UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

SEDE CONCEPCION REY BALDUINO DE BELGICA

CONCEPCION

"EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL FILLER CCR EN LAS RESINAS FENÓLICAS EN LA INDUSTRIA SUDAMERICANA DE PLYWOOD COMO UNA ALTERNATIVA VIABLE PARA CONTRACHAPAR SISTEMAS DE ALTA HUMEDAD"

JAVIER IGNACIO FIERRO CASTRO

2022

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCION
“REY BALDUINO DE BELGICA”

“EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL FILLER CCR EN LAS RESINAS FENÓLICAS EN LA INDUSTRIA SUDAMERICANA DE PLYWOOD COMO UNA ALTERNATIVA VIABLE PARA CONTRACHAPAR SISTEMAS DE ALTA HUMEDAD”

TRABAJO PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE EJECUCION EN GESTION INDUSTRIAL.

Alumno: Javier Ignacio Fierro Castro

Profesor Guía: Joaquín Pérez

2022

Dedico este trabajo a mis hijos Isidora, Renata y Facundo. Por ser la motivación principal, en esta etapa de mi desarrollo profesional y laboral.

Resumen

Actualmente en la mega-industria sudamericana del plywood, se trabaja con la chapa o lámina (ply) lo más húmeda posible hasta que la resina fenólica lo permita. Los adhesivos convencionales en general funcionan bien con lámina seca, pero esto implica mucha más ondulación, mucho más quebradiza, mucho más lento el proceso de secado, mucho más warping, mucho más retape, etc. Eso significa que hay una serie de condiciones del proceso que lo limitan.

La humedad que necesita el sistema para que se peguen los tableros contrachapados, está compuesta por la humedad de la chapa más la humedad del adhesivo (%HCh + %HAdh), por lo tanto, se necesita lograr mantener el sistema de humedad en equilibrio, porque el exceso de humedad eventualmente podría concentrase en el interior de los tableros y provocar soplados o cull en la salida de la prensa caliente. Al aplicar menos adhesivo para compensar la humedad de la lámina, el tiempo que perdura activo es menor, y podría comenzar a secar antes (tack), por lo tanto, es difícil mantener esa condición con mayor humedad de lámina y menor humedad en la mezcla por que el adhesivo se podría secar y generar dryout (desclasificación), son muchas las variables que hay que controlar.

Tapel Willamette dispone de Wilvaco-Fil CCR, tecnología que se utiliza hace más de 20 años en Estados Unidos, Canadá y Australia en programas de alta humedad de tableros de contrachapado. El Wilvaco-Fil CCR es una harina a base de un sub producto del agro, y se usa como Filler en adhesivos fenol-formaldehído para tableros de contrachapado. Su mayor ventaja es la mejora del comportamiento de flujo (reología) que le proporciona a la resina, mejorando su distribución. Un comportamiento de flujo no Newtoniano (alta viscosidad a bajo cizalle, y baja viscosidad de alto cizalle), le permite estar mayor tiempo activo sobre la superficie de la lámina, reduciendo la sobre penetración de la resina sobre el ply, mejorando el tiempo de tack y reduciendo el consumo de resina fenólica. Con un impacto directo sobre los indicadores de producción que esta innovación implicaría para la mega industria al trabajar con láminas más húmedas, al optimizar el proceso de secado, reducir los rechazos por chapas quebradas, reducir el consumo de adhesivo, reducir el consumo de retapes, etc.

Índice

INTRODUCCIÓN 12

Planteamiento del problema 12

Formulación del problema. 14

Justificación. 16

Objetivo general. 17

Objetivos específicos. 17

Metodología. 18

Marco normativo. 19

Marco teórico. 19

CAPITULO I: ESTUDIO DE MERCADO. 34

1.1. Estudio de mercado. 35

1.2. Definición de la empresa. 37

1.2.1. Misión. 37

1.2.2. Visión. 37

1.3. Análisis FODA. 38

1.3.1. Fortalezas. 38

1.3.2. Debilidades. 38

1.3.3. Oportunidades 38

1.3.4. Amenazas 38

1.4. Matriz FODA. 39

CAPITULO II: ESTUDIO TÉCNICO. 41

2.1. Ingeniería de proyecto.. 42

Materias Primas.. 42

Maquinarias y equipos.. 42

Obras físicas.. 42

Distribución en planta. 42

Obras complementarias. 42

Recursos humanos. 42

Materiales. 42

Suministros. 42

Servicios Públicos. 42

2.1.1. Descripción del proceso: 42

Cancha de Riego. 42

Macerado. **43**
Debobinado. **43**
Secado. **43**
Encolado. **43**
Pre-Prensado. **43**
Prensado. **43**
Reparación de tableros. **43**
Escuadrado. **43**
Lijado. **43**
Empaque. **43**
2.1.2. Flujo de proceso **44**
2.1.3. Equipos y artículos de insumo. **44**
2.1.4. Propuesta de implementación y evaluación. **45**
CAPITULO III: ESTUDIO ECONÓMICO. **49**
3.1. Estudio económico **50**
3.2. Tasa de descuento. **51**
3.3. Flujo de caja. **52**
Total costos sin proyecto US$. **52**
Total costos con proyecto US$. **52**
3.4. Evaluación de los resultados. **53**
3.5. Análisis de sensibilidad **54**
3.6. Comentarios **56**
3. Conclusiones **57**
4. Bibliografía **58**
5.Anexos **59**

Índice de Imágenes.

Imagen 1: "Esquema general del flujo de proceso de producción de tableros contrachapados estructurales de uso exterior". Trabajo de Título Sr. Sergio Placencia Cáceres *13*

Imagen 2: Clases de Chapas, dependiendo de los defectos, la norma define 6 grados de chapa. (Fuente: Enrique Mac-Manus Arauco 2020, Normativa Plywood PS1-09). *27*

Imagen 3: Representación del contenido de humedad en la chapa, está no es homogénea y puede concentrarse en "bolsillos de humedad" llamados peak, y son importantes en la configuración de esquemas con el gramaje del adhesivo. Elaboración propia, tomando como base la Imagen 2. 27

Imagen 4: En el proceso de encolado las láminas se ordenan de tal modo que la orientación de la fibra quede perpendicular entre las chapas, para optimizar las características mecánicas que deben cumplir los tableros de acuerdo a la normativa exigida. La aplicación de resina fenol-formaldehído va sobre algunas chapas, dejando la cara y trascara libres de adhesivo obviamente, la cual pude ser a través de sistema spray, rodillo o extrusión. dependiendo del sistema el adhesivo per se tendrá diferente viscosidad de cizalle. 28

Imagen 5: Sistema de aplicación por extrusión de resina fenol-formaldehído, consta de una cabezal y pequeños orificios llamados lamelas por el cual cae el adhesivo sobre las chapas. Tiene un sistema de recirculación que recoge lo que cae sobre un harnero en constante vibración y lo devuelve al sistema a través de bombas de desplazamiento positivo. 28

Imagen 6: Contraste entre 2 resinas con filler CCR; Izquierda: Se observa el filler aglomerado, como síntoma de una deficiente agitación o bien el uso de un dispersante inadecuado. Derecha: Filler incorporado homogéneamente en la resina. 30

Imagen 7: Aplicación por sistema de extrusión, sobre una lámina o chapa, se mide en g/m². 31

Imagen 8: Tiempo abierto de los tableros una vez aplicado el adhesivo, y control de adherencia o tack. 32

Imagen 9: Tableros en proceso de Pre-Prensado (frío), consolidación de tableros**.** 32

Imagen 10: Ciclo de Prensado en un cierto ciclo de Alta y Baja presión, y a una cierta temperatura, sin reducción de gramaje del adhesivo, el exceso de vapor de agua se concentra en el tablero y consecuentemente provocara desclasificación como Soplados o Cull, creación propia. 33

Imagen 11: KnifeTest realizado sobre un esquema con aplicación de PF + filler CCR en Demostración Industrial. Se observa y cuantifica en % la cantidad de la fibra de la chapa adherida a la subyacente. 34

Imagen 12: Registro de Kurt Russell & Wallace Rowland con el equipo de Resinas del Bío-Bío ejecutando ensayos a escala de laboratorio en el Departamento de madera de la UBB 46

Imagen 13: Resultados de gubia, obtenidos en los ensayos a escala de laboratorio, con humedad promedio de 12-13% y peak de 22%, y promedio 12-13% con peak de 17% en tableros de 9 y 12 mm. 47

Imagen 14: Registro de Kurt Russell & Wallace Rowland, junto a David Dark y Ronald Souza de Hexion (cascos azules) en demostración industrial realizada en la planta Lumin, Tacuarembó Uruguay, 2019. 48

Índice de Tablas.

Tabla 1: Monto de las exportaciones forestales según producto (millones de US$ FOB), Fuente Anuario Forestal 2021, Ministerio de Agricultura Gobierno de Chile, Instituto Forestal (INFOR). *16*

Tabla 2: Recuso Forestal (ha), Fuente Anuario Forestal 2021, Ministerio de Agricultura Gobierno de Chile, Instituto Forestal (INFOR). 25

Tabla 3: Diferencia de densidad en Kg/m³ de diferentes variedades de Eucaliptus, Álamo y Pino, elaboración propia. 25

Tabla 4: Plantas Productoras de Tableros y Chapas en Chile, Fuente Anuario Forestal 2021, Ministerio de Agricultura Gobierno de Chile, Instituto Forestal (INFOR). 36

Tabla 5: *Elaboración propia, consolidado de análisis FODA.* 40

Tabla 6: *Elaboración propia, Matriz FODA.* 41

Tabla 7: Variables del proceso de fabricación de tableros contrachapados que deben ser controladas para evaluar correctamente la implementación del Filler CCR. 49

Tabla 8: Elaboración propia, para el cálculo de la tasa de descuento. 52

Tabla 9: Elaboración propia, estimación de costos varios de producción de los tableros contrachapados analizando 5 dimensiones: Redry (reproceso secador), Adhesivo (consumo de resina fenol-formaldehído), Chapa Quebrada (costos por rechazo), Poliuretano (consumo de químico para ratapar y recuperar la madera) y Pasta de Retape (Consumo para retapar y recuperar valor). 53

Tabla 10: Elaboración propia, estimación de costos varios de producción CON PROYECTO de los tableros contrachapados analizando 5 dimensiones, y realizando una proyección en reducción de algunos ítems por periodo. 53

Tabla 11: Determinación del VAN elaboración propia, estimación de beneficios neto del proyecto, con capital de trabajo $0. 54

Tabla 12: Tabla de valores sensibilidad de VAN respecto a la variación del costo de la resina PF c/ filler CCR. 55

Índice de Gráficos

Grafico 1: Curvas de flujo para PF puro y tres mezclas de pegamento con modal, cáscara de nuez y CCR. Los reemplazos directos de los rellenos se realizaron sin ningún ajuste de viscosidad para mostrar la contribución de la viscosidad de los diferentes rellenos. Los datos se recopilaron con una rampa de cizallamiento creciente (0,1 - 4000 s-1) en el reómetro DHR-1 a 100 ° F / 38 ° C. *22*

Grafico 2: Prueba de barrido de tiempo, después del aumento de cizalle, se midió la recuperación de la viscosidad con una tasa de cizallamiento muy baja o nula. Este gráfico muestra qué tan rápido y en qué medida aumenta la viscosidad para estas mezclas de pegamento de acuerdo al tipo de filler que se utiliza en la resina. 24

Gráfico 3: Gráfico de sensibilidad de VAN respecto a la variación del costo de la resina PF c/ filler CCR. 57

Índice de Formulas

Fo*rmula 1: Donde, mH es la masa inicial de la pieza de madera* *23*

GLOSARIO.

- **ADHERENCIA:** Acción de adherir o adherirse de las chapas por efecto de la resina PF para conformar el tablero contrachapado, de modo que la dirección de la fibra de algunas chapas quede perpendicular al eje longitudinal del tablero y otras tengan dirección paralela a dicho eje. Se usa un número impar de chapas, alternándose la dirección de las fibras (Chapa Larga y Chapa Corta).
- **ALCALINIDAD:** En química se llaman "bases" a los productos alcalinos que son opuestos a los "ácidos". Y tienen un pH que va de 7,1-14.
- **BAJA APLICACIÓN:** Causa de desclasificación de la adherencia de las láminas que forman el plywood, por efecto de baja aplicación de la resina PF.
- **CCR:** Residuo de coronta de choclo (harina) que impide la sobre penetración de la resina en los poros de la madera, con una tecnología que impacta sobre la reología de la mezcla adhesiva.
- **CHAPA CORTA:** Lámina madera que desclasifica en el secador, y es re ensamblada para recuperar su valor, e ingresar al proceso de producción de tableros.
- **CHAPA LARGA:** Lámina de madera que no desclasifica en el secador, habitualmente se usan en las caras y trascaras de los tableros, y también en sus interiores.
- **CHAPAS:** Láminas de madera que se obtiene de los rollizos, como salida de la cortadora rotatoria.
- **CIZALLE:** Fuerza que, aplicada paralelamente a una superficie de un fluido o cuerpo, causa el deslizamiento de planos paralelos del mismo.
- **CONTENIDO DE SÓLIDOS (%):** Relación del porcentaje de todos los componentes sólidos de una mezcla, sobre el volumen total de la misma.
- **CULL:** Causa de desclasificación del plywood, provocado por el exceso de humedad que provoca una falla en la adherencia de las chapas. También se les llama o "Tableros Soplados".
- **DISPERSIÓN:** Acción de dispersar, en este caso los fillers (harinas con cierta granulometría) que deben ser distribuidos de forma uniforme en la resina.
- **DRYOUT:** Causa de desclasificación de la adherencia de las láminas que forman el plywood, por efecto de la sequedad de la resina.
- **ECUALIZACIÓN:** Tiempo de reposo de las chapas, desde que salen del secador hasta que alcanzan la humedad equilibrio tras estabilizarse con la humedad y temperatura ambiente.
- **EFECTO SOMBRA:** Se le llama así a la deficiencia de la aplicación de la resina PF en el sistema de extrusión, generado por la ondulación de las chapas causadas por su sequedad, que impide una aplicación constante y homogénea.
- **FILLER:** Proviene del inglés, y significa relleno. En la industria de las resinas fenólicas se usan harinas de cáscara de coco, cáscara de nuez, harina de corteza de árbol (Modal), como

rellenos inertes para obstruir los poros de la madera e impedir la sobre penetración de la resina sobre la misma.

- **GRAMAJE:** Concepto utilizado en la cuantificación de la resina PF aplicada sobre la chapa en el proceso de encolado, generalmente se mide en g/m².
- **GRANULOMETRIA:** Es la distribución por tamaños de las partículas de un árido. Para conocer la distribución de tamaños de las partículas que componen una muestra de árido se separan estos mediante cedazos o tamices.
- **GUBIA:** Control de proceso, realizado sobre el tablero en la salida de la prensa caliente con un "cuchillo", que permite desprender lámina a lámina y tener una primera impresión de la efectividad del adhesivo en términos de adherencia y causas de desclasificación.
- **HUMEDAD 1:** Cantidad de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo o en el aire: Ej.: la humedad del suelo, la humedad del aire, humedad de la piel, etc.
- **HUMEDAD:** Causa de desclasificación de la adherencia de las láminas que forman el plywood, por efecto del exceso de aplicación de la resina PF o bien exceso de humedad de la chapa.
- **LÁMINA H o CHAPA H:** Lámina de madera con mayor humedad en relación a la estándar para el proceso de fabricación y requiere ser reprocesada en los secadores.
- **PH:** Concepto químico utilizado universalmente para medir el grado de alcalinidad o acidez de un producto, corresponde a un número en una escala de 0 a 14.
- **PLYWOOD:** El contrachapado, también conocido como multilaminado, *triplay* o madera terciada, es un tablero elaborado con finas chapas de madera reforzada pegadas con las fibras transversalmente una sobre la otra con resinas sintéticas mediante fuerte presión y calor. Esta técnica mejora notablemente la estabilidad dimensional del tablero obteniendo aspecto de madera maciza.
- **REACCIÓN EXOTERMICA:** Es una reacción química que desprende energía en forma de luz o calor.
- **REOLOGÍA:** Parte de la física que estudia la viscosidad, la plasticidad, la elasticidad y el derrame de la materia.
- **RESINA FENÓLICA:** Son polímeros sintéticos que surgen de la reacción de fenol con formaldehído (PF), y dan lugar a materiales rígidos e hidrófugos. Entre las principales propiedades de la resina fenólica están la buena resistencia a las altas temperaturas, al fuego, la abrasión, los agentes químicos, la corrosión o la humedad, entre otros.
- **RETAPE:** Parche de pasta base agua o poliuretano, utilizado para reparar defectos de la madera.
- **ROLLIZO:** Es un producto obtenido del tronco del árbol descortezado y macerado para su uso.

- **RUGOSIDAD:** Causa de desclasificación de la adherencia de las láminas que forman el plywood, por efecto de la rugosidad de la chapa y tiene un impacto directo en la aplicación de resina PF.
- **SISTEMA DE EXTRUSIÓN:** Sistema para la aplicación de resina PF sobre chapas, que consiste de un cabezal aplicador que tiene pequeños orificios llamados lamelas, que permiten formar hilos de resina PF.
- **SISTEMA DE RODILLO:** Sistema para la aplicación de resina PF sobre chapas, el cual tiene un par de Rodillos impregnados con adhesivo (uno sobre otro) donde se hace pasar las chapas a través de estos.
- **SISTEMA PRAY:** Sistema para la aplicación de resina PF sobre chapas, donde la resina es mezclada con un gas a presión, de manera que está salga pulverizada, aerosol, en diminutas gotas.
- **TACK:** "Pegajosidad" de la resina PF que se genera sobre las chapas, una vez aplicado, que se produce por la pérdida de agua de la mezcla como efecto de una reacción exotérmica.
- **TIXOTROPÍA:** Es la cualidad, que presentan en mayor o menor grado los fluidos no newtonianos, de recuperar con rapidez su consistencia inicial cuando ésta se destruye por efecto de una agitación o fuerza de cizalle.
- **VISCOSIDAD BROOKFIELD:** Es un dispositivo electrónico que de forma directa mide el coeficiente de viscosidad, captando el par de torsión necesario para hacer girar a una velocidad constante un husillo inmerso en la muestra de fluido. Su unidad de medida es el centipoise (cps).
- **VISCOSIDAD COPA FORD:** Se usa para determinar de forma rápida y sencilla la viscosidad en líquidos. La estructura del viscosímetro de copa Ford está regularizada por la norma DIN, y por tanto es siempre igual. Se compone de un cuerpo hueco de forma cilíndrica que suele desembocar en una boquilla intercambiable. Se mide en segundos.
- **VISCOSIDAD:** Es una medida de la consistencia o fluidez de la materia.
- **WARPING:** Causa de desclasificación del plywood, provocados por la forma combada o curva que toman los tableros al salir de la prensa caliente.

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

El proceso de producción de tableros contrachapados estructurales de uso exterior de plywood es complejo debido a la gran cantidad de variables que se deben controlar, consta de 13 etapas desde que los rollizos entran a la planta y son dispuestos en la cancha de riego.

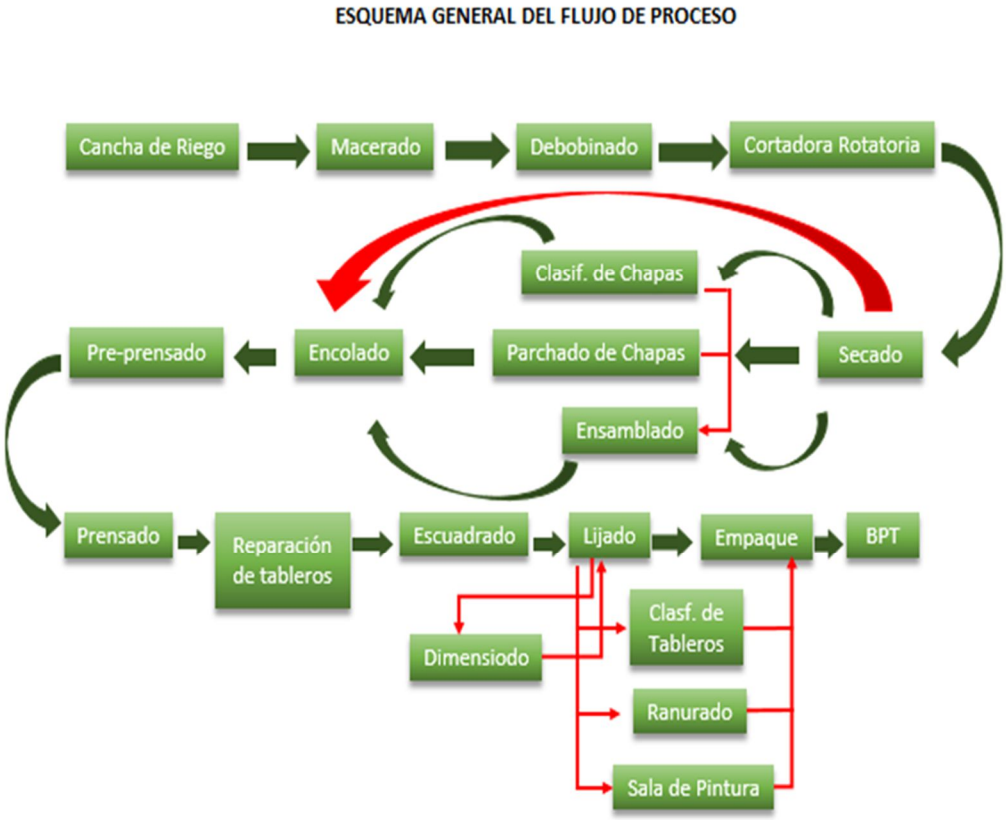


Imagen 1: "Esquema general del flujo de proceso de producción de tableros contrachapados estructurales de uso exterior". Trabajo de Título Sr. Sergio Placencia Cáceres

Tras avanzar hasta la cortadora rotatoria, se obtienen como salidas láminas o chapas con un determinado porcentaje de humedad, por lo que ingresan al proceso de secado para obtener un producto con un contenido de humedad objetivo, compatible con el resto del proceso, esto depende de la realidad y condiciones de trabajo de cada industria. Trabajar con láminas "secas" (humedad promedio ≤ 9%) significa; mucha más ondulación (deficiencia en la aplicación por sistema de extrusión: "efecto sombra", mucho más quebradiza (desclasifica y/o requiere retape para recuperar valor), mucho más lento el proceso de secado (Redry), mucho más warping (desclasifica por deficiencia físico-mecánica del producto). Por lo tanto, cada industria sudamericana produce con las chapas lo más húmeda posible.

La resina fenol-formaldehído (PF) es una entrada del proceso de encolado, y este puede ser aplicado por sistema spray, rodillo y extrusión. Dependiendo del sistema de aplicación, requiere ciertas condiciones físico-químicas para su óptimo desempeño; como él contenido de sólidos (%), dispersión/estabilidad, viscosidad brookfield o copa Ford #04, pH, y Alcalinidad (%NaOH), y Reología. Al entrar en contacto con la madera, comienza una reacción exotérmica que libera el agua presente del sistema y consecuentemente se comienza a generar una pegajosidad (tack), síntoma que indica que la resina está preparada para el proceso de Pre-Prensa (fría) que busca consolidar los tableros armados, y posteriormente puedan ingresar al proceso de Prensado (caliente) donde finalmente la resina polimeriza (cura) y genera un puente de adherencia o anclaje entre la fibra de la madera.

Debido a las condiciones de alta temperatura y presión de este proceso, se hace crítico el balance de humedad del sistema, ya que, si está por sobre el equilibrio, el vapor de agua se concentra en las láminas interiores y consecuentemente genera una condición de soplado o cull (desclasificación).

Formulación del problema.

El rubro nacional de tableros y chapas disfrutó en el 2020 de un leve aumento en su producción, a pesar de todas las dificultades relacionadas con la pandemia. Este aumento se debió principalmente al crecimiento de 43,3% en la producción de tableros OSB, muy estimulada por la gran demanda que tuvieron desde el sector de la construcción, particularmente en el segmento de las ampliaciones y reparaciones. Esto, como resultado de las diversas medidas económicas que implementó la autoridad para apoyar a la población que vio limitadas sus posibilidades de trabajo. En mucha menor medida, las chapas y los tableros contrachapados también aumentaron su producción, pero solo en 2,1% y 1,3%, respectivamente. Los montos de las exportaciones de tableros de contrachapado registrados durante el año 2020 fue de 354,6 millones de USD FOB.

MONTO DE LAS EXPORTACIONES FORESTALES SEGÚN PRODUCTO
(millones de US$ FOB)
FOREST EXPORTS VALUE BY PRODUCT
(million of US$ FOB)

Producto/*Product*	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
TOTAL/*TOTAL*	5.714,0	6.094,3	5.439,1	5.270,9	5.376,2	6.838,0	5.661,7	4.947,8
PULPA QUÍMICA/*CHEMICAL PULP*	2.798,4	2.902,9	2.563,7	2.403,6	2.554,7	3.566,9	2.718,2	2.077,6
Blanqueada Pino radiata/*Radiata pine bleached pulp*	1.253,3	1.447,8	1.147,1	1.148,1	1.127,9	1.599,6	1.125,2	864,1
Blanqueada eucalipto/*Eucalyptus bleached pulp*	1.263,9	1.157,0	1.164,1	1.012,5	1.148,6	1.556,8	1.301,7	938,3
Cruda Pino radiata/*Radiata pine unbleached pulp*	281,0	298,1	252,2	243,0	277,5	409,6	290,4	232,2
Otras pulpas/*Other pulps*	0,2	(*)	0,4	(*)	0,6	0,9	1,1	43,0
ASTILLAS PULPABLES/*CHIPS FOR PULP*	313,3	307,7	275,7	348,8	362,5	394,1	394,6	338,7
Eucalyptus globulus/*Eucalyptus globulus*	264,0	254,2	199,8	209,6	218,1	207,5	178,0	154,9
Eucalyptus nitens/*Eucalyptus nitens*	49,3	53,5	75,8	139,2	141,3	181,8	216,6	182,4
Pino radiata/*Radiata pine*	-	-	-	-	3,0	4,8	-	1,4
MADERA ASERRADA/*SAWNWOOD* (1)	575,9	709,3	556,7	548,4	552,4	636,8	548,0	456,6
Pino radiata/*Radiata pine*	572,0	704,3	552,4	546,1	549,2	633,9	546,0	454,6
Otras especies/*Other species*	3,9	5,0	4,3	2,3	3,1	2,9	2,0	2,1
MADERA CEPILLADA/*PLANED LUMBER*	106,4	121,2	100,6	105,2	100,0	122,4	74,4	82,7
Pino radiata/*Radiata pine*	106,1	120,7	100,0	103,9	99,1	121,7	74,2	82,5
Otras especies/*Other species*	0,2	0,5	0,7	1,3	0,9	0,7	0,3	0,2
TABLEROS Y CHAPAS/*PANELS AND VENEERS*	493,7	577,2	561,1	543,3	489,5	640,2	531,0	522,4
Tablero contrachapado/*Plywood*	253,4	327,7	349,5	348,3	310,8	440,4	353,2	354,6
Tablero de fibra de densidad media/*Medium Density Fiberboard (MDF)*	137,5	140,1	112,2	95,9	76,0	82,7	83,4	70,1
Chapas y tulipas/*Veneers*	10,0	13,5	20,3	17,8	17,6	18,8	16,4	15,3
Tablero de fibra duro/*Hardboard*	14,8	15,8	12,8	10,1	4,8	4,2	2,9	(*)
Tablero partículas tradicional/*Particleboard*	2,0	4,0	6,0	5,8	2,8	2,1	5,1	6,7

Tabla 1: Monto de las exportaciones forestales según producto (millones de US$ FOB), *Fuente Anuario Forestal 2021, Ministerio de Agricultura Gobierno de Chile, Instituto Forestal (INFOR).*

Por lo que cualquier optimización del proceso de fabricación que permita aumentar la humedad de las láminas, permitiría reducir el porcentaje de chapas/tableros rechazados, aumentar la productividad de los secadores, reducir el reproceso del secador, reducir el consumo de resina fenol-formaldehido, reducir el consumo de retapes como pastas base agua y poliuretano, obteniendo un impacto significativo sobre los indicadores de productividad de esta mega industria y todo el impacto social y económico que tiene en el desarrollo de cada país.

Tapel Willamette filial sudamericana de WVCO (Willmaette Valley Company) con soluciones que abarcan; primers, trefila, retapes, sellantes, tintas, revestimientos, etc. A través del filler CCR como una innovación tecnológica en la reología de los adhesivos, ha construido relaciones con socios estratégicos para la industria del plywood, como Resinas del Bío-Bío & Hexion, quienes aceptaron el desafío de implementar esta tecnología en la industria sudamericana del plywood. La complejidad, es poder implementarlo en un sistema de aplicación de extrusión, por las características y sensibilidades per se del proceso. Toda la experiencia de WVCO con él CCR estaba en sistemas de aplicación Spray y Rodillo, y desde el año 2017 se dieron a lugar las primeras demostraciones industriales en sistemas de extrusión, en industrias como; **Arauco** (Planta de Terciados Nueva Aldea 2017, 2019, 2020, 2021 y Planta de terciados Horcones 2018), **Lumin** (Planta de Terciados de Tacuarembó 2018 y 2019, Uruguay) y **Eagon Lautaro** 2019 demostraciones industriales en sistema de rodillo (Planta de Terciados Lautaro, Región de la Araucanía).

Justificación.

Trabajar con un mayor contenido de humedad en las chapas, utilizando CCR como filler en la resina implicaría, mejorar sus propiedades mecánicas, como reducir su resistencia a la flexión relativa (%), reducir su módulo de elasticidad relativo (%), etc. Por lo que se tendrían chapas con una apariencia más plana (menos ondulación), menos quebradiza (más elástica), y esto repercutiría directamente en los procesos de Secado, Encolado y Reparación de Tableros.

- **Optimización del proceso de Secado.**
    - Aumento en la productividad.
    - Reducción del reproceso.
    - Menor consumo de vapor, posible extensión de la vida útil del equipo.
    - Reducción de rechazos por Chapa quebrada.
    - Chapas menos onduladas (control del efecto sombra en la aplicación por sistema de extrusión).
- **Reducción del consumo de la resina fenol-formaldehido:** Se debe mantener el equilibrio de humedad del sistema, y para que eso ocurra, la humedad extra que incorporar la chapa H al proceso de Encolado, se debe reducir de la humedad aportada por el adhesivo (gramaje), para evitar así tableros soplados.
- **Reducción del consumo de parches de retape pastas base agua & poliuretanos:** La chapa al ser menos quebradiza, consecuentemente reduciría su requerimiento en el proceso de Reparación de Tableros.
- **Control de la sobre penetración de la resina sobre la chapa manteniendo activo el adhesivo sobre la superficie:** Ventaja competitiva del CCR, tecnología que impacta sobre la reología de la mezcla adhesiva.
- **Posible aumento en los niveles de adherencia:** Al consolidar mejor los tableros en el proceso de pre-prensa, al tener una chapa más húmeda y plana, se podría reducir el efecto sombra, y optimizar la distribución de la resina aumentando tal vez su efectividad en 1 o 2% en sus niveles de adherencia.

Objetivo general.

- Evaluar la implementación del filler CCR en resinas fenólicas en la industria sudamericana de plywood como una alternativa viable para contrachapar sistemas de alta humedad.

Objetivos específicos.

- Realizar transferencia tecnológica de CCR a los fabricantes de resina fenólica.
- Realizar control y registro de todas las variables del proceso, pesquisando cualquier desviación de proceso/producto que pudiese tener un impacto directo en los resultados obtenidos.
- Evaluar la adherencia y causas de desclasificación de los tableros asociados a la humedad de las chapas y gramajes utilizados.
- Determinar el % de tableros soplados y comparar con el estándar.
- Evaluación de la incorporación de la lámina H (húmeda) al proceso según los resultados obtenidos.

Metodología.

Realizar un levantamiento de los antecedentes generales de humedad de trabajo, para determinar la distribución de humedad de las chapas largas y cortas, que posteriormente permitan elaborar una configuración y/o esquema que permitan incorporar la chapa H (húmeda) al proceso de encolado con el adhesivo CCR, bajo ciertas condiciones.

1. Con el apoyo y experiencia de Kurt Russell & Wallace Rowland, con más de 40 años de experiencia en la industria norteamericana de plywood. Se realizó transferencia tecnológica en el laboratorio de I+D de Resinas del Bío-bío. Comenzando con la receta de fabricación con la correcta proporción e incorporación del Filler CCR a la resina, y la ejecución de ensayos de prensado a escala de laboratorio realizados en la Universidad del Bío-Bío, con algunos esquemas de alta humedad. Hexion, por su parte realizó la transferencia tecnológica desde su casa matriz en USA al laboratorio de I+D en Brasil.

2. Realizar un control de todas las variables que tienen un impacto directo sobre los resultados obtenidos.

3. Elaborar protocolos de prueba que permiten evaluar la adherencia y causas de desclasificación de los tableros asociados a la humedad de las chapas y gramajes utilizados de forma objetiva, incluyendo el % de tableros soplados.

4. Levantar todos los comentarios y observaciones de los clientes, asociados a la mejora de indicadores de productividad que pudieron observar y cuantificar con el uso de láminas húmedas en el proceso de producción.

Marco normativo.

- Normas American Society for Testing and Materials (ASTM).
- American Plywood Association (APA).
- Normas Australianas, Australian Standards (AS).
- Norma PS1-09 - Madera Contrachapada Estructural, Departamento de Comercio USA.

Marco teórico.

Características Físico-Químicas de las resinas.

La mezcla de pegamento de madera contrachapada típica de fenol formaldehído (PF) contiene varios ingredientes además del polímero principal. Los más importantes de estos ingredientes adicionales son los denominados rellenos y extensores. Resumiremos los beneficios de los rellenos y compararemos tres rellenos de madera contrachapada ampliamente utilizados: CCR, Modal y cáscara de nuez.

MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS:

• Resina PF de madera contrachapada disponible comercialmente.

• Harina de trigo IMG Pro.

• CCR.

• Spray Modal Oscuro.

• Cáscara de nuez (relleno Wil-Filler).

La viscosidad típica de control de calidad de esta mezcla de pegamento específica está entre 1100 y 1500 cPs (medida con el husillo n. ° 3 a 20 rpm, 100 ° F / 37,78 ° C). En este estudio se demuestran los efectos de los rellenos al no modificar primero la estrategia de mezcla de pegamento, mostrando así la contribución directa de la viscosidad / reológia de los rellenos, y en segundo lugar ajustando la viscosidad de la mezcla de pegamento con diferentes rellenos al mismo nivel y luego verificando la respuesta reológica bajo una amplia gama de velocidad de cizalle en el tiempo. Todos estos estudios se realizaron utilizando un reómetro TA Instruments Discovery Hybrid-I con una geometría de cilindro concéntrico en el laboratorio de R&D de WVCO, Eugen, Oregon.

La Imagen 2 muestra las curvas de flujo reológico para PF puro y también tres mezclas de pegamento sin ajuste de viscosidad.

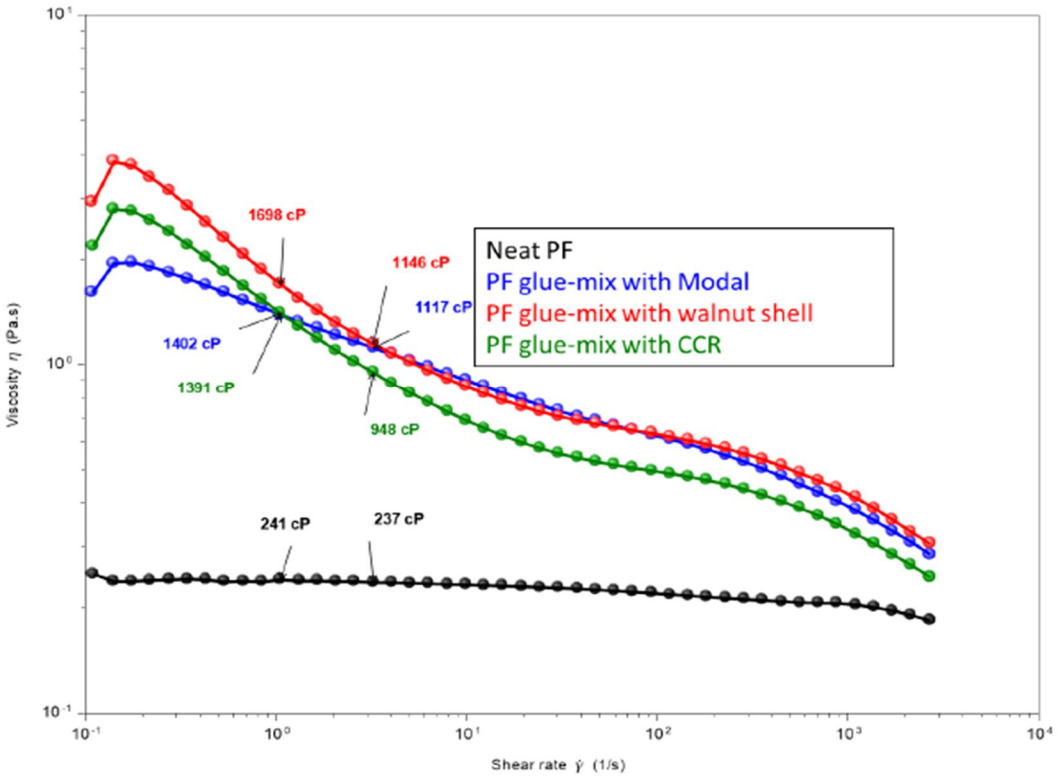


Grafico 1: Curvas de flujo para PF puro y tres mezclas de pegamento con modal, cáscara de nuez y CCR. Los reemplazos directos de los rellenos se realizaron sin ningún ajuste de viscosidad para mostrar la contribución de la viscosidad de los diferentes rellenos. Los datos se recopilaron con una rampa de cizallamiento creciente (0,1 - 4000 s-1) en el reómetro DHR-1 a 100 ° F / 38 ° C.

El PF muestra una respuesta newtoniana típica; La viscosidad pura PF es independiente de la velocidad de cizallamiento aplicada. La adición de rellenos y extensores hace que las mezclas de resina no sean newtonianas. Las mezclas muestran una viscosidad de bajo cizallamiento significativamente mayor y bajo un alto cizallamiento la viscosidad cae drásticamente. Este comportamiento tiene implicaciones directas en la fabricación de contrachapados. El régimen de bajo cizalle influye en la estabilidad de la mezcla de cola y también en el comportamiento de la resina en la superficie de la chapa después de su aplicación. Considerando que, la región de alto cizalle afecta la aplicación. Una baja viscosidad de alto cizalle permite una aplicación óptima de resina sobre las láminas. Una alta viscosidad de bajo cizalle asegura la resistencia a la penetración excesiva de la resina, por lo tanto, más resina permanece en la superficie de la chapa y proporciona resistencia al secado, mayor pegajosidad previa a la prensado y mejor calidad de unión.

Después de la aplicación (el evento de alto cizallamiento) es importante que las mezclas de pegamento recuperen su viscosidad muy rápidamente.

El gráfico 2 muestra una prueba de barrido de tiempo, donde después de la rampa de cizalle, se midió la recuperación de la viscosidad con una tasa de cizallamiento muy baja. Este gráfico muestra qué tan rápido y en qué medida aumenta la viscosidad para estas mezclas de pegamento.

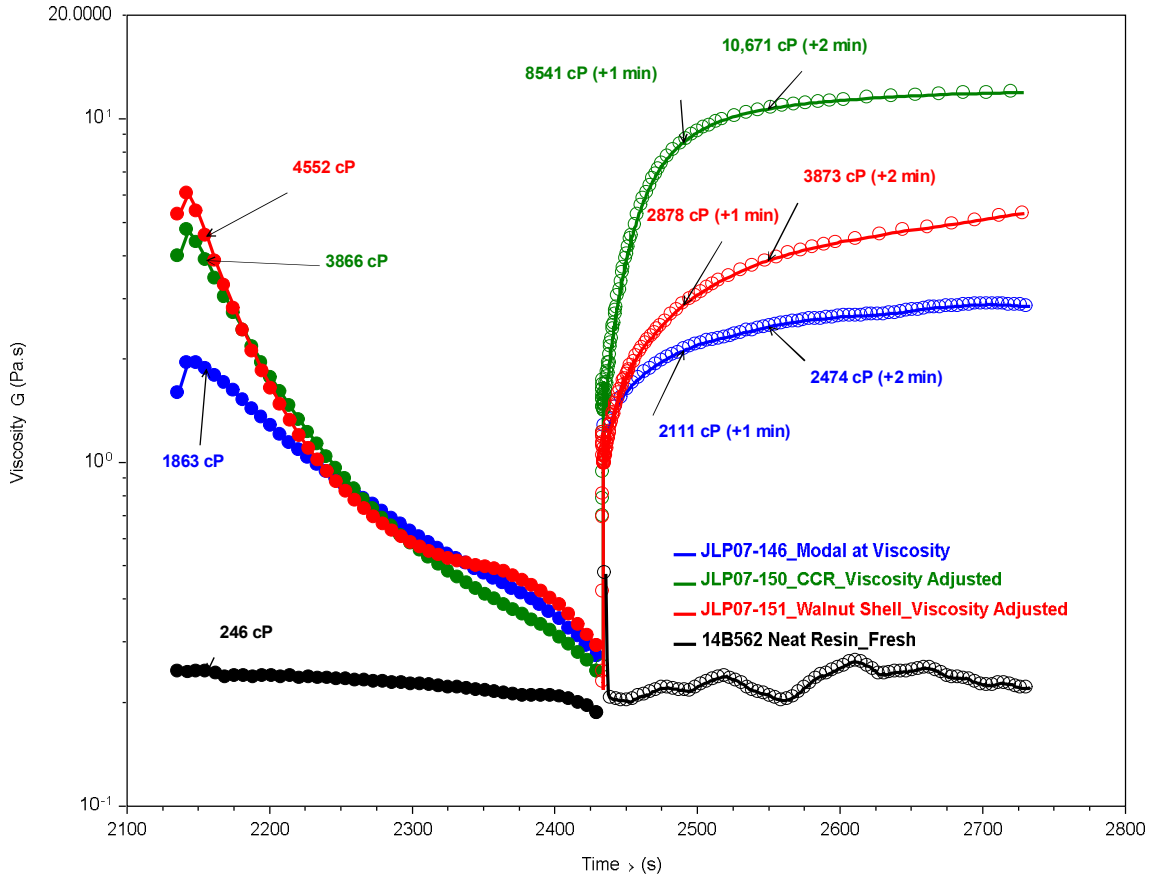


Grafico 2: Prueba de barrido de tiempo, después del aumento de cizalle, se midió la recuperación de la viscosidad con una tasa de cizallamiento muy baja o nula. Este gráfico muestra qué tan rápido y en qué medida aumenta la viscosidad para estas mezclas de pegamento de acuerdo al tipo de filler que se utiliza en la resina.

Como se esperaba, el PF no se "cortó" y no volvió a aumentar la viscosidad. Las tres mezclas de pegamento mostraron resultados muy interesantes. La mezcla de pegamento de **cáscara de nuez** comenzó a aproximadamente 4552 cPs a un rango de cizalle muy bajo (viscosidad de almacenamiento), durante su aplicación la viscosidad cayó a aproximadamente 300 cPs, luego le tomó más de 2 minutos recuperar su viscosidad. La mezcla **Modal** comenzó a 1863 cPs, descendió a aproximadamente 300 cPs durante la aplicación y luego volvió a su viscosidad inicial en un minuto y luego pasó de la viscosidad inicial. La mezcla de **CCR** comenzó a aproximadamente 3866 cPs en el rango de cizallamiento bajo (en el tanque), durante la aplicación cayó a aproximadamente 300 cPs y luego, una vez que terminó el evento de alto cizalle, recuperó bruscamente su viscosidad. Esto muestra que inmediatamente después de la aplicación, cuando se encuentran sobre la superficie de la madera, las mezclas Modal y CCR logran una viscosidad más alta en comparación con la mezcla Walnut. En el

término viscoelástico de polímero, las mezclas Modal y CCR muestran una respuesta pseudoplástica más eficiente. Este aumento instantáneo de la viscosidad o elasticidad de bajo cizalle evitará la penetración excesiva y, por lo tanto, permitirá que haya más resina en la superficie. Por otro lado, la mezcla de cáscara de nuez tarda mucho en ganar viscosidad (comportamiento tixotrópico). Esta lenta recuperación de la viscosidad permitirá que la resina penetre demasiado en la madera. (Fuente: **Dr. Sudip Chowdhury & Dr. Jesse Paris, R&D Technical Expertise & Capabilities WVCO, 20 Mayo 2019.)**

Propiedades de humedad

El contenido de humedad de la madera contrachapada

El contenido de humedad de la madera contrachapada es normalmente del 7 al 12 % cuando sale del aserradero. Después de la entrega, el contenido de humedad de la madera contrachapada puede cambiar (generalmente aumentando) durante el transporte, el almacenamiento y el procesamiento posterior. Como todos los demás materiales a base de madera, el contrachapado es un producto higroscópico y presenta un comportamiento mecánico viscoelástico. Por estas razones, es necesario tener en cuenta las condiciones de humedad al cargar madera contrachapada.

El contenido de humedad (H) se define mediante la siguiente fórmula

$$H = \frac{m_H - m_O}{m_O} \bullet 100$$

Formula 1: Donde, mH es la masa inicial de la pieza de madera,
mO es la masa de la pieza de madera después del secado

La madera contrachapada tiene un contenido de humedad equilibrado, propio para cada especie de acuerdo a su densidad **(Tabla 3).** "Chile dispone actualmente de 3,6 millones de hectáreas de plantaciones forestales y más de 13 millones de hectáreas de bosques nativos (Tabla 2), sin embargo, son las primeras las que sustentan la desarrollada y creciente industria forestal nacional, generando grandes volúmenes de productos de la transformación primaria de la madera, que son destinados principalmente a los mercados externos, con retornos de divisas por sobre los 5 mil millones de dólares por año. La especie mayoritariamente empleada en las plantaciones chilenas es pino radiata (Pinus radiata). A principios de los años 70 del siglo pasado existían en el país unas 450 mil hectáreas de plantaciones, el 90% de esta superficie correspondía a esta especie y el 10% restante estaba compuesto por otras, principalmente álamos (Populus spp) y eucalipto (Eucalyptus globulus ssp globulus)" (Barros A. Ingeniero Forestal, Instituto Forestal, Chile)**.**

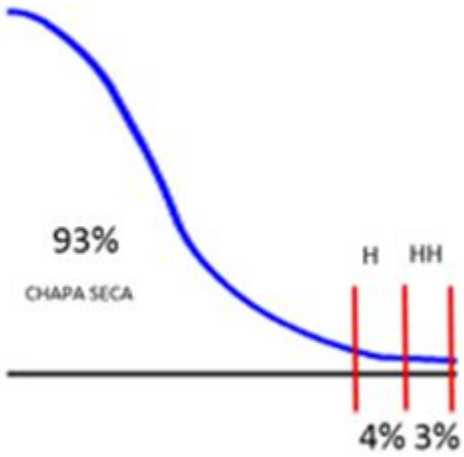
Recurso Forestal (ha)/ *Forest Resource (ha)*	Última cifra disponible/ *Latest available figure*
Plantaciones Forestales/ ***Forest Plantations*** **(1)**	**2.321.257**
Pinus radiata	**1.299.451**
Eucalyptus globulus **y/** ***and*** ***Eucalyptus nitens***	**854.593**
Uso Suelo Plantaciones Forestales/ ***Forest Plantations Land Use*** **(2)**	**3.114.125**
Pinus radiata	**1.886.664**
Eucalyptus sp.	**1.039.965**
Plantación Forestal Anual/ ***Annual Forest Plantation*** **(3)**	**79.299**
Bosque Nativo/ ***Native Forest*** **(4)**	**14.737.486**
Áreas Silvestres/ ***Wild Areas*** **(5)**	**18.620.140**
Bosque Nativo en el SNASPE/ ***Native Forest in the SNASPE*** **(6)**	**3.763.102**

Tabla 2: Recuso Forestal (ha), *Fuente Anuario Forestal 2021, Ministerio de Agricultura Gobierno de Chile, Instituto Forestal (INFOR).*

Nombre vulgar	Nombre científico	Densidad en Kg/m³ Madera seca
Eucalipto camaldulensis	**Eucalyptus camaldulensis**	**830**
Eucalipto globulus	Eucalyptus globulus	**780**
Eucalipto saligna	Eucalyptus saligna, E. Grandis	**560**
Eucalipto viminalis	Eucalyptus viminalis	**700**
Alamo criollo	Populus nigra cv italica	**420**
Alamos híbridos	Populus x euroamericana cv…	**400**
Pino insigne	Pinus radiata	**480**

Tabla 3: Diferencia de densidad en Kg/m³ de diferentes variedades de Eucaliptus, Álamo y Pino, elaboración propia.

Ejemplo De Distribución De Humedad De Chapas En Planta



Chapa H y HH: Chapas que están por sobre la humedad promedio objetivo del proceso, desclasifican y deben ser reprocesadas, con todos los costos que implica.

Configuración de tableros y esquemas de producción.

De acuerdo al espesor objetivo en milímetros de los tableros contrachapados, se configuran los esquemas de trabajo. Usando los espesores nominales de cada ply o lámina, dependiendo de la capacidad de obtenerlas, las más comunes son de 2.6 mm. y 3.2 mm. Las láminas de plywood son una salida del proceso de secado.

En el proceso de secado, las chapas saturadas de agua que provienen de la cortadora rotatoria se les extrae el agua (macerado, cancha de riego) hasta estar en condiciones óptimas, evitando el deterioro como consecuencia de tensiones internas, y se obtienen láminas o chapas, con ciertas condiciones físicas de humedad, temperatura y grado de calidad. Y las que no, desclasifican, y son reacondicionadas para devolverles su valor en el proceso productivo.

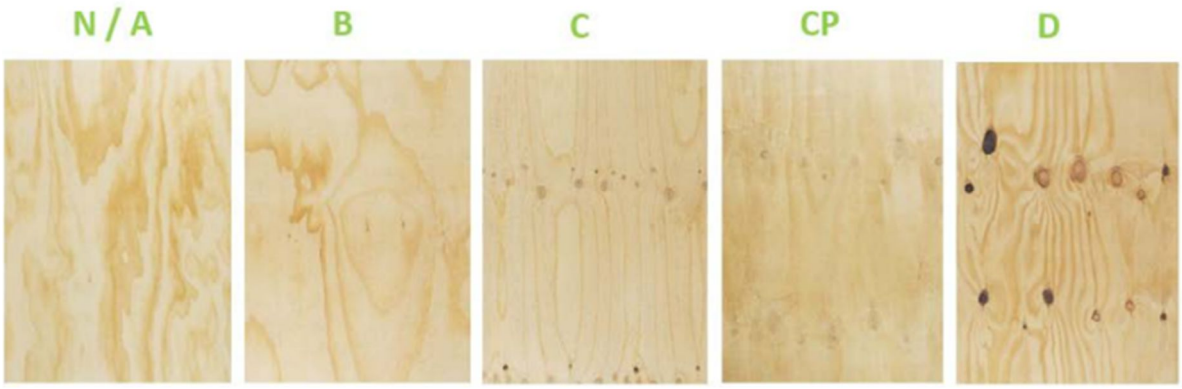


Imagen 2: Clases de Chapas, dependiendo de los defectos, la norma define 6 grados de chapa. (Fuente: Enrique Mac-Manus Arauco 2020, Normativa Plywood PS1-09).

Configuración del tablero, Balance de humedad.

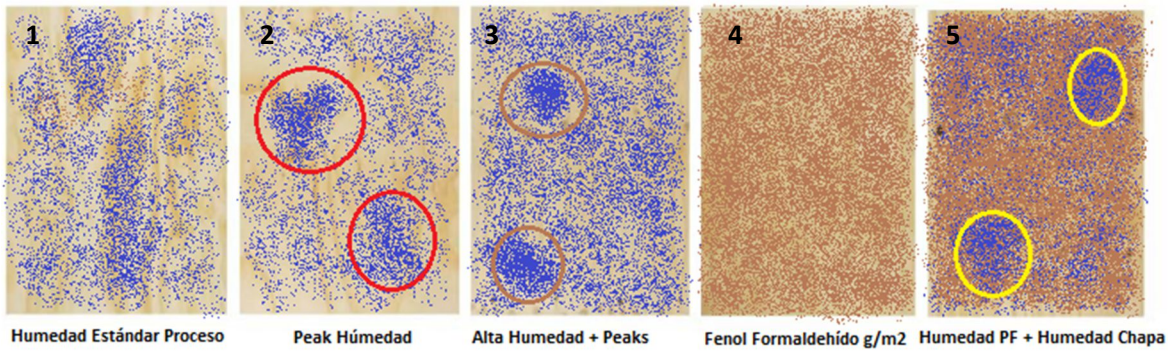


Imagen 3: Representación del contenido de humedad en la chapa, está no es homogénea y puede concentrarse en "bolsillos de humedad" llamados peak, y son importantes en la configuración de esquemas con el gramaje del adhesivo. Elaboración propia, tomando como base la Imagen 2.

Se podría considerar chapa seca la que contiene un porcentaje ≤ 6-8% con peak entre 10-12%, las que se podrían representar en las láminas 1 y 2 de la figura anterior. En la chapa 3 se representa una lámina con un mayor contenido de humedad y consecuentemente un peak mayor. En la chapa 4 se representa la aplicación de la resina fenol-formaldehído sobre el sustrato en una cierta cantidad de g/m². Y por último la chapa 5 representa la distribución de humedad que se debe considerar a la hora de trabajar con tableros de alta humedad, para considerar el equilibrio entre la humedad de la chapa y el gramaje de la resina fenólica.

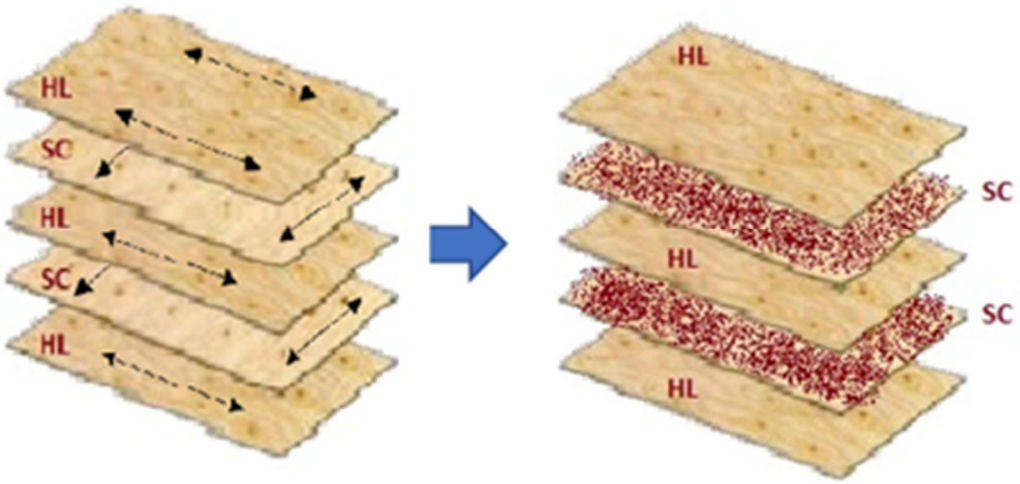


Imagen 4: En el proceso de encolado las láminas se ordenan de tal modo que la orientación de la fibra quede perpendicular entre las chapas, para optimizar las características mecánicas que deben cumplir los tableros de acuerdo a la normativa exigida. La aplicación de resina fenol-formaldehído va sobre algunas chapas, dejando la cara y trascara libres de adhesivo obviamente, la cual pude ser a través de sistema spray, rodillo o extrusión. dependiendo del sistema el adhesivo per se tendrá diferente viscosidad de cizalle.

Para el sistema de extrusión, se debe considerar por lo menos los siguientes aspectos:

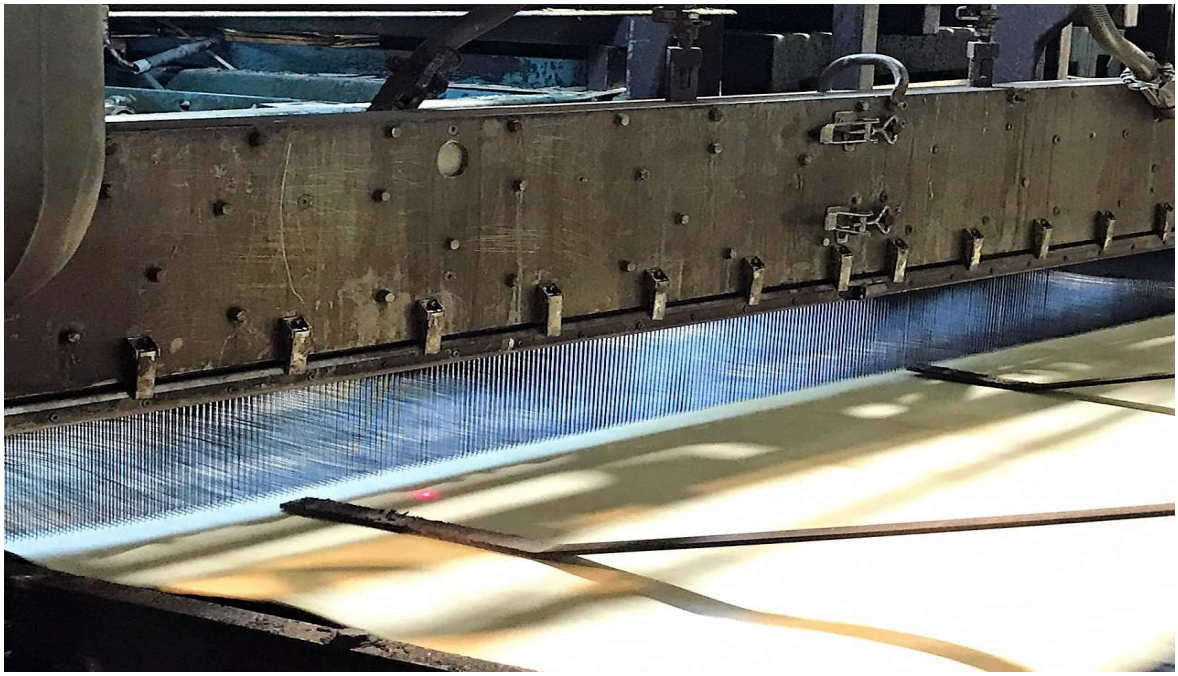


Imagen 5: Sistema de aplicación por extrusión de resina fenol-formaldehído, consta de una cabezal y pequeños orificios llamados lamelas por el cual cae el adhesivo sobre las chapas. Tiene un sistema de recirculación que recoge lo que cae sobre un harnero en constante vibración y lo devuelve al sistema a través de bombas de desplazamiento positivo.

- Tensión superficial óptima: Los hilos de cola deben fluir de forma continua y no intermitente, desde que caen por lamela y llega a las láminas.
- Viscosidad con Cizalle (reología): Estabilidad de la mezcla mientras se mueve por el circuito de recirculación (Cabezal, Harnero, Bombas).
- Viscosidad bajo Cizalle (reología): Aumente rápidamente sobre el ply, una vez aplicado, para reducir la sobre penetración.
- Estabilidad: La viscosidad de la mezcla fenólica con la que se despacha de la planta de resinas, debe ser la misma al ingresar a la planta de terciados.
- Dispersión de Fillers óptima: La harina no debe estar aglomerada ya que podría obstruir las lamelas de aplicación. Y al estar mal incorporada podría generar dryout en los ensayos de adherencia, como una causa de desclasificación.

Imagen 6: Contraste entre 2 resinas con filler CCR; Izquierda: Se observa el filler aglomerado, como síntoma de una deficiente agitación o bien el uso de un dispersante inadecuado. Derecha: Filler incorporado homogéneamente en la resina.

Imagen 7: Aplicación por sistema de extrusión, sobre una lámina o chapa, se mide en g/m².

Una vez aplicado el adhesivo, y este entra en contacto con la fibra de madera comienza una reacción exotérmica que lentamente retira el agua del sistema del adhesivo y comienza a generar adherencia o pegajosidad (tack) que corresponde al tiempo abierto antes de ingresar al proceso de Pre-Prensa (fría), para consolidar y homogenizar el adhesivo con la chapa, ingresando pilas de hasta 45 tableros, permitiéndonos de esta etapa en adelante comenzar a hablar de tableros terciados o contrachapados.

Imagen 8: Tiempo abierto de los tableros una vez aplicado el adhesivo, y control de adherencia o tack.

En esta etapa, se activa la ventaja competitiva, la reolgía de la resina con filler CCR, ya que al bajar el cizalle de la mezcla (el adhesivo ya no circula por el sistema de aplicación), este está en reposo sobre las láminas lo que le permite recupera rápidamente su viscosidad, y permanecer más tiempo activo sobre la superficie, evitando la sobre penetración.

Imagen 9: Tableros en proceso de Pre-Prensado (frío), consolidación de tableros.

Los tableros consolidados son movilizados hasta los cargadores de la Prensa (caliente), donde estos no se deben abrir para restar tiempo al proceso automático/manual de carga. Una vez cargados los tableros, se les proporciona un ciclo de alta y de baja presión, con una determinada temperatura (para que el adhesivo polimerice o cure). De acuerdo a la receta para cada espesor de tablero.

Si al trabajar con láminas con un mayor contenido de humedad, y además que tengan peaks por sobre los estándares y no se reduce el gramaje de la resina fenol-formaldehído, el exceso de vapor de agua se concentrará en las láminas interiores hasta que liberen la presión interna y provoquen Soplados o Cull (desclasificación).

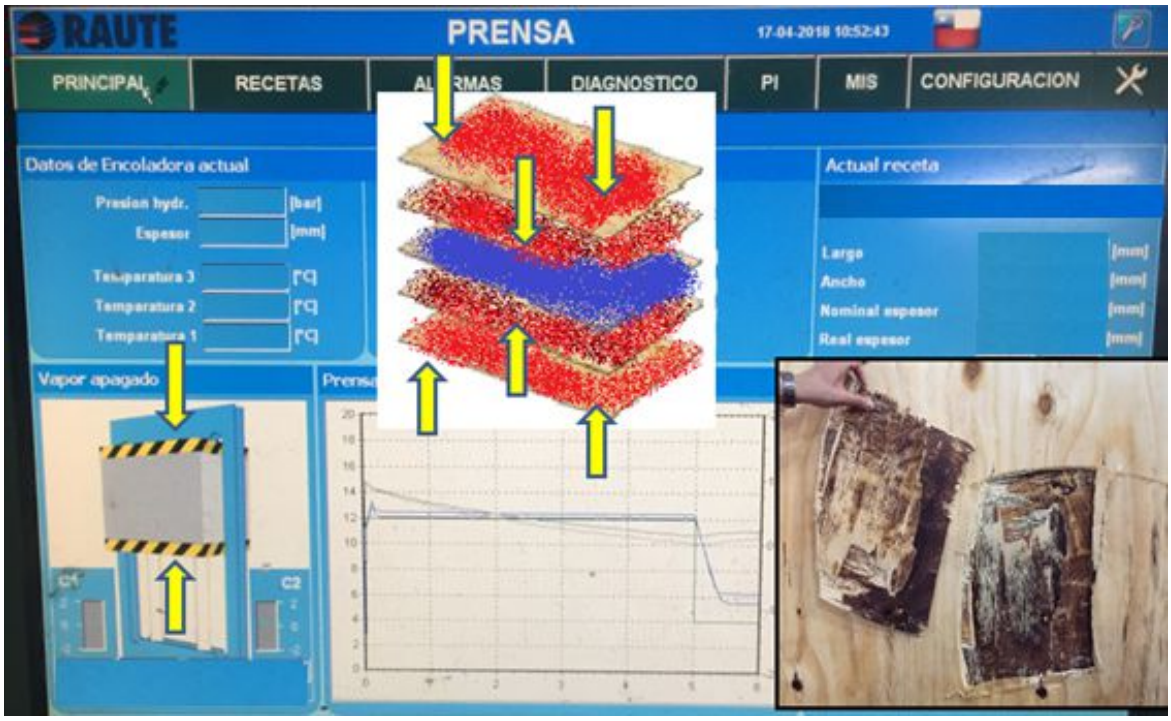


Imagen 10: Ciclo de Prensado en un cierto ciclo de Alta y Baja presión, y a una cierta temperatura, sin reducción de gramaje del adhesivo, el exceso de vapor de agua se concentra en el tablero y consecuentemente provocara desclasificación como Soplados o Cull, creación propia.

En la salida de la Prensa, se puede realizar un control de proceso llamado KnifeTest o Gubia, con el cual se puede tener una primera impresión de la efectividad del adhesivo en términos de adherencia y causas de desclasificación (Baja Aplicación, Humedad, DryOut y Rugosidad) atribuibles a todas las variables anteriormente señaladas del proceso.

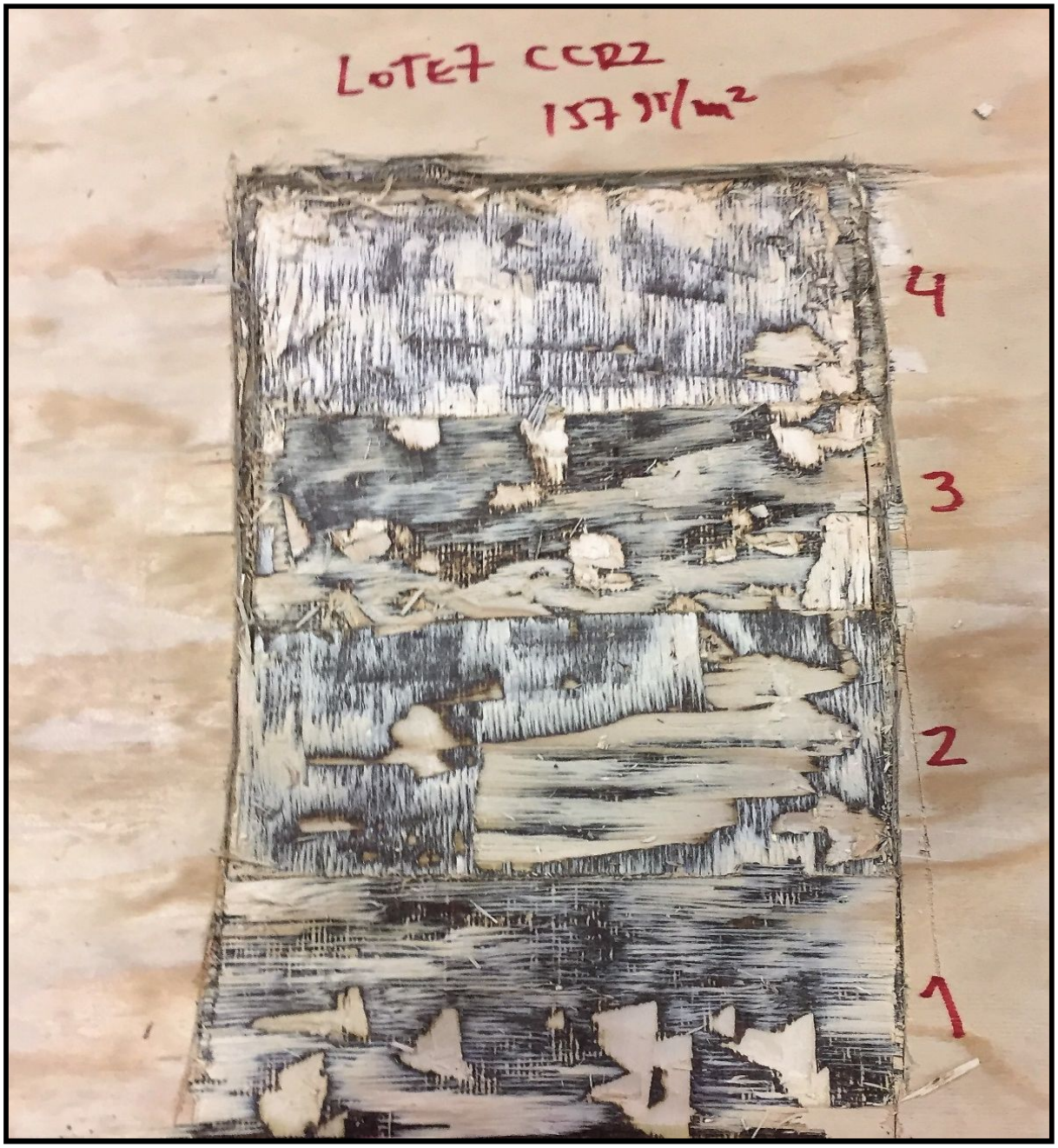


Imagen 11: KnifeTest realizado sobre un esquema con aplicación de PF + filler CCR en Demostración Industrial. Se observa y cuantifica en % la cantidad de la fibra de la chapa adherida a la subyacente.

línea 1: Se puede apreciar algo de DryOut, se ve seca la fibra de la madera en algunas áreas.
línea 2 : Se puede observar Adherencia ≥ 85%.
línea 3 : Se observa un buen nivel de adherencia y otras zonas secas.
línea 4: Se puede observar Adherencia ≥ 85%.

CAPITULO I: ESTUDIO DE MERCADO

1. CAPITULO I

1.1. Estudio de mercado.

Cuadro 3.29 PLANTAS PRODUCTORAS DE TABLEROS Y CHAPAS, AÑO 2020
WOOD PANELS AND VENEERS PRODUCTION PLANTS, YEAR 2020

Razón social/ *Commercial name*	Comuna/ *County*	Producto/ *Product*	Capacidad Instalada/ *Installed capacity* (m^3)	Nº Turnos/ *Nº turns*	Ocupación/ *Employment* (personas/ *persons*)
Total/ *Total*			4.183.300		8.896
REGIÓN DEL MAULE			401.600		1.229
Comercial Roberto Becerra y Cía. LTDA.	Talca	Chapas debobinadas/ *Peeled veneers*	2.400	1	50
		Tablero contrachapado/ *Plywood*	5.600	1	
Cía. Chilena de Fósforos S.A.	Retiro	Chapas debobinadas/ *Peeled veneers*	10.000	2	372
Ind. Maderera Entre Ríos S.A.	Curicó	Tablero contrachapado/ *Plywood*	12.000	2	99
Maderas Arauco S.A.	Teno	Tablero MDP/ *MDP*	340.000	3	265
Ind. Maderera Prosperidad LTDA.	Talca	Chapas debobinadas/ *Peeled veneers*	4.000	2	257
		Tablero contrachapado/ *Plywood*	15.600		
Terciados y Elaboración de Maderas S.A.	Retiro	Chapas debobinadas/ *Peeled veneers*	12.000	3	186
REGIÓN DE ÑUBLE			973.000		1.636
Forestal León LTDA.	Coelemu	Tablero contrachapado/ *Plywood*	48.000	2	55
Maderas Arauco S.A.	Yungay	Tablero MDF/ *MDF*	515.000	3	872
	Ranquil	Chapas debobinadas/ *Peeled veneers*	1.000	3	529
		Tablero contrachapado/ *Plywood*	349.000	3	
Paneles Leonera LTDA.	Coelemu	Tablero contrachapado/ *Plywood*	60.000	3	180
REGIÓN DEL BIOBÍO			1.421.400		2.843
Colcura S.A.	Los Ángeles	Chapas foliadas/ *Foliated veneers*	1.000	1	29
Embalajes Standard LTDA.	Los Ángeles	Tablero contrachapado/ *Plywood*	19.000	3	192
For. y Mad. Vilafranca Oliver Chile LTDA.	Los Ángeles	Tablero contrachapado/ *Plywood*	18.000	3	98
Industria de Madera Borver LTDA.	Negrete	Chapas debobinadas/ *Peeled veneers*	10.400	1	32
Laminadora Los Ángeles	Los Ángeles	Chapas debobinadas/ *Peeled veneers*	24.000	2	140
		Tablero contrachapado/ *Plywood*	8.000	2	
Maderas Arauco S.A.	Arauco	Tablero contrachapado/ *Plywood*	330.000	3	612
Masisa S.A.	Cabrero	Tablero MDF/ *MDF*	350.000	3	614
		Tablero MDP/ *MDP*	280.000	3	
	San Pedro de la Paz	Tablero partículas/ *Particleboard*	92.000	3	472
		Tablero MDF/ *MDF*	150.000	3	
Masonite Chile S.A.	Cabrero	Tablero fibra de alta densidad/ *HDF*	38.000	2	292
Tulsa S.A.	Lota	Chapas debobinadas/ *Peeled veneers*	6.000	3	362
		Tablero contrachapado/ *Plywood*	95.000	3	
REGIÓN DE LA ARAUCANÍA			886.300		2.498
CMPC Maderas SPA	Collipulli	Tablero contrachapado/ *Plywood*	500.000	3	1.178
Eagon Lautaro S.A.	Lautaro	Chapas debobinadas/ *Peeled veneers*	60.000	3	1.099
		Tablero contrachapado/ *Plywood*	180.000	3	
Foliadora de Maderas Gorbea LTDA.	Gorbea	Chapas foliadas/ *Foliated veneers*	1.300	1	25
Louisiana Pacific Chile S.A.	Lautaro	Tablero OSB/ *OSB*	145.000	3	196
REGIÓN DE LOS RÍOS			489.000		638
Chile Panel S.A.	La Unión	Tablero OSB/ *OSB*	132.000	3	123
Infodema S.A.	Valdivia	Tablero Contrachapado/ *Plywood*	72.000	3	215
Louisiana Pacific Chile S.A.	Panquipulli	Tablero OSB/ *OSB*	285.000	3	300
REGIÓN DE LOS LAGOS			12.000		52
Soc. Forestal y Maderera Serko LTDA.	Frutillar	Tablero Contrachapado/ *Plywood*	12.000	2	52

Fuente/ *Source:* INFOR.

Tabla 4: Plantas Productoras de Tableros y Chapas en Chile, Fuente Anuario Forestal 2021, Ministerio de Agricultura Gobierno de Chile, Instituto Forestal (INFOR).

De acuerdo a Instituto Forestal (INFOR) existen 26 plantas productoras de Tableros y Chapas en Chile, lo que proporciona una cantidad considerable de potenciales clientes para implementar esta innovación tecnológica. Y además está Lumin, en Tacuarembó, Uruguay, un importante productor de la industria sudamericana.

PRODUCTO: Resina fenol formaldehido PF con Wilvaco-Fil CCR, reemplazando los Fillers convencionales, como la harina de cáscara de nuez, y la harina de cáscara de coco.

PRECIO: El precio lo fijará el proveedor de la resina fenol formaldehído PF, quién deberá evaluar el impacto de sus costos al reemplazar un filler por otro, y además considerar la probable reducción del consumo de la resina en las plantas productoras de tableros y chapas. Manteniendo idealmente un precio competitivo de acuerdo al mercado actual, con una estrategia ganar-ganar-ganar, cuyo objetivo radica en que todas las partes que intervienen en esta innovación se beneficien (Proveedor del Filler (A), Proveedor de resina PF (B), Productor de Tableros y Chapas (C)).

PLAZA: La resina fenol-formaldehído PF es distribuida a las plantas productoras a través de camiones tipo cisterna, que tienen una capacidad aproximada de 28 toneladas. Los productores de resina PF tienen una ubicación estratégica en la región, de tal modo que les permite distribuir el producto oportunamente a sus clientes, dependiendo de la demanda se pueden despachar 2 o más camiones diarios. En Tacuarembó la planta de Hexion está ubicada frente la planta de Lumin.

PROMOCIÓN: Tapel Willamette tiene relaciones comerciales con la gran mayoría de los productores de tableros y chapas a nivel nacional, también con Lumin en Uruguay. Siendo socio estratégicos de estos con otras soluciones para la industria de la madera, por lo que se pueden solicitar reuniones para presentar está innovación tecnológica.

Al mismo tiempo se cuenta con una página web, en la cual se puede acceder a los alcances de este filler en la industria de los tableros contrachapados.

También existen ferias internacionales del rubro forestal como la EXPOCORMA, que se realiza en Chile, en la Región del Bío-Bío, capital forestal en la provincia de Concepción, en el recinto ferial de corma ubicado en la ruta 160, km. 18 que une Concepción y Coronel. Organizada por la corporación chilena de la madera. Que permite el encuentro entre el sector forestal y los demás actores públicos y privados, académicos productivos, en torno a temas relevantes para el desarrollo del sector, de las comunidades en que éste está inserto y del país en su conjunto.

1.2. Definición de la empresa.

Tapel Willamette Inc. S.A forma parte de la corporación WIllamette Valley Company (WVCO), multinacional privada de vanguardia que produce y distribuye una amplia variedad de productos y servicios a medida en Estados Unidos, Europa, Canadá, Asia y desde el año 2000 a toda Sudamérica a través de nuestra planta ubicada en Coronel, región del Biobío. Si bien nuestros orígenes se encuentran ligados a la industria de la madera desde 1952, en la actualidad nuestra experiencia, conocimiento y soluciones abarcan desde revestimientos innovadores, fillers, adhesivos, robótica, repuestos, industria del ferrocarril, ingeniería y mucho más.

1.2.1. Misión.

"Invitamos al desafío y nos enfocamos en el proceso, haciendo ciencia, avanzando en conocimiento, explorando nuevos terrenos y acompañando a nuestros clientes en su crecimiento".

1.2.2. Visión.

"Tapel Willamette Inc. S.A. Estará presente con soluciones a las necesidades de sus clientes y los acompañará con tecnología, investigación y desarrollo para enfrentar los desafíos futuros. Seremos aliados estratégicos de nuestros clientes integrándonos a su cadena de valor".

1.3. Análisis FODA.

1.3.1. Fortalezas.

a. Más de 20 años de experiencia en el uso del filler CCR, contrachapando sistemas de alta humedad en Estados Unidos, Canadá y Australia.
b. Innovación en procesos y tecnología
c. Recursos humanos bien capacitados.
d. Servicio al cliente, post venta.
e. Visión, Misión, Objetivos y metas bien definidos.
f. Liquidez.

1.3.2. Debilidades.

a. No ser proveedor/fabricante de resinas PF
b. Depender de otra organización/empresa para alcanzar con éxito la implementación de la tecnología.

1.3.3. Oportunidades

a. Demostrar a los clientes, un compromiso real en hacer más eficientes sus procesos.
b. Nuevo mercado, como proveedor de filler para los fabricantes de resina PF.

1.3.4. Amenazas

a. Productos sustitutos.
b. Desinterés de los fabricantes de resina PF, por la reducción del volumen de ventas.

1.4. Matriz FODA.

Análisis interno	Análisis Externo
Debilidades: **D1.** No ser proveedor/fabricante de resinas PF. **D2** Depender de otra organización/empresa.	**Amenazas:** **A1.** Productos sustitutos. **A2.** Desinterés de los fabricantes de resina PF, por la reducción del volumen de ventas.
Fortalezas: **F1.** Experiencia internacional. **F2.** Innovación en procesos y tecnología. **F3.** Recursos humanos bien capacitados. **F4**. Servicio al cliente, asistencia técnica integral. **F5.** Visión, Misión, Objetivos y metas bien definidos. **F6.** Liquidez.	**Oportunidades:** **O1.** Demostrar a los clientes, un compromiso real en hacer más eficientes sus procesos. **O2.** Nuevo mercado, como proveedor de filler para los fabricantes de resina PF. **O3.** Implementar el uso de CCR en sistema de extrusión. **O4.** Generar experiencia en Recursos Humanos.

Tabla 5: *Elaboración propia, consolidado de análisis FODA.*

FACTORES INTERNOS FACTORES EXTERNOS	**Fortalezas:** **F1.** Experiencia internacional. **F2.** Innovación en procesos y tecnología. **F3.** Recursos humanos bien capacitados. **F4**. Servicio al cliente, post venta. **F5.** Visión, Misión, Objetivos y metas bien definidos. **F6.** Liquidez.	**Debilidades:** **D1.** No ser proveedor/fabricante de resinas PF. **D2** Depender de otra organización/empresa.
Oportunidades: **O1.** Demostrar a los clientes, un compromiso real en hacer más eficientes sus procesos. **O2.** Nuevo mercado, como proveedor de filler para los fabricantes de resina PF. **O3.** Implementar el uso de CCR en sistema de extrusión**.** **O4.** Generar experiencia en Recursos Humanos Locales.	**FO (Max-Max).** El capital humano se hace clave en una industria que lleva muchos años de trabajo. La experiencia internacional, con el dominio en la química, en los procesos, y las relaciones comerciales, se traducen en Kurt Rusell y Wallace Rowland como líderes y mentores del equipo de trabajo.	**DO (Mini-Max).** Realizar transferencias tecnológicas efectivas a los fabricantes de resinas y prestar todo el apoyo necesario de forma permanente hasta consolidar los conceptos y procesos claves de la fabricación y aplicación de las resinas PF con CCR.
Amenazas: **A1.** Productos sustitutos. **A2.** Desinterés de los fabricantes de resina PF, por la reducción del volumen de ventas.	**FA(Maxi-Mini).** Disponer de los recursos humanos y tecnológicos, al servicio del fabricante de tableros, para asegurar el éxito de la innovación tecnológica y así puedan obtener resultados concretos y tangibles.	**DA(Mini-Mini).** Son muchos los potenciales beneficios de este filler, sin embargo, se debe ser cauto con las expectativas, fijar pequeñas metas a lograr, paso a paso, son muchas las variables que están involucradas, ir lento pero seguro hacia delante.

Tabla 6: *Elaboración propia, Matriz FODA.*

CAPITULO II: ESTUDIO TÉCNICO.

2. CAPITULO II.

2.1. Ingeniería de proyecto: No requiere, dado que solo se reemplazará una materia prima (filler) por otra, en la fabricación de la resina PF.

Materias Primas: Costos de operación.
Maquinarias y equipos: No requiere.
Obras físicas: No aplica.
Distribución en planta: No aplica.
Obras complementarias: No se requieren.
Recursos humanos: No se requieren más de los que ya se disponen.
Materiales: Las empresas no requiere más de los que ya dispone.
Suministros: Las empresas no requiere más de los que ya dispone.
Servicios Públicos: Las empresas no requiere más de los que ya dispone.

2.1.1. Descripción del proceso: Este proyecto se basa en la aplicación de la resina fenol formaldehído con filler CCR, la cual es una **entrada del proceso de encolado**, al igual que las chapas con un determinado porcentaje de humedad. Por tanto, su impacto e implementación, se basan en la humedad de las chapas y en la cantidad de gramaje aplicado de acuerdo a la configuración del tablero a armar (Ej: 9, 12, 15 o 18 mm.), esto debido a que para cada espesor existen recetas para las prensas en frío y en caliente, en tiempos y condiciones como temperatura y presión de trabajo. Por lo que se debe mantener el equilibrio de humedad sin generar rechazos o desclasificación por tableros soplados, dryout, humedad, rugosidad, o baja aplicación de la resina.

Cancha de Riego: Durante el tiempo de espera de los rollizos descortezados en el patio antes de su entrada a la línea de producción, están expuestos al ataque de agentes biológicos como hongos, para mitigar su incidencia se riegan con aspersores para pulverizar protectores fungicidas.

Macerado: Se realiza un acondicionamiento de los rollizos mediante la aplicación de agua caliente y vapor. De esta forma se logra ablandar la madera, previo a la etapa de debobinado.

Debobinado: Si el proceso es automatizado, un scanner de última generación analiza cada trozo con el fin de establecer la forma más adecuada de optimizar su volumen y con ello conseguir un manto continuo de chapa que es guillotinado y clasificado según su contenido de humedad.

Secado: Las chapas saturadas de agua son traspasadas a secadores de rodillo, donde se les extrae el agua hasta quedar en condiciones óptimas, evitando el deterioro como consecuencia de tensiones internas.

Encolado: Se aplica adhesivo fenol-formaldehído en las chapas mediante sistema de extrusión, rodillo o spray.

Pre-Prensado: Necesario para consolidar y homogenizar el adhesivo con la chapa, dependiendo de los espesores tienen tiempos definidos a una cierta presión. permitiéndonos de esta etapa en adelante hablar de tableros terciados.

Prensado: Dependiendo de los espesores de loa tableros a fabricar, se utilizan distintos programas de prensado para lograr una buena adherencia, mediante uso de temperatura y presión.

Reparación de tableros: Los paneles prensados son llevados a las líneas de reparaciones automáticas o manuales. Los sistemas automáticos proporcionan mayor precisión de la cantidad de poliuretano o pasta de retape a utilizar para que el tablero recupere valor.

Escuadrado: Se dimensiona el producto en forma rigurosa, de acuerdo a los requerimientos de los distintos mercados.

Lijado: Esta etapa cuenta con máquinas lijadoras de hasta 10 cabezales, que garantizan productos homogéneos con un acabado y apariencia superficial de acuerdo a los estándares de los mercados.

Empaque: Finalmente mediante un sistema de embalaje y distribución, los tableros son despachados con destino a mercado nacional e internacional.

2.1.2. Flujo de proceso

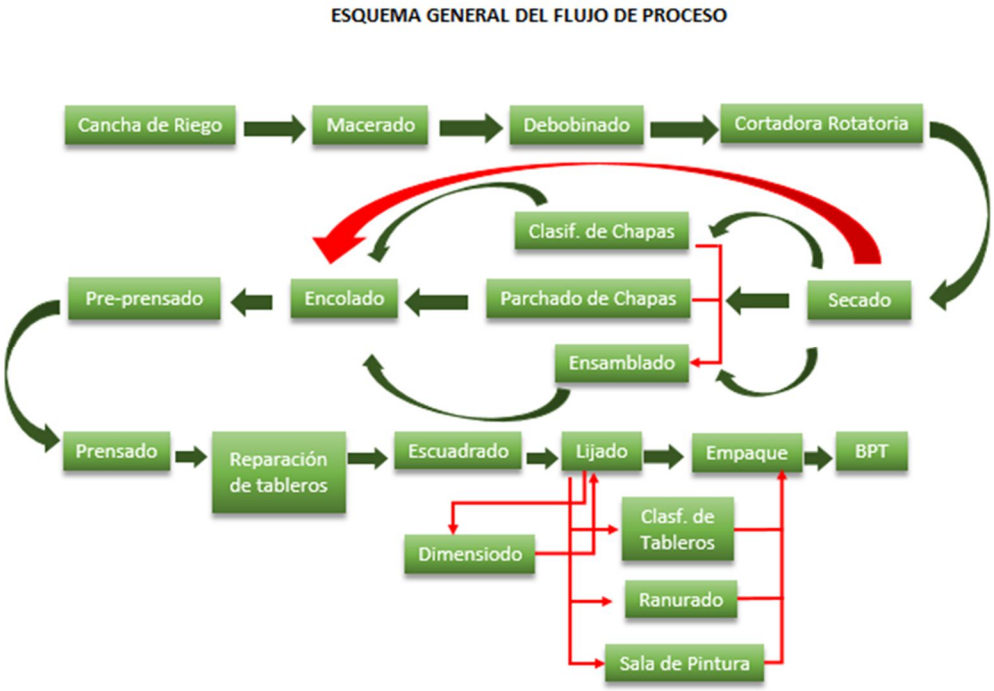


Imagen 1: "Esquema general del flujo de proceso de producción de tableros contrachapados estructurales de uso exterior". Trabajo de Título Sr. Sergio Placencia Cáceres

2.1.3. Equipos y artículos de insumo.

a. Encoladora.
b. Chapas.
c. Resina fenol-formaldehído con CCR.
d. Pre-Prensa (frío).
e. Prensa Caliente.

1.1. Costos de inversión.

El capital de trabajo para este proyecto será $0.

1.2. Costos de operación.

Serán particulares de cada fabricante de tableros contrachapados.

2.1.3 Propuesta de implementación y evaluación.

1. **Transferencia tecnológica:** Con el apoyo y experiencia de Kurt Russell & Wallace Rowland, de WVCO, con más de 40 años de experiencia en la industria norteamericana de plywood. Se realizó transferencia tecnológica en el laboratorio de I+D de Resinas del Bío-bío. Comenzando con la receta de fabricación con la correcta proporción e incorporación del Filler CCR a la resina, y la ejecución de ensayos de prensado a escala de laboratorio realizados en la Universidad del Bío-Bío, con algunos esquemas de alta humedad.

Imagen 12: Registro de Kurt Russell & Wallace Rowland con el equipo de Resinas del Bío-Bío ejecutando ensayos a escala de laboratorio en el Departamento de madera de la UBB.

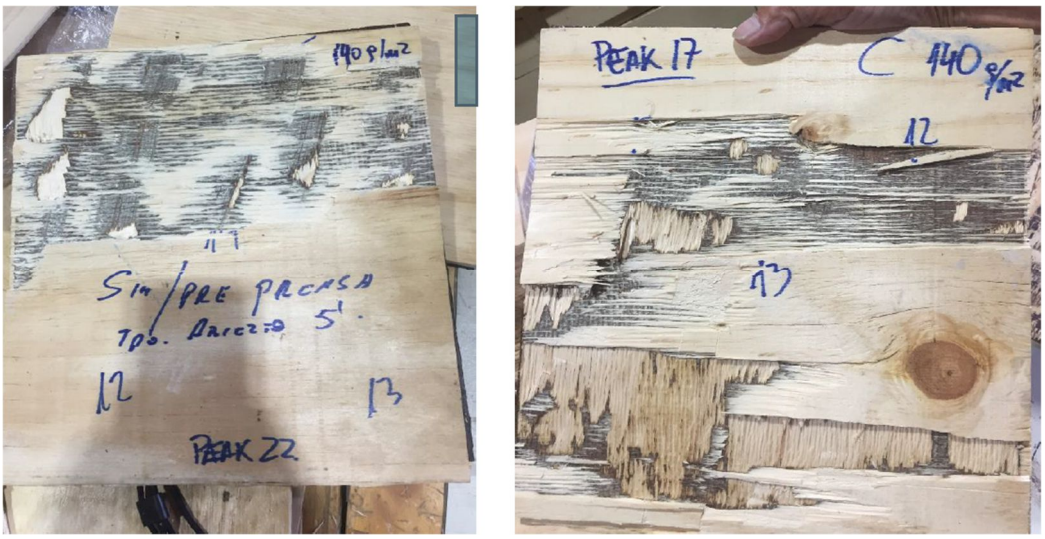


Imagen 13: Resultados de gubia, obtenidos en los ensayos a escala de laboratorio, con humedad promedio de 12-13% y peak de 22%, y promedio 12-13% con peak de 17% en tableros de 9 y 12 mm.

En primera instancia se evalúa la resina con CCR, con una humedad de chapa y gramaje estándar de acuerdo a lo utilizado comúnmente en la industria nacional, esto con el fin de pesquisar los cambios en los niveles de adherencia de los tableros armados. Posteriormente se ejecuta otra prueba con humedad de chapa estándar, y una reducción de gramaje del 11%, y modificando tiempos de armado y pre-prensado de acuerdo a los resultados obtenidos con anterioridad, y evaluar los nuevos niveles de adherencia de los tableros. Finalmente se incorporan las chapas húmedas en la cara y trascara, evaluando en 2 esquemas; gramaje estándar & reducción de gramaje del 11%, evaluando los niveles de adherencia y las posibles causas de desclasificación de los tableros.

Hexion, por su parte realizó la transferencia tecnológica desde su casa matriz en USA al laboratorio de I+D en Brasil, con el apoyo de David Dark para el equipo de Brasil liderado por Ronald Souza. El equipo de Hexion conoce y trabaja hace algunos años con CCR, por lo que no fue necesario en este caso apoyar la formulación de la resina PF con CCR, ni tampoco ejecutar una batería de ensayos a escala de laboratorio para conocer los requerimientos de humedad del óptimo desempeño del filler CCR.

Imagen 14: Registro de Kurt Russell & Wallace Rowland, junto a David Dark y Ronald Souza de Hexion (cascos azules) en demostración industrial realizada en la planta Lumin, Tacuarembó Uruguay, 2019.

2. Se identifican todas las variables que tienen un impacto directo sobre los resultados obtenidos, de acuerdo a tabla adjunta.

VARIABLES	
1. Temperatura Chapa input Encolado	°C
2. Humedad Chapa Externa Input Encolado	%
3. Humedad Chapa Interna Input Encolado	%
4. Gramaje Encolado	g/m²
5. Tiempo Armado (Encolado)	min.
6. Tiempo Abierto (Antes-Pre-prensa)	min.
7. Tiempo cerrado (Post Pre-prensa)	min.
8. Presión Preprensa	bar
9. Tiempo de Presión Preprensa	min.
10. Temperatura prensa	°C
11. Tiempo Total en Prensa.	min/mm
12. Tiempo Alta presión	% tpo total
13.Tiempo Baja presión	% tpo total
14. Alta Presión	bar
15. Baja presión	bar
16. Mojado a la salida prensa	superior / inferior tablero
17. Humedad Relativa	%
18. Temperatura ambiental	°C
19. Viscosidad aplicación mezcla adhesiva	seg./cPs

Tabla 7: Variables del proceso de fabricación de tableros contrachapados que deben ser controladas para evaluar correctamente la implementación del Filler CCR.

3. Protocolos de prueba que permiten evaluar la adherencia y causas de desclasificación de los tableros asociados a la humedad de las chapas y gramajes utilizados de forma objetiva, incluyendo el % de tableros soplados (ANEXO1).
4. Levantar todos los comentarios y observaciones de los clientes, asociados a la mejora de indicadores de productividad que pudieron observar y cuantificar con el uso de láminas húmedas en el proceso de producción. Este punto se desarrollará en el estudio económico del proyecto.

CAPITULO III: ESTUDIO ECONÓMICO.

2. CAPITULO III.

2.1. Estudio económico

Para realizar una evaluación objetiva de los potenciales beneficios de la implementación de esta tecnología en las resinas PF, sin comprometer información sensible de cada industria involucrada. **Se hacen estimaciones de acuerdo a los comentarios y observaciones realizadas por los clientes**, asociados a la mejora de indicadores de productividad que pudieron observar y cuantificar con el uso de láminas húmedas en el proceso de producción. **Multiplicadas por un cierto factor**, basadas en la producción por m^3 mensual, con el uso de resina promedio de 60-62 Kg m^3, estimación de costos de resina, pasta de retape y piluretano, y la reducción del indicador de chapas quebradas y reducción del reproceso. Para presentar el siguiente flujo parcial de costos varios de producción (se desconocen costos de las otras etapas del proceso de fabricación de tableros contrachapados) con y sin proyecto**, a un periodo de 5 años, con proyecciones en reducción continua de costos en algunas dimensiones a evaluar.**

Definiendo **SIN PROYECTO,** a los costos varios de producción que se estiman con el uso de una **resinal fenol-formaldehído con filler convencional**, como harina de cáscara de nuez o harina de cáscara de coco, entro otros. Como un costo de operación, por su naturaleza de materia prima y consecuentemente de entrada al proceso de encolado.

Definiendo **CON PROYECTO,** a los costos varios de producción que se estiman con el uso de una **resinal fenol-formaldehído con filler CCR** como innovación tecnológica. Como un costo de operación, por su naturaleza de materia prima y consecuentemente de entrada al proceso de encolado.

2.2. Tasa de descuento.

Para el cálculo de la tasa de descuento se considera

- Tasa libre de Riesgo: Promedio BCP del banco central desde el 2017 al 2021, siendo esta de 3.38%
- Beta: Chemical (Specialty) 1,10.
- IPC: índice de precio al consumidor, promedio de inflación acumulada anual del 2016 a al 2021. Siendo esta 2.95%
- Rendimiento de mercado: IPSA del 2013 al 2021, menos IPC. Siendo esta de 9.62%
- CAMP = RF + beta *(Rm-RF).

RF =	Tasa libre de Riesgo	3,38%
B =	Chemical (Specialty) *	1,10
Rm =	Rendimiento de Mercado	9,62%

CAMP	10,24%

Tabla 8: Elaboración propia, para el cálculo de la tasa de descuento.

2.3. Flujo de caja.

Total, costos SIN proyecto US$.

COSTOS SIN PROYECTO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
COSTOS VARIOS PRODUCCIÓN					
REDRY	$ 8.000.000,00	$ 8.000.000,00	$ 8.000.000,00	$ 8.000.000,00	$ 8.000.000,00
ADHESIVO	$ 21.374.400,00	$ 21.374.400,00	$ 21.374.400,00	$ 21.374.400,00	$ 21.374.400,00
CHAPA QUEBRADA	$ 1.500.000,00	$ 1.500.000,00	$ 1.500.000,00	$ 1.500.000,00	$ 1.500.000,00
POLIURETANO	$ 3.840.000,00	$ 3.840.000,00	$ 3.840.000,00	$ 3.840.000,00	$ 3.840.000,00
PASTA DE RETAPE	$ 2.100.000,00	$ 2.100.000,00	$ 2.100.000,00	$ 2.100.000,00	$ 2.100.000,00
TOTAL COSTOS **SIN** PROYECTO	**$ 36.814.400,00**	**$ 36.814.400,00**	**$ 36.814.400,00**	**$ 36.814.400,00**	**$ 36.814.400,00**

Tabla 9: Elaboración propia, estimación de costos varios de producción de los tableros contrachapados analizando 5 dimensiones: Redry (reproceso secador), Adhesivo (consumo de resina fenol-formaldehído), Chapa Quebrada (costos por rechazo), Poliuretano (consumo de químico para ratapar y recuperar la madera) y Pasta de Retape (Consumo para retapar y recuperar valor).

Total, costos CON proyecto US$.

COSTOS CON PROYECTO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
REDUCCIÓN COSTOS VARIOS					
	-15,0%	**-2,0%**	**-1,0%**	**-1,0%**	**-1,0%**
REDRY	$ 6.800.000,00	$ 6.664.000,00	$ 6.597.360,00	$ 6.531.386,40	$ 6.466.072,54
	-5,65%	**-0,55%**	**-0,55%**	**-0,55%**	**-0,55%**
ADHESIVO	$ 20.166.746,40	$ 20.055.829,29	$ 19.945.522,23	$ 19.835.821,86	$ 19.726.724,84
	-1,0%	**-0,5%**	**0,0%**	**0,0%**	**0,0%**
CHAPA QUEBRADA	$ 900.000,00	$ 895.500,00	$ 895.500,00	$ 895.500,00	$ 895.500,00
	-5,0%	**0,0%**	**0,0%**	**0,0%**	**0,0%**
POLIURETANO	$ 3.648.000,00	$ 3.648.000,00	$ 3.648.000,00	$ 3.648.000,00	$ 3.648.000,00
	-5,0%	**0,0%**	**0,0%**	**0,0%**	**0,0%**
PASTA DE RETAPE	$ 1.995.000,00	$ 1.995.000,00	$ 1.995.000,00	$ 1.995.000,00	$ 1.995.000,00
TOTAL COSTOS CON PROYECTO	**$ 33.509.746,40**	**$ 33.258.329,29**	**$ 33.081.382,23**	**$ 32.905.708,26**	**$ 32.731.297,38**

Tabla 10: Elaboración propia, estimación de costos varios de producción CON PROYECTO de los tableros contrachapados analizando 5 dimensiones, y realizando una proyección en reducción de algunos ítems por periodo.

2.4. Evaluación de los resultados.

BENEFICIOS NETO DEL PROYECTO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Diferencia de costos de ambas					
TOTAL COSTOS SIN PROYECTO	$ 36.814.400,00	$ 36.814.400,00	$ 36.814.400,00	$ 36.814.400,00	$ 36.814.400,00
TOTAL COSTOS CON PROYECTO	$ 33.509.746,40	$ 33.258.329,29	$ 33.081.382,23	$ 32.905.708,26	$ 32.731.297,38
PROYECTO	$ 3.304.653,60	$ 3.556.070,71	$ 3.733.017,77	$ 3.908.691,74	$ 4.083.102,62
CAPITAL DE TRABAJO	**$0**				
TASA DE DESCUENTO	**10,24%**				
VAN US$ (10,24%)	**$13.863.063,59**				

Tabla 11: Determinación del VAN elaboración propia, estimación de beneficios neto del proyecto, con capital de trabajo $0.

El "Valor actual neto VAN" al ser superior a cero unidades, el proyecto se puede considerar rentable, pero si bien este en el futuro puede verse afectado por movimientos del mercado que tal vez puedan afectar otras dimensiones del proceso no consideradas.

En este escenario evaluado, la mejor opción es la de "CON PROYECTO" con un VAN de 13.863.063,59 US$ de ingresos por solo reemplazar la resina PF convencional como entrada del proceso de encolado a una resina PF que contenga filler CCR. No se realiza análisis del TIR ya que este proyecto tiene un capital de trabajo $0.

2.5. Análisis de sensibilidad

Se realiza simulación de sensibilidad con un modelo de "Análisis de Hipótesis" en Microsoft Excel para evaluar la respuesta del VAN ante variaciones de:

- Aumento porcentual del costo de la resina PF con filler CCR.

BASE		VAN
0%		$13.863.063,59
1%	$	13.110.832,86
2%	$	12.358.602,13
3%	$	11.606.371,39
4%	$	10.854.140,66
5%	$	10.101.909,93
6%	$	9.349.679,20
7%	$	8.597.448,46
8%	$	7.845.217,73
9%	$	7.092.987,00
10%	$	6.340.756,27
11%	$	5.588.525,54
12%	$	4.836.294,80
13%	$	4.084.064,07
14%	$	3.331.833,34
15%	$	2.579.602,61
16%	$	1.827.371,87
17%	$	1.075.141,14
18%	$	322.910,41
19%	$	-429.320,32
20%	$	-1.181.551,06
21%	$	-1.933.781,79
22%	$	-2.686.012,52
23%	$	-3.438.243,25
24%	$	-4.190.473,99
25%	$	-4.942.704,72

Tabla 12: Tabla de valores sensibilidad de VAN respecto a la variación del costo de la resina PF c/ filler CCR.

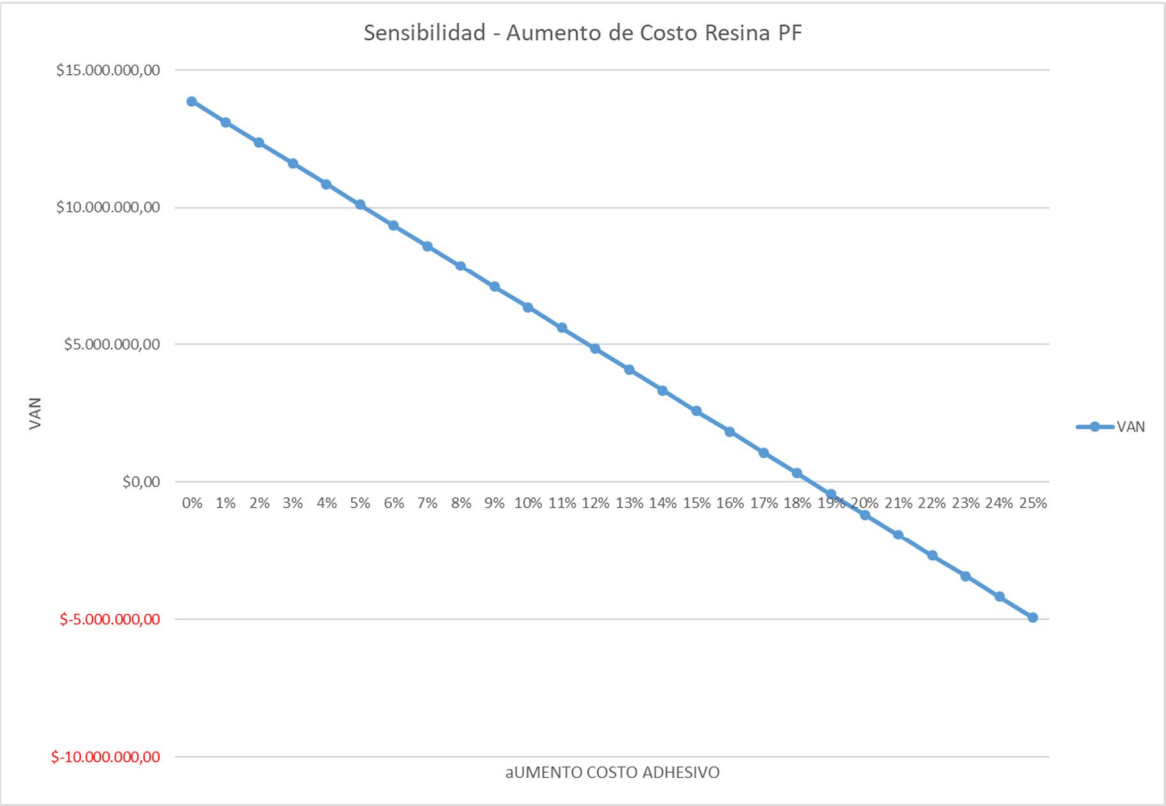


Gráfico 3: Gráfico de sensibilidad de VAN respecto a la variación del costo de la resina PF c/ filler CCR.

- Si el costo de la resina PF con filler CCR aumenta entre un 18% y 19%, el VAN se vuelve negativo.

- El VAN es sensible por cada 1% de variación del aumento del costo de la resina PF con filler CCR, retrocediendo en $752.230,73.

2.6 Comentarios

El VAN obtenido a 5 años, de acuerdo a las estimaciones realizadas con los comentarios obtenido por parte de los clientes, asociados a la mejora de los indicadores de productividad que pudieron observar y cuantificar con el uso de las chapas húmedas en el proceso de producción, es muy interesante, 14.681.968,03 US$ de ingresos por solo reemplazar la resina PF convencional como entrada del proceso de encolado a una resina PF que contenga filler CCR, sin dudas es un ahorro de costos importantes, solo al mejorar los márgenes de producción con las chapas H y HH que antes desclasificaban y debían ser reprocesadas, y la reducción del consumo de la resina PF, pastas de retape y poliuretano.

Es importante recalcar que esta estimación se hizo a base de la producción anual en metros cúbicos de tableros contrachapados, obtenidos de una industria x nacional publicado por el INFOR, con la estimación de costos de la resina, pasta de retape y poliuretano y costos de reproceso en Secado y disminución del porcentaje de chapas quebradas todo multiplicado por un factor de conversión. Para cada industria, habría que realizar un análisis particular para realizar una estimación real del VAN.

3. Conclusiones

Con todo lo antes expuesto y desarrollado, se puede afirmar que, en la industria nacional y sudamericana de tableros contrachapados, es factible prensar chapas con un mayor contenido de humedad, implementando adecuadamente el uso del filler CCR en la resina fenol-formaldehído en el proceso de fabricación per se y en el proceso de aplicación sobre las chapas en el encolado, diseñando protocolos con esquemas/configuraciones de tableros con chapa H en los procesos actuales, controlando todas las variables que tienen un impacto en el desempeño esperado de los tableros una vez prensado en términos de adherencia y porcentaje de tableros rechazados por warping y soplados. Y lograr así, proporcionar una ventana operativa más amplia en términos de humedad.

El eventual impacto en términos de reducción de costos para esta mega industria, podría ser más que significativo, si se considera el VAN evaluado y obtenido a 5 años (a través de estimaciones), sin requerimiento de una inversión del capital de trabajo, sino más bien con la modificación de una entrada del proceso de encolado.

Por lo tanto, queda demostrada la relevancia de los socios estratégicos que buscan permanentemente la innovación en los procesos productivos de sus clientes, haciendo más rentables sus negocios.

4. Bibliografía

- Pérez, Vicente, (1995) EL CONTRACHAPADO ESTRUCTURAL. Ingeniero Civil, U. de Chile, Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile.
- ANUARIO FORESTAL, (2021) *Ministerio de Agricultura Gobierno de Chile, Instituto Forestal (INFOR).*
- HANDBOOK OF FINNISH PLYWOOD, WISA PLYWOOD_UPM PLYWOOD.
- CATÁLOGO DE LA INDUSTRIA FORESTAL MADERERA (2020). ProChile.
- "COMPARATIVE ANALYSIS OF PF RESIN EXTENDERS/FILLERS." Research and Development WVCO. Jesse Paris and Sudip Chowdhury (2019).

5. Anexos

Protocolo Pruebas Prensado CCR

Objetivo:

Probar desempeño del CCR en Mezcla Adhesiva fenol-formaldehído.

- Evaluar desempeño de aplicación en encoladoras de extrusión.
- Evaluar comportamiento de adherencia en tableros prensados.
- Evaluar comportamiento de aumento de humedad en chapas utilizadas en tableros.

Procedimiento:

Fecha prueba:
Planta:

Encolado -¨Prensado"

- Producto: **Se define el espesor del tablero** (mm.), **y grado de calidad.**
- Encolado con los gramajes y tiempos de armado de acuerdo a estándar.
- 1ra prueba: 3 prensadas en condiciones estándar de trabajo (humedad chapa y gramaje).
- 2da prueba: 3 prensadas con reducción de gramaje X% y chapa levemente húmeda.
- Ambas pruebas con ciclo de prensado normal.
- Separación de tableros para evaluar adherencia del ciclo de prensado, 1 tablero por prensada, tablero central del lote.

Desarrollo de prueba

- Se cargará mezcla adhesiva de prueba (X Volumen) en encoladora destinada a la prueba.

- **1ra Prueba: Chapa Seca**
    - Se cargará chapa estándar para encolar XX mm.
    - Se ajustará el gramaje como objetivo a XX gr/m2
    - Se encolará 1 prensadas en esa condición
    - Se evaluará gubias a la salida de prensa.
    - Se definirá el nuevo gramaje para la segunda y tercera prensada en condiciones de chapa seca.
    - Se dejará reposar 48 hrs y se retirarán dos tableros para evaluar adherencia.
    - Se evaluará adherencia según PS1 en todas las líneas de cola.

- Después de las 48 horas, se escuadrarán y se contabilizará la cantidad de tableros soplados

- **2da Prueba: Chapa Húmeda**
  - Se cargará chapa estándar levemente húmeda para encolar XX mm. De acuerdo al siguiente requerimiento: (humedad objetivo a buscar de acuerdo la curva de distribución de humedad del cliente).
    - Caras y Trascaras: Promedio X % de humedad, peak máximos hasta X% .
    - Chapa corta: promedio X% de humedad
    - Chapa Larga interior: promedio X % de humedad
    - Temperatura chapa: normal XX – XX °C
  - Se ajustarán el gramaje de acuerdo a lo definido por asistentes técnicos de Tapel según lo revisado en terreno.
  - Se encolará 1 prensada en esa condición
  - Se revisará gubia a la salida de prensa.
  - Se definirá el gramaje para la segunda y tercera prensada, de acuerdo a lo revisado en terreno.
  - Se dejará reposar 48 hrs y se retirarán dos tableros para evaluar adherencia.
  - Se evaluará adherencia según PS1 en todas las líneas de cola.
  - Después de las 48 horas, se escuadrarán y se contabilizará la cantidad de tableros soplados

Adherencia

- Se retirarán 2 tableros de cada prensada para evaluación de adherencia.
- La evaluación de adherencia será en probetas representativas obtenidas de los tableros.
- Se realizará ensayo vacío presión.
- Se evaluarán todas las líneas de cola.

Resultados

- Una vez terminado el proceso se revisarán los resultados.

Esquema de resultados:

PRUEBA	PRENSADA	ESPESOR	HUMEDAD	PEAK	PRESION	TEMPERATURA PRENSA	GRAMAJE	CULL	ADHERENCIA TOTAL
1	1	mm.	X%	Y%	bar.	°C	g/m²	%	%
	2	mm.	X%	Y%	bar.	°C	g/m²	%	%
	3	mm.	X%	Y%	bar.	°C	g/m²	%	%
2	4	mm.	X+3%	Y+3%	bar.	°C	(-X%) g/m²	%	%
	5	mm.	X+3%	Y+3%	bar.	°C	(-X%) g/m²	%	%
	6	mm.	X+3%	Y+3%	bar.	°C	(-X%) g/m²	%	%

Tabla X: Esquema de resultados obtenidos de acuerdo a protocolo de demostración industrial.

Notas: