmail.com

INFORMACIÓN

UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO
Unidad de Posgrado UNAM.
Laboratorio de Tecnología

Palabras Clave:

Diferencial de temperatura
interior/ exterior
Panel de madera
Corteza/plástico.

RESUMEN

El presente formato, contiene la descripción del experimento.
El principal objetivo: Conocer el comportamiento térmico del panel
Objetivos particulares: Conocer el diferencial de temperatura entre la superficie interior y exterior del panel.
Se comprobó que el uso de la madera y un material compuesto corteza de pino/plástico aumenta el diferencial de temperatura entre la superficie exterior e interior del panel.
Los resultados demuestran que el diferencial de temperatura entre el revestimiento exterior e interior del panel es de un rango de entre 3 y 24 °C.

1. INTRODUCCIÓN

Durante el tema de investigación de la presente tesis, se midió el comportamiento térmico de una vivienda construida con madera costera (madera con un porcentaje de corteza, es el primer corte del aserrío). Se concluyó que el estado de confort térmico para los usuarios no es el adecuado, al igual que el sistema constructivo.

Ante esto, se planteó aprovechar la corteza que surge del aserío de la madera, se fabricó el material expuesto en el tema de investigación, se colocó como revestimiento exterior en un panel de madera y posteriormente se realizó la simulación del comportamiento térmico del panel.

2. METODOLOGÍA

Equipo empleado

- Módulo de experimentación térmica (fabricación y calibración: Arq. David A. Gómez García, estudiante de posgrado de la UNAM.
- 5 Termopares
- Datalogger

Fabricación de muestra del panel.

La evaluación térmica se realizó en una muestra de 30 x 45 del panel propuesto.

La muestra del material, se fabricó, conforme a las especificaciones planteadas en el tema de investigación.



Ilustración 1. Vista superior. Componentes de la muestra

En esta simulación la muestra no contiene aislante térmico.

Medición

En esta etapa, la muestra del panel se colocó en un módulo de experimentación térmica ubicado en la Azotea del Posgrado de la UNAM. Este módulo fue realizado por el Arq. David A. Gómez García, estudiante de posgrado de la UNAM.

El tiempo de medición se realizó en 12 días. Se tomó un registro cada minuto.

El equipo que se ocupó fue:

- 4 termopares colocados en las caras interiores del módulo y en la cara interior de la muestra.
 - 1 termopar en la cara exterior de la muestra.
- Estos se conectaron a un datalogger, el cual registro los datos.

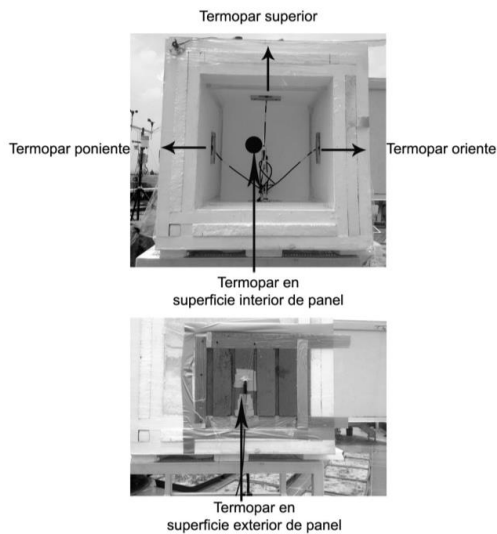


Ilustración 2. Ubicación de los termopares en el módulo de medición térmica.

Los termopares colocados en las caras oriente, poniente y cubierta interior, midieron la temperatura de triplay acabado con pintura acrílica; material con el que se construyó el módulo (sistema a base de un marco de madera, revestimiento interior y exterior de triplay y en el interior poliestireno expandido). En el revestimiento interior de la muestra a base de madera contrachapada de 12 mm, se colocó un termopar y en la superficie exterior a base del material compuesto corteza/plástico se colocó otro.

3.- RESULTADOS

La presente simulación, permitió conocer el diferencial de temperatura entre la cara interior y exterior. Los resultados se muestran en la siguiente gráfica.

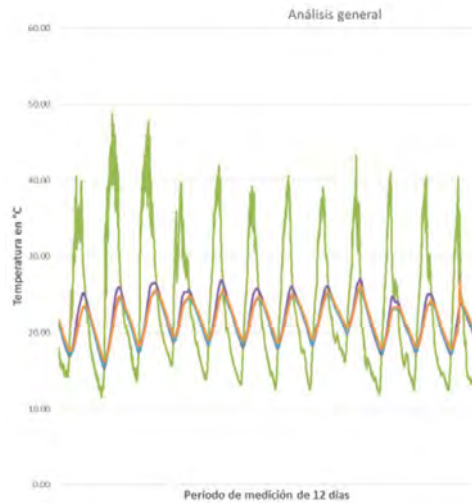


Ilustración 3. Gráfica. Comportamiento de la temperatura durante el periodo de medición.

En esta gráfica, podemos ver el comportamiento térmico de las superficies interiores y exteriores. La gráfica, muestra que durante los 12 días de medición, el diferencial de temperatura es considerable.

12 DÍAS DE MEDICIÓN (REGISTRO CADA MINUTO)	SUPERFICIE EXTERIOR	SUPERFICIE INTERIOR	DIFERENCIAL DE TEMPERATURA
TEMPERATURA PROMEDIO MÁXIMA °C	48.81	27.21	21.60
TEMPERATURA PROMEDIO MÍNIMA °C	11.51	15.34	3.83

4.- CONCLUSIONES.

El resultado obtenido por la simulación durante doce días, demuestra que el material corteza de pino, con una conductividad térmica de 0.19 W/m (valor mencionado en el tema de investigación) favorece en disminuir la transferencia de calor entre la capa exterior del panel y la interior. El diferencial durante la hora de temperatura máxima es de 21.60 °C. Mientras que durante la temperatura más baja el diferencial es de 3.83°C.

Durante el día, el panel disminuye la transferencia de calor y durante la noche almacena parte de este y la transferencia de calor es más lenta.

Se propone realizar más pruebas usando un aislante térmico en el panel, de igual forma comprobar esta información con el comportamiento de otros sistemas constructivos.

ANEXO IV Análisis del cambio de color y resistencia a humedad por efecto de envejecimiento acelerado mediante rayos UV en un material compuesto de corteza y plástico.

Nubia Luna Rueda
nubiense@hotmail.com

INFORMACIÓN

UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

Unidad de Posgrado UNAM.
Laboratorio de Conservación del Patrimonio Natural y Cultural del programa de maestría y doctorado en arquitectura de la UNAM

Palabras Clave:

*Compuesto corteza/plástico
Prueba de envejecimiento acelerado*

RESUMEN

El presente reporte, contiene el diseño de experimentación para analizar el cambio de color en un material compuesto de corteza y plástico sometido a envejecimiento acelerado mediante rayos UV. Se ocupó una cámara de envejecimiento acelerado UV (rayos ultravioleta) QUV Accelerated Weathering Tester. Modelo Spray RP de acuerdo a la norma ASTM G154. El análisis del cambio de color, se realizó a través de una cámara fotográfica. Se ocuparon tres muestras del material y se comprobaron con otras muestras de materiales madereros y compuestos madera/plástico. Estos materiales también fueron expuestos en la cámara, al mismo tiempo que el compuesto corteza/plástico.

El ensayo se realizó en la cámara ubicada en el Laboratorio de Conservación del Patrimonio Natural y Cultural del programa de maestría y doctorado en arquitectura de la UNAM, bajo la dirección de Dra. Rocío López de Juambelz.

1.- INTRODUCCIÓN

Durante la maestría realizada en el programa de en Arquitectura de la UNAM, se desarrolló un tema de investigación, referente a la fabricación de un material de corteza de pino y plástico reciclado. Actualmente se buscan nuevos materiales que aprovechen materiales residuales, como lo son estos dos.

El uso de materiales compuestos actualmente se empieza a utilizar en Latinoamérica como una opción de nuevos materiales. Productos como puertas, marcos para ventana y revestimientos, están relacionados principalmente con problemas de estabilidad dimensional (en el caso de productos de madera) y el bajo rendimiento en términos de resistencia a la humedad y hermeticidad (Ballerini et al., 2008). Ante esto se presenta la opción de fabricar un material corteza/plástico.

Se busca que este material con futuro mejoramiento e investigación pueda entrar en competitividad con materiales compuestos de madera y plástico, logrando ser una alternativa al uso de maderas latifoliadas en decks y elementos exteriores conformados por madera.

Como es de saber, los agentes responsables de los cambios físicos en la superficie de la madera, como

decoloración y agrietamiento, ocasionados por el medio ambiente son, la radiación solar (luz ultravioleta, visible e infrarroja), humedad (rocío, lluvia, nieve) y temperatura. Ante esto, se busca conocer el comportamiento de estos factores en el material corteza/plástico.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS.

1.1 Fabricación del material:

La Fabricación del material se llevó a cabo por el proceso de extrusión, mezclando corteza de pino y polietileno reciclado de alta densidad.

1.2 Probetas:

Se elaboraron tres probetas del compuesto corteza/plástico, fueron cortadas con dimensiones de 12.5 x 5 cm. Para tener una comparativa con otros materiales, se elaboraron probetas en dimensiones de 12.5 x 5 cm de los siguientes materiales:

- Compuesto madera/plástico (*Producto Designa*)
- Madera de pino tratada con CCA (*Madera tratada con Arseniato de Cobre Cromatado*)
- Madera de Cumaru (*Dipteryx sp*)
- Madera de Cuchi (*Astronium urundeuva*)
- Triplay (*Contrachapado de madera*)

Descripción del material de cada probeta:

Madera de Cumarú (*Dipteryx sp*)

El Cumarú al ser una madera dura permite que se pueda usar en carrocerías, puentes, construcción pesada, parquet, balaustrado, escaleras y tablero alistonado para su uso en carpintería tanto interior como exterior.

Color: Presenta capas exteriores de color blanco y capas internas de color marrón con jaspes claros y de forma regular, observándose entre ambas un gran y abrupto contraste de color. En la madera seca las capas superficiales se convierten en un blanco rosáceo y el interior en un marrón rojizo.

Olor: Distintivo y característico

Lustre o Brillo: Moderado

Grano: Entrecruzado

Textura: Media

Veteado: Bien definido, arcos superpuestos y bandas angostas, paralelas, satinadas, jaspeado amarillo en la sección tangencial.

CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

La Cumarú es una madera muy pesada, que presenta contracciones lineales bajas y la contracción volumétrica es estable.

RECOMENDACIONES TÉCNICAS

La madera presenta una mayor dificultad de la normal para el aserrado debido a su dureza y grano entrecruzado por lo que se recomiendan herramientas adecuadas. Es resistente al ataque biológico, no requiere ser preservada.

Madera de Cuchi (*Astronium urundeuva*)

Madera gruesa y dura con alta resistencia mecánica lo que le da una excelente durabilidad natural. Adecuado para la construcción hidráulica, durmientes, acantilados, muelles por su durabilidad bajo el agua. Apta para trabajos al torno. Por su característica duración bajo el agua se lo utiliza para construcción de puentes, muelles, malecones
Color Beige Rosado, y con el tiempo Rojo, albura amarillento rosado. Superficie lisa compacta y brillante, grano recto, inodora y sin gusto.

DURABILIDAD NATURAL:- Muy durable, su altura es fácilmente atacada por insectos.

TRABAJABILIDAD:- Relativamente fácil a pesar de su dureza.

Madera tratada de Pino (La empresa que proporcione la madera, no supo el tipo de pino que es la muestra).

La madera fue estufada y tratada con CCA (Arseniato de Cobre Cromatado), es un sistema de preservación

soluble en agua, desarrollado para proteger a largo plazo la madera expuesta en estructuras al aire libre, contacto con el suelo y agua de mar y es aplicado a la madera en tratamientos de vacío presión.

Triplay de madera

Compuesto de varias capas de hojas delgadas de madera desenrollada, estas capas son impares (3, 5, 7, 9) La estructura de los tableros se componen de alternar las chapas en forma perpendicular al sentido de sus fibras, adheridas con resinas urea formaldehído.

Material compuesto madera plástico marca: DISEGNA

Fabricados a partir de madera y plástico (Wood Plastic Composite) Estos materiales abren una ventana a la creatividad permitiendo ejecutar proyectos de arquitectura exterior.

1.3 Especificaciones del uso de Cámara de envejecimiento QUV

Este envejecimiento acelerado mediante rayos UV, fue realizado usando como pauta la norma ASTM G154: Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials.

Se retomó lo especificado en la norma ASTM G154. Tomando en cuenta el uso de un material que funciona como revestimiento de madera.

Las probetas se dejaron en envejecimiento durante un periodo de 240 horas, tiempo dividido en ciclos de 12 h. Se repitió cada ciclo 10 veces con las siguientes características:

Etapas	Temperatura	Tiempo (h)
1)	Luz UV 60 °C (+- 3 °C)	8
2)	Spray (agua) 20° C (+- 3 °C)	0.25
3)	Condensación 40 °C (+- 3 °C)	3.75

Procedimiento de caracterización de probetas antes de colocación en maquina QUV:

Antes de meter las probetas a la cámara, se registró:

- % de humedad: Higrómetro Amprobe MT-10
- Coloración: Cámara fotográfica iPhone 4s y Nikon D5100
- Posteriormente al proceso de envejecimiento, se registraron los mismos datos.

El porcentaje de higroscopia de cada material se midió en tres puntos de cada probeta; en los dos extremos y en la parte media. Los porcentajes medidos los podemos observar en la siguiente imagen.

Datos registrados:

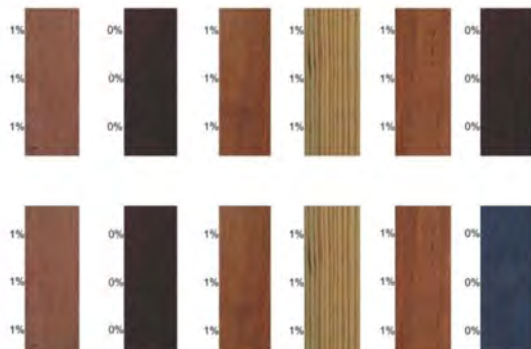


Ilustración 1. Porcentaje de humedad de cada probeta y color de las probetas antes de las pruebas.

Las condiciones bajo las cuales se tomó el registro de humedad fueron las siguientes:

Lugar: Espacio cerrado

Datos atmosféricos:

- Humedad: 48 %
- Temperatura: 28 ° C

Colocación de muestras en máquina de envejecimiento acelerado del Laboratorio de Conservación del Patrimonio Natural y Cultural del programa de maestría y doctorado en arquitectura de la UNAM.



Ilustración 2. Fotografía 1. Luna, Nubia. "Cámara QUV".

2.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las condiciones bajo las cuales se tomó el registro de humedad fueron las siguientes:

Lugar: Espacio cerrado

Datos atmosféricos:

- Humedad: 53 %

- Temperatura: 19 ° C

En la siguiente imagen podemos ver la degradación del color por los rayos UV, la condensación y el punto de rocío que se efectuó durante el tiempo de aceleración.

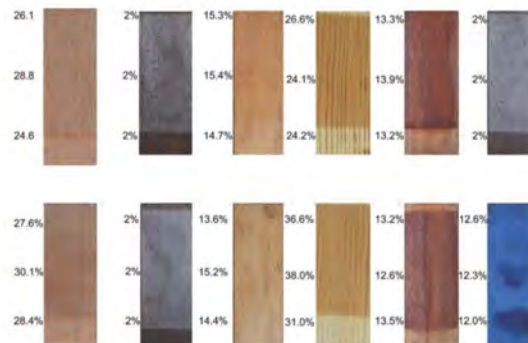


Ilustración 3. Resultados de humedad y decoloración después de la prueba.

En la siguiente gráfica se presenta el nivel de humedad que absorbe cada material en un ambiente exterior.



Ilustración 4. Porcentaje de humedad después de ensayo.

En comparación con los otros materiales, se presentan las siguientes diferencias entre el material corteza/plástico.

- Triplay = 24.70 %
- Madera de Camaru = 11.13
- Madera de pino tratado = 31.20
- Madera de Cuchi = 9.47
- Compuesto madera/plástico (Disegna) = 8.30

3.- CONCLUSIONES

El objetivo principal fue conocer el comportamiento del material corteza/plástico respecto a su decoloración de color y la resistencia de humedad.

El material como se puede observar en las imágenes anteriores, presenta una decoloración considerable. Ya que no existe un material parecido al fabricado, se consultó la literatura de materiales compuestos por madera/plástico, logrando encontrar una solución contra los daños causados principalmente por los rayos UV. Durante el proceso de fabricación se recomienda aplicar un agente protector de rayos UV. Por otra parte, el material presentó un favorable comportamiento, respecto a la humedad causada por condensación y el punto de rocío en materiales madereros y compuestos de madera/plástico.

Con la prueba realizada, podemos constatar que el material es factible para ser utilizado en exteriores, presentando una desventaja en decoloración, pero una mayor resistencia a la humedad. El material corteza/plástico se comporta mejor en comparación de madera para exteriores y un material madera/plástico.

Con futuras modificaciones el material presenta un potencial para aprovechar residuos madereros y plásticos, así como un material resistente a intemperie.

AGRADECIMIENTOS:

Al Laboratorio de Conservación del Patrimonio Natural y Cultural del programa de maestría y doctorado en arquitectura de la UNAM.

Referencias:**Referencias:**

- Ballerini, A. Bustos X. Nuñez, M. Wechsler, A. 2008. Innovation in window and door profile designs using a Wood-plastic composite. In: Proceedings of the 51st International Convention of Wood Science and Technology. Paper SW-05. Concepción-Chile. 9p. Consultado el 13 de Noviembre del 2015 de <http://www.swst.org/meetings/AM08/proceedings/WS-05.pdf>
- Bustos, c. acevedo, a. lasserre, j. gacitua, w. 2013. efecto de un envejecimiento acelerado mediante
- Citas. 2016. Maderas de Cumarú. Consultado el 3 de Mayo del 2016 de <http://cita.es/cumar>
- DISEGNA. Consultado el 6 de Mayo del 2016 de <http://www.disegnacolor.es/es/productos>
- Madepanle. Triplay de Pino. Consultado el 3 de Mayo del 2016 de <http://www.madepanel.com/triplay-de-pino.shtml>
- Madera tratada con CCA. Consultado el 3 de Mayo del 2016 de <http://www.osmose.cl/cca/>
- Maderasulamerica, Consultado el 3 de Mayo del 2016 de <http://maderasulamerica.galeon.com/productos2054587.html>
- Materials. Maderas, Ciencia y Tecnología 15(1): 45-56, 2013. 0718-221X
- Norma ASTM G154: Standard practice for Operating fluorescent light Apparatus for UV exposure of nonmetallic
- Rayos UV en la propagación superficial de grietas de Debobinado en Tableros contrachapados de Eucalyptus nitens.

