VALORIZACIÓN DE CUERO DE VACUNO RESIDUAL DE MANUFACTURA DE CALZADO, COMO ESTRATEGIA SUSTENTABLE PARA ELABORACIÓN DE TABLEROS DE *Pinus radiata* EN BÍO-BÍO, CHILE

Jimena Alarcón Castro, Juan Carlos Briede Westermeyer, Carmelo Di Bartolo y Cynthia Droguett Castillo

RESUMEN

La Región del Bío-Bío en Chile posee una economía preponderantemente vinculada a los recursos naturales, escenario en que sus actividades productivas ejercen una fuerte presión sobre el medioambiente. Es el centro forestal más importante del país, concentrando un 83% de la fabricación de tableros. Sin embargo, las actividades de este sector, basadas en la sustitución de bosque nativo por plantaciones mayoritariamente de Pinus radiata *y su segundo lugar a nivel nacional como generadora de residuos industriales sólidos (RIS), van en detrimento de su desarrollo sustentable. La presente investigación tiene por objetivo el estudio de las compatibilidades entre partículas de* P. radiata*, urea-formadehído y cuero de vacuno, siendo este último clasificado como RIS, proveniente de la industria del calzado local. La metodología incluye una fase de ideación para determinar el formato y porcentaje en que el cuero será incorporado como materia prima a la mezcla base empleada en la producción industrial de tableros de partículas convencionales (rúbrica 63 de la clasificación ECE-FAO). Se fabrican probetas compuestas por partículas de* P. radiata *y urea-formadehído; y, de partículas de* P. radiata*, urea-formadehído y cuero, para efectuar los ensayos de propiedades físico-mecánicas que permiten comparar las prestaciones funcionales de ambos tipos de tableros. Los ensayos permitieron comprobar que es posible reemplazar* P. radiata *por desechos de cuero hasta en un 10% para la tipología de tableros definida, lo que implica un ahorro de materia prima maderable equivalente y un aprovechamiento del 100% de material de desecho sólido generado por la industria del calzado local.*

Introducción

El presente trabajo detalla experiencias de laboratorio realizadas para determinar las características físico mecánicas de tableros fabricados con partículas de *Pinus radiata,* ligante urea-formaldehido y cuero de vacuno residual generado en procesos productivos por la industria local de calzado (Alarcón, 2003). Se busca determinar las virtudes de esta propuesta, estudiando el comportamiento de dos materias primas de origen natural configuradas para la creación de un material compuesto (Levi *et al*., 2007). Los resultados permiten contrastar sus características con las de un tablero de partículas de fabricación nacional de similar densidad y espesor. La incorporación de cuero de desecho como elemento constituyente de tableros de partículas aporta valores de sustentabilidad a nivel de cadena productiva, ya que implica una disminución en el porcentaje de materia prima maderable y de residuos industriales. En la 'clasificación internacional industrial uniforme' (CIIU) utilizada en Chile y los países latinoamericanos para actividades ambientales, se incorpora con rúbrica 371 y 372 el 'reciclamiento de desperdicios y desechos no metálicos' (Leal, 2006), como uno de los aspectos a considerar para la disminución del impacto ambiental ligado a la pequeña y mediana empresa manufacturera, lo que permite situar el tema motivo de esta investigación en un marco de actuaciones definido desde políticas públicas vigentes y estandarizadas. La vinculación estratégica, sistémica y asociativa entre ideación y sustentabilidad se empeña en disminuir las consecuencias de una producción tradicional (Papanek, 1984), interviniendo sobre el paradigma 'de la cuna a la tumba' (Braungart y McDonough, 2005), que permitan retardar y minimizar la llegada de materias primas valiosas a estado de desecho.

PALABRAS CLAVE / Cuero / Diseño Colaborativo / Diseño de Materiales / *Pinus radiata* / Tableros /

Recibido: 28/02/2014. Modificado: 09/02/2015. Aceptado: 10/02/2015.

Jimena Alarcón Castro. Diseñadora Industrial, Universidad de Valparaíso (UV), Chile. Magister en Construcción en Madera, Universidad del Bío-Bío (UBioBio), Chile. Doctora en Gestión del Diseño, Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España. Directora, Grupo de Investigación en Diseño, UBioBio, Chile. Dirección: Departamento de Arte y Tecnologías del Diseño, UBioBio. Avenida Collao 1202, Concepción, Chile. e-mail: jimenaal@ubiobio.cl

Juan Carlos Briede Westermeyer. Diseñador Industrial, UV, Chile. Master en Diseño, Gestión y Desarrollo de Nuevos Productos, y Doctor en Métodos y Técnicas del Diseño Industrial y Gráfico, UPV, España. Docente Investigador, UBioBio, Chile. e-mail: jbriede@ubiobio.cl

Carmelo Di Bartolo. Diseñador Industrial, Instituto Europeo di Design, Milán. Italia. Cofundador, Design Innovation Milán, Italia. Profesor, Université de Montréal, Canadá, y Universitá di Lingue e Comunicazione, Italia. e-mail: carmelodibartolo@designinnovation.net

Cynthia Droguett Castillo. Química Analista, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. Analista de Laboratorio Químicos Coronel y Geogia Pacific Limitada. Encargada del Laboratorio de Materiales Compuestos y Nanotecnología, UBioBio, Chile. e-mail: cdroguet@ubiobio.cl

ASSESSMENT OF RESIDUAL BOVINE LEATHER FROM FOOTWEAR MANUFACTURING AS SUSTAINABLE STRATEGY FOR INDUSTRIAL PROCESSING OF *Pinus radiata* BOARDS IN BIO-BIO, CHILE

Jimena Alarcón Castro, Juan Carlos Briede Westermeyer, Carmelo Di Bartolo and Cynthia Droguett Castillo

SUMMARY

The economy of the Bío-Bío Region in Chile is mainly linked to a natural resources scenario where productive activities have a strong pressure on the environment. The region is the largest forestry center in the country, with 83% of board manufacture. However, activities in this sector, based mainly on the substitution of native forests by plantations of Pinus radiata*, and the region's second place as industrial solid waste (ISW) generator in the country are detrimental to its sustainable development. The present research aims to study the compatibility among particles of* P. radiata*, urea-formaldehyde and cowhide from local footwear manufacturing and classified as ISW. The methodology includes an ideation phase to determine format and leather percentage to be incorporated as raw material into a base mixture used in the industrial production of conventional particle boards (section 63 of ECE-FAO classification). Test tube samples composed of* P. radiata *and urea-formaldehyde particles, and of* P. radiata*, urea-formaldehyde and leather particles, are elaborated for testing of physical and mechanical properties which allow comparison of the functional performance of both types of boards. The tests performed showed that it is possible to replace* P. radiata *by leather waste in up to 10% for the defined type of board, which implies an equivalent saving of wood raw material and a 100% utilization of waste material generated by the local footwear industry.*

VALORIZAÇÃO DE COURO BOVINO RESIDUAL DE PRODUÇÃO DE CALÇADOS COMO ESTRATÉGIA SUSTENTÁVEL PARA PROCESSAMENTO DE PLACAS DE *Pinus radiata* NO BÍO-BÍO, CHILE

Jimena Alarcón Castro, Juan Carlos Briede Westermeyer, Carmelo Di Bartolo e Cynthia Droguett Castillo

RESUMO

A Região do Bío-Bío, Chile, tem uma economia predominantemente ligada ao cenário de recursos naturais em que suas atividades produtivas exercer uma forte pressão sobre o meio ambiente. É o maior centro florestal do país, sendo responsável por 83% da produção de paineles. No entanto, as actividades neste sector com base en maioria na substituição de florestas nativas com plantações de Pinus radiata*, e o segundo lugar a nível nacional como gerador de resíduos industriais sólidos (RIS) são prejudiciais para suo desenvolvimento sustentável. A presente pesquisa tem como objetivo estudar a compatibilidade entre as partículas de* P. radiata*, uréia-formadehído e couro, sendo a última classificada como RIS da indústria do calçado de Bío-Bío. A metodologia inclui uma fase de ideação para determinar o formato e percentual no couro incorporada como matéria-prima para a mistura de base utilizada na produção industrial de placas de partículas convencionais (seção 63 da classificação ECE-FAO). As amostras compostas de partículas de* P. radiata *e uréia-formadehído e de partículas de* P. radiata*, uréia-formadehído e couro são fabricados, para os testes de propriedades físicas e mecânicas que comparam os benefícios funcionais de ambos paineles. Os ensaios permitiram a verificação de que* P. radiata *pode ser substituído por resíduos de couro até 10% para o tipo definido de placas, o que representa uma economia de matéria-prima de madeira equivalente, e utilização de 100 % do material de resíduos sólidos gerados pela indústria localdo calçado.*

La Región del Bío-Bío de Chile es la primera zona de cultivo comercial de la especie maderable *Pinus radiata*, introducida hace 140 años procedente de la costa central de California, EEUU, y la península de Monterrey, México. Se trata de una tipología de índole exótica de características favorables al proceso de secado, desfibrado y tinte, dado que su densidad se sitúa entre 400 y 500kg·m^{-3} (CORMA, 2003). La industria nacional de productos forestales, basada en un 90% en el recurso de plantaciones de *P. radiata*, constituye un área estratégica de la economía chilena (OIT, 2013), mientras que la fabricación de **tableros y chapas** es una de las áreas que más ha evolucionado en la industria forestal, abarcando la producción de madera terciada o contrachapados (rúbrica 61 de la clasificación ECE-FAO), aglomerada o de partículas tradicionales y no tradicionales, además de tableros de fibra de densidad media (rúbrica 63 de la clasificación ECE-FAO) (Briede y Alarcón, 2012).

Por otra parte, el proceso de curtiembre y formateo de cuero realizado durante la fabricación de calzado por parte de la industria local, genera pequeños trozos de este noble material que son descartados y llevados a vertederos. En este sentido, la incorporación de desechos industriales de cuero en la elaboración de tableros de partículas de *P. radiata* y ligante urea-formaldehido contribuye a reducir los niveles de contaminación ambiental mediante su reutilización.

El cuero es un material natural creado a partir de la piel de los animales a través de un proceso químico de curtido que impide su descomposición. El componente fundamental de los extractos curtientes es el compuesto polifenólico denominado tanino, sustancia orgánica soluble en agua (López, 1989). En los extractos tánicos que acompañan a los taninos, se encuentran sustancias no curtientes que se separan durante el proceso de extracción. Estas materias, llamadas 'no taninos', poseen sustancias incapaces de ser absorbidas por la piel, pero que durante el proceso de curtición pueden evolucionar y transformarse por polimerización en taninos, lo cual es favorable en términos que una amplia diversidad de ellos pueden ser utilizados como ligantes naturales (Poblete *et al.*, 1981), disminuyendo los requerimientos de uso de ligantes artificiales en procesos productivos.

Para la fabricación de probetas en el laboratorio se emplean proporciones idénticas a las utilizadas en procesos industriales locales para tableros de partículas tradicionales. Se realizan ensayos físico-mecánicos, capaces de evidenciar resultados coherentes con

futuros productos de mercado. Este estudio abarca ámbitos del diseño sustentable, valor primario para muchos diseñadores, consumidores y empresas, en la medida en que se observa cómo los productos pueden provocar efectos en la ecología, sociedad y sistema económico futuro (Alesina y Lupton, 2010).

Enfoque Metodológico

El enfoque metodológico para la ideación y elaboración de tableros de *Pinus radiata*, urea-formadehido y cuero incluye la concepción de una tipología de tablero que incorpora residuos industriales sólidos (RIS) y aborda el catastro de la situación industrial y de contexto, así como la ideación y elaboración de una propuesta de material (Manzini, 1993). Ello pone en valor la reutilización de cuero proveniente de la industria del calzado, como materia prima integrante de un tablero de partículas. Este planteamiento permite designar y otorgar cualidades singulares y precisas a un material a partir de la definición y conformación de las materias primas que lo constituyen (Rognoli y Levi, 2004).

La utilización de desechos industriales, desde el punto de vista sustentable, es una acción concreta que se alínea con los planteamientos de ecodiseño, en la rueda de estrategias de Brezet y Van Hemmel (1997), entendido como la "consideración sistemática de la función de diseño con respecto a objetivos medioambientales, de salud y seguridad a lo largo del ciclo de vida completo del producto y del proceso" (Fiksel y James, 1994). La gestión de materiales sostenibles (SMM, del inglés *sustainable materials management*) plantea un enfoque de "promoción de los materiales de uso sostenible, acciones dirigidas a la integración de la reducción de los impactos ambientales negativos y preservación de capitales naturales a lo largo del ciclo de vida de los materiales" (Happaerts, 2014); mientras que la *Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos* (OCDE) incluye en las estrategias para disminuir la producción de residuos el concepto de valorización, entendido como el "conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar un producto, uno o varios de los materiales que lo componen y/o el poder calorífico de los mismos" (CONAMA, 2010).

Lo anterior adquiere mayor relevancia al evidenciar que el ciclo de vida de todo producto industrial viene determinado, en un porcentaje entre 40 y 60%, por el impacto de los materiales con los que ha sido fabricado (Van Hemel y Cramer 2002). En este sentido, el estudio del contexto y su tejido industrial evidencian aspectos coherentes con el objetivo de la investigación y entregan un marco de actuaciones acotado. Observando los sectores industriales involucrados, podemos decir que la industria forestal es la segunda generadora de divisas para Chile y la primera basada en un recurso forestal renovable. Las plantaciones forestales del país abastecen el 97% de sus requerimientos, de las cuales la Región del Bío-Bío concentra el 44%. Esta Región produce el 83% de tableros del país, empleando principalmente *P. radiata* y ligante urea-formaldehido para su elaboración (Gobierno de Chile, 2007). Por otra parte, cabe decir que la Región del Bío-Bío es el segundo productor de RIS del país, con 645.875ton, siendo su tasa de crecimiento en los últimos tres años del 1%, y que la industria de cuero, en conjunto con la textil, es la tercera generadora de RIS aportando con un 1,1% de material de desecho de origen natural proveniente de sus procesos productivos, por lo que cualquier acción tendiente a disminuir este impacto podría influir al menos en la estabilización de este porcentaje (Programa Chile Sustentable, 2004). Estos antecedentes, sumados al conocimiento de las materias primas y procesos productivos para la elaboración de tableros, así como las características del cuero desechado por la industria del sector calzado, permiten llegar a una etapa de ideación (Amabile, 2012), proceso en que las materias primas se combinan y fusionan para generar nuevas propuestas (Sarkar y Chakrabarti, 2011).

En esos términos se explora y define la configuración, cantidad y forma en que el cuero se integrará al tablero, defiendo tanto su estructura como su organización. En esta etapa se utilizan bocetos básicos para definir las ideas iniciales que deben ser refinadas a través de maquetas y probetas con materiales reales para su testeo. La ideación es inseparable de bocetos y evaluación encaminadas a la exploración de las nuevas ideas (Hartson y Pyla, 2012), según se evidencia en la Tabla I. La elaboración de probetas de testeo supone la definición de equipamiento tecnológico, infraestructura especializada, materias primas y la fórmula a emplear para la elaboración de las mismas. Por su parte, para los ensayos físico-mecánicos se deben contar con las herramientas y máquinas con la debida precisión y se deben realizar de acuerdo a las normas empleadas por las empresas en un contexto productivo.

Material y Métodos

El desarrollo de la experiencia investigativa aborda las siguientes fases:

Catastro de empresas

Una vez elaborado el catastro de manufactureras que emplean cuero como materia prima se constata que la industria del calzado genera un 90% del volumen de desechos de cuero a nivel regional. Este volumen cuenta con una tipología formal adecuada al propósito del la presente investigación, en términos que el estado de la materia permite que sea incorporada sin intervenciones al proceso productivo de un tablero de base *Pinus radiata* y ligante urea-formaldehido. Una vez en el laboratorio, los desechos aportados por las empresas son clasificados en función de su forma en hebras (cuero en formato alargado) y despuntes (formas irregulares o de geometría controlada), además de su espesor y color.

Ideación y desarrollo de propuestas

Teniendo como base las tipologías de desechos de cuero se definen dos tipos de formatos para la elaboración de tableros en la fase de experimentación. Las características formales de tamaño, color y estado del cuero de desecho permiten valorar su presencia como un aporte a la apariencia del tablero. Se aplican técnicas híbridas de ideación, tales como *brain-visual storming* (Martin y Hanington, 2012), que además de considerar el lenguaje de texto para 'redactar' la idea de solución,

TABLA I
PROCESO DE IDEACIÓN CREATIVA DE TABLEROS DE *Pinus radiata*, UREA-FORMADEHÍDO Y CUERO

Ideación	Exploración formal	Refinamiento
Sustrato (partículas y urea-formaldehído) +trozos de cuero= combinaciones para nuevas propuestas	Bocetos para representar configuración, forma en que los trozos de cuero se integran al tablero	Maquetas preliminares y probeta de testeo

permite abordar una exploración visual (Ware, 2008); dibujar y esquematizar libremente la configuración de una posible solución sin necesidad de tener que especificarla o justificarla. Esto se traduce en una amplia gama de alternativas y formas que pueden luego evaluarse en función de criterios objetivos y definir las configuraciones y modos en que el cuero tomará presencia en el tablero (Figura 1).

Fabricación de probetas de testeo

Para la fabricación de probetas de testeo con *P. radiata*, ligante urea-formaldehido y trozos de cuero se tiene como referente el proceso productivo industrial de tableros de partículas convencionales en que normalmente se emplea 80% de aserrín-partículas y un 20% de partículas obtenidas de madera en trozos (metro ruma) de *P. radiata* (Gorrini, 2004). Se aplica la fórmula para tablero de espesor 15mm y densidad 650k·m^{-3}. El cuero se incorpora a razón del 10% de la mezcla total. Se elaboran tableros de 500×500×15mm, para producir probetas de testeo de acuerdo a lo requerido por las normas a utilizar. No se elaboran probetas de partículas de *P. radiata* y ligante urea-formaldehido, ya que para la etapa de comparativa se emplean los estándares definidos por la empresa Paneles Arauco S.A. para el producto en cuestión.

Cálculos

La determinación de densidad del tablero viene dada por la fórmula M= D×V, donde M: masa, D: densidad y V: volumen.

$$M = 650\frac{kg}{m^3}(0{,}50m \text{ x } 0{,}50m \text{ x } 0{,}015m)$$

$$M = 2{,}43kg \approx 2500g \text{ de materia}$$

$$g \text{ resina} = \left(2500g \text{ x } \frac{10}{100} = \frac{250g}{0{,}65}\right) = 348{,}62g \text{ resina líquida}$$

$$g \text{ endurecedor} = \left(2500g \text{ x resina sólida x } \frac{0{,}035}{0{,}40}\right) = 21{,}88g \text{ endurecedor líquido}$$

$$\text{Razón de encolado} = \left(\frac{\text{kg resina}}{\text{kg madera seca + cuero}}\right) \text{x } 100$$

$$M = 650\frac{kg}{m^3}(0{,}50m \text{ x } 0{,}50m \text{ x } 0{,}015m)$$

$$M = 2{,}43kg \approx 2500g \text{ de materia}$$

De esta forma, M= 2,5kg de madera + cuero= mezcla total, donde 2,250g son de madera y 250g de cuero, el cual corresponde al 10% de la mezcla total.

En la fórmula se expresan *P. radiata*: 2% (base seca), resina pre-polímero urea-formaldehido: 65% sólidos, endurecedor sulfato de amonio: 40% de sólidos, porcentaje de endurecedor: 3,5%, razón de encolado: 10% y cuero en mezcla total: 10%.

Procedimiento para la elaboración de probetas de testeo

Pesado de materias primas. Se lleva a cabo empleando balanza de precisión (0,01g) marca Radwag. Se pesan las materias primas según se indica en la sección anterior (Figura 2).

Encolado de materias primas. Las partículas de *P. radiata* y los trozos de cuero son introducidos en contenedor mecánico de movimiento rotatorio; se les aplica resina urea-formaldehido y catalizador con pistola manejada a presión para lograr la homogenización necesaria para la preparación de la mezcla, hasta lograr la cantidad calculada para conformar de tablero de densidad de 650k·m^{-3} y espesor de 15mm.

Formación del colchón y proceso de pre-prensado. Se dispone de una bandeja de acero previamente parafinada y humectada con agua, sobre la que se posa un bastidor de madera, dentro del cual se reparte homogénea y manualmente la mezcla. Una vez logrado este objetivo, se retira el bastidor y se sitúan paralelamente en dos costados, barras separadoras de acero de formato cuadrado de 15mm., espesor del tablero que se quiere conseguir.

Propuesta A	Alternativa B	Alternativa C
Partículas de madera+hebras de cuero	Partículas de madera+despuntes	Partículas madera+hebras de cuero

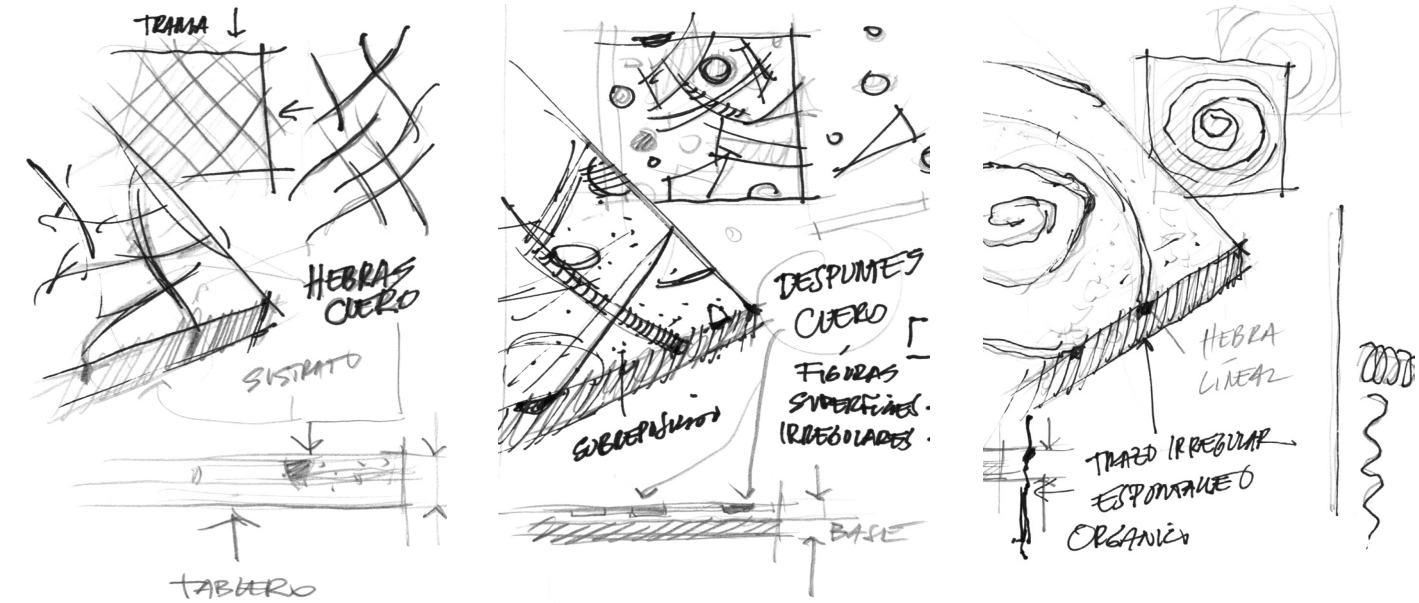

Figura 1. Exploración formal en etapa de ideación.

Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Partículas de madera+hebras de cuero	Partículas de madera+despuntes	Partículas madera+hebras de cuero

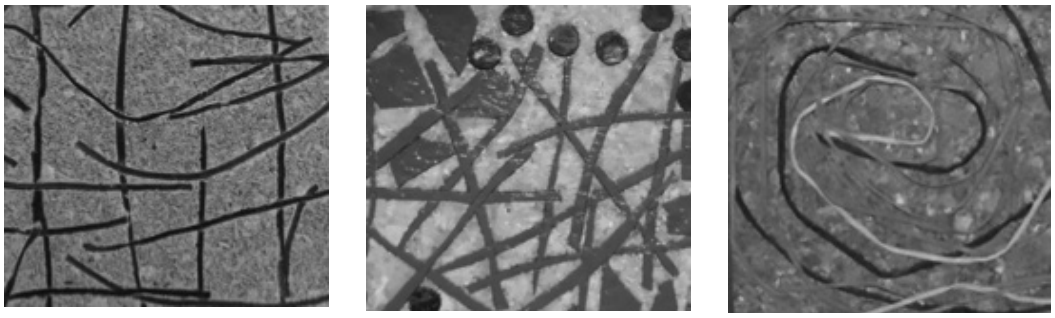

Figura 2. Tableros realizados en el laboratorio.

Ciclo de prensado. La bandeja de acero que contiene la mezcla es ubicada en la prensa hidráulica de platos calientes automatizada marca Dumont, la que ha sido programada para un ciclo de prensado de 300s con una presión máxima de 40bar y 200ºC de temperatura en platos inferior y superior. Una vez finalizado el ciclo de prensado, se retira la bandeja y se deja enfriar. El procedimiento se repite hasta conseguir la cantidad de tableros necesarios para realizar los ensayos previstos, manteniendo constante el tiempo de prensado, la temperatura y la presión máxima.

Acondicionamiento y dimensionado de las probetas. Las probetas de testeo son fabricadas a partir de los tableros elaborados, estableciendo formatos según estipulan las normas a emplear. Una vez obtenidas las probetas son almacenadas en un recinto de acondicionamiento a 20 ±1ºC y humedad relativa de 65% ±2% hasta alcanzar un contenido de humedad de equilibrio de ~12%.

Ensayos físico-mecánicos usando probetas de testeo

Los ensayos se realizan aplicando las normas DIN (2005a-e) empleando cinco probetas por ensayo de un total de 30 óptimas resultantes (Figura 3).

Propiedades físicas

Espesor. De acuerdo a la norma DIN 52360, se registran las medidas de espesor en cinco puntos de las probetas, a 25mm de cada esquina y centro de cada una de ellas, empleando micrómetro de tipo digital marca Mitutoyo de precisión 0,01mm.

Densidad o perfil de densidad. De acuerdo a la norma DIN 52361, con uso de equipo perfilómetro marca Ludlum se realiza un barrido a través de todo el tablero arrojando mediciones de densidad en $k \cdot m^{-3}$ cada milímetro, lo que permite obtener el promedio de la densidad real del tablero tanto en sus caras inferiores, superiores e internas. La radiación utilizada por este equipo es del tipo Gamma.

Hinchamiento. De acuerdo a la norma DIN 52364, se calcula este valor realizando mediciones del espesor en cuatro puntos mediante uso de micrómetro digital Mitutoyo, operación que se repite antes y después de mantener las probetas en un baño termostático marca Büchi regulado a 20ºC por período de 2 y 24h, consecutivamente.

Propiedades Mecánicas

Flexión estática. De acuerdo a la norma DIN 52362, el método se basa en aplicar una carga continua a una velocidad constante, en la mitad de la probeta, midiendo las deformaciones producidas por la aplicación de dicha carga hasta llegar al punto de rotura de la probeta, empleando máquina de ensayos universal Instron modelo 4468 (Figura 4).

Tracción perpendicular. De acuerdo a la norma DIN 52365, se determina mediante la aplicación de un esfuerzo de tracción a las probetas de testeo, las que son encoladas con adhesivo termofundible a bloques metálicos que se acoplan a los dispositivos de fijación de una máquina de ensayos universal Instron modelo 4468. El ensayo consiste en aplicar velocidad constante a la tracción hasta provocar rotura en la probeta (Figura 5).

Consideraciones para el análisis comparativo

Las probetas de testeo elaboradas para realizar los ensayos señalados fueron acondicionadas a un 12% de humedad, en coherencia con el contenido de humedad de un tablero de partículas convencional. Para el análisis se consideran valores promedio de las probetas ensayadas.

Resultados y Discusión

Se comprobó la hipótesis de compatibilidad entre partículas de *Pinus radiata*/cuero y resina urea-formaldehido como ligante, ya que según se evidencia en la Tabla II, las

Balanza pesado partículas	Balanza pesado adhesivo	Mezclador rotatorio de materias primas	Bastidor y barras separadoras	Prensado en caliente

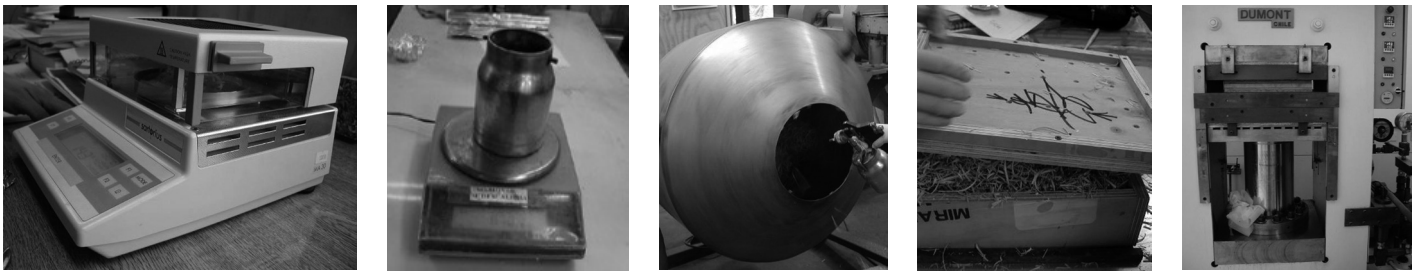

Figura 3. Síntesis proceso de elaboración de probetas.

Probeta sometida a presión	Acercamiento	Resultado

Figura 4: Síntesis de proceso de ensayo a la flexión estática en máquina Instron.

Probeta lista para someter a ensayo	Probeta sometida a ensayo	Resultado

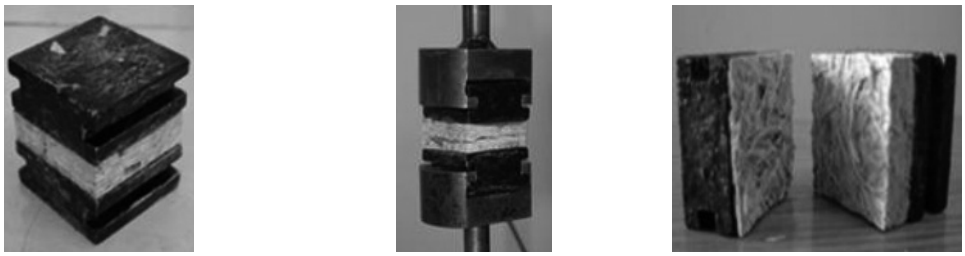

Figura 5. Síntesis de proceso de ensayo a la tracción perpendicular en máquina Instron.

TABLA II
COMPARATIVA DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE TABLERO PARTÍCULAS CONVENCIONAL Y TABLERO PARTÍCULAS/CUERO DE ESPESOR 15 MM

Propiedad	Unidad	Tolerancia	Tablero partículas convencional	Tablero partículas convencional + cuero
Densidad	$kg \cdot m^{-3}$	$\pm 20\ kg \cdot m^{-3}$	650	650
Resistencia a la tracción	N/mm	± 0,05 N/mm	0,40	0,36
Resistencia a la flexión	N/mm	±1,5N/mm	11.0	14,0
Hinchamiento espesor 24hs (máx)	%	-	25,0	19,8

propiedades físico-mecánicos de ambas tipologías de tableros son muy similares.

Tanto la densidad de los tableros elaborados como el contenido de humedad se obtienen en coherencia con el objetivo trazado, mediante una adecuada ejecución de los procedimientos en el laboratorio. La equivalencia de ambos factores favorece el análisis comparativo. La resistencia a la tracción cumple con el estándar del tablero convencional de mercado, aún cuando presenta una leve variación con puntuación inferior, cediendo en aquellas zonas en que el cuero se concentra en mayor superficie. La resistencia a la flexión se incrementa en los tableros de partículas/cuero, cumpliendo con los estándares de un tablero de partículas convencional, pero dejando abierta la posibilidad de nuevas exploraciones en cuanto al porcentaje de cuero posible de incorporar para mejorar estas propiedades. El hinchamiento disminuye en los tableros con presencia de cuero, con lo que su incorporación favorecería el comportamiento de esta tipología de tableros en ambientes de mayor humedad. Por otra parte, la urea-formaldehido como ligante artificial fundamental y el tanino contenido en el cuero, muestran compatibilidad en su función adhesiva.

Conclusiones

Según los resultados obtenidos en el presente estudio, el aprovechamiento de residuos industriales sólidos (RIS), en este caso trozos de cuero provenientes de la industria regional de calzado, es perfectamente posible llevado al ámbito de la elaboración de tableros de partículas tradicionales, ya que presenta un comportamiento compatible al momento de integrarse en formato de trozos de pequeña escala, a la mezcla convencional compuesta por partículas de *Pinus radiata* y ligante urea-formaldehido. Por otra parte, las propiedades físico-mecánicas obtenidas son adecuadas para la generación de un producto de mercado basado en procesos productivos existentes en la industria local. Esta nueva propuesta es favorable al medioambiente, en la medida que emplea residuos industriales destinados a eliminación (incineración sin recuperación de energía, rellenos sanitarios, vertederos y basurales, entre otros), cambiando su destino a una valorización vinculada a la reutilización. Un futuro estudio sobre las posibilidades y tolerancias para aumentar el porcentaje de cuero en la búsqueda por potenciar la resistencia a la flexión, así como la exploración para disminuir la absorción de humedad, quedan abiertos. La experimentación con nuevos formatos de cuero se hace válida en la medida que el foco esté centrado en el mejoramiento de la resistencia a la tracción o en la posibilidad de hacer imperceptible su presencia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Comisión Nacional Científica y Tecnológica, a través de sus proyectos FONDECYT Nº 11130394 y 11121570; al equipo de Design Innovation, Milán, Italia; a la Dirección de Investigación de la Universidad del Bío-Bío, Proyecto DIUBB 041204 3/; al Laboratorio de Nanotecnología de la Universidad del Bío-Bío; y a Paneles Arauco S.A.

REFERENCIAS

Alarcón J (2003) *Biónica y Diseño Innovativo: el Sector Maderero y Oportunidades para la*

Generación de Nuevos Materiales. Tesis. Universidad del Bío-Bío. Chile 350 pp.

Alesina I, Lupton E (2010) *Exploring Materials, Creative Design for Everyday Objets*. Princeton Architectural Press. Nueva York, EEUU. 208 pp.

Amabile T (2012) Componential Theory of Creativity. Working paper 12-096 to appear in Kessler EH (Ed.) *Encyclopedia of Management Theory*. Sage, 2013. En *Harvard Business School Working Knowledge*. 26/04/2012. 10 pp.

Braungart M, McDonough W (2005) *De la Cuna A la Cuna. Rediseñando la Forma en que Hacemos las Cosas*. McGraw-Hill Interamericana. Madrid, España. 190 pp.

Brezet H, Van Hemel C (1997) Ecodesign: a promising approach to sustainable production and consumption. *Indust. Environ. 20*: 52.

Briede J, Alarcón J (2012) Estrategias sustentables aplicadas al contexto regional: diseño de tableros de madera y materias primas no convencionales para revestimiento decorativo. *Interciencia 37*: 927-933.

CONAMA (2010) *Primer Reporte del Manejo de Residuos Sólidos en Chile* (Basado en el Proyecto 'Levantamiento, Análisis, Generación y Publicación de Información Nacional sobre Residuos Sólidos de Chile'). Santiago, Chile. 64 pp.

CORMA (2003) *Compendio de Directrices para Enseñanza en Ingeniería*. Centro de Transferencia Tecnólogica Pino Radiata. CORFO-FONTEC. Chile. 26 pp.

DIN (1965a) Testing of wood chipboards; general requirements, sampling, evaluation. German National Standard. Standard DIN 52360. Deutsches Institut fur Normung. Berlín, Alemania. 3 pp.

DIN (1965b) Testing of wood chipboards; determination of dimensions, raw density and moisture content. German National Standard. Standard DIN 52361. Deutsches Institut fur Normung. Berlín, Alemania. 2 pp.

DIN (1965c) Testing of wood chipboards; bending test, determination of bending strength. German National Standard. Standard DIN 52362. Deutsches Institut fur Normung. Berlín, Alemania. 2 pp.

DIN (1965d) Testing of wood chipboards; determination of variation in thickness due to moisture. German National Standard. Standard DIN 52364.(Deutsches Institut fur Normung. Berlín, Alemania. 1 p.

DIN (Deutsches Institut fur Normung).1965e**.** Testing of wood chipboards; determination of tensile strength vertical to the chipboard plane. German National Standard. Standard DIN 52365. Berlín, Alemania. 1 p.

Fiksel J, James H (1994) Life cycle systems engineering: a global environmental imperative. *INCOSE Int. Symp*. San Jose, CA, EEUU. *4*: 773-778.

Gobierno de Chile (2007) *Infraestructura para la Competitividad. El MOP en la Promoción del Crecimiento Económico Chile 2007-2012, Sector Forestal*. Santiago, Chile. 61 pp.

Gorrini B, Poblete H, Hernández G, Dunn F (2004) Tableros de partículas y MDF de *Eucalyptus nitens*: Ensayos a escala industrial. *Bosque 25*(3): 89-97.

Happaerts S (2014) International discourses and practices of sustainable materials management. En Report Nº 5. *Policy Research Centre for Sustainable Materials Management*. Lovaina, Bélgica. pp. 12-13.

Hartson R, Pyla P (2012) Design thinking, ideation, and sketching. En *The UX Book: Process and Guidelines for Ensuring a Quality User Experience*. ACM. Elsevier. Nueva York, EEUU. pp. 274-275.

Leal J (2006) Las pymes en el mercado de bienes y servicios ambientales: identificación de oportunidades, políticas e instrumentos Estudios de caso de:Argentina, Chile, Colombia y México. CEPAL-GTZ. Nueva York, EEUU. pp. 31-32.

Levi M, Schivo E, Soro P (2007) Mateod Racolta dirrefenziata di materiali avanzati (e non solo). *Polipress Politecnico di Milano*. pp. 104-105.

López GF (1989) *Fotoquímica*. Universidad Autónoma Chapingo. México. 48 pp.

Manzini E (1993) *La Materia de la Invención. Materiales y Proyectos*. CEAC Diseño. Barcelona, España. 253 pp.

Martin B, Haninton B (2012) *Universal Methods of Design*. Rockport. EEUU. 207 pp.

OIT (2013) *El Trabajo Decente en la Industria Forestal en Chile*. 1ª ed. Organización Internacional del Trabajo. Ginebra, Suiza. pp. 17-30.

Papanek V (1984) *Design for the Real World. Human Ecology and Social Change*. Thames y Hudson. Londres, RU. 394 pp.

Poblete W, Hernán F, Cuevas D (1981) Inclusión de corteza en adhesivo para contrachapados. *Bosque 4*: 44-48 pp.

Programa Chile Sustentable (2004) *Impactos Ambientales en Chile: Desafíos para la Sustentabilidad*. LOM. Santiago, Chile. 40 pp.

Rognoli V, Levi M (2004) *Materiali per il Disegno: Espressivitá e Sensorialitá*. Polipress. Milan, Italia. 192 pp.

Sarkar P, Chakrabarti A (2011) Assessing design creativity. *Design Studies 32*: 348-383.

Van Hemel C, Cramer J (2002) Barriers and stimuli for ecodesign in SMEs. *J. Cleaner Prod. 10*: 439-453.

Ware C (2008) *Visual Thinking for Design*. Kaufmann. San Francisco, CA, EEUU. 256 pp.