



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“EMPLEO DE RESINA ÚREA FORMALDEHÍDO EN POLVO
PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL PEGADO DE LOS
TABLEROS CONTRACHAPADOS ELABORADOS CON RESINA
ÚREA FORMALDEHÍDO LÍQUIDA EN LA EMPRESA
ARBORIENTE S.A. DE LA CIUDAD DE PUYO”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTOR: GABRIELA CAROLINA MIRANDA VILLAGÓMEZ

DIRECTORA: DRA. JENNY MARINA MORENO MORA

RIOBAMBA – ECUADOR

2019

© 2019, Gabriela Carolina Miranda Villagómez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El proyecto Técnico: “**Empleo de resina úrea formaldehído en polvo para mejorar la calidad del pegado de los tableros contrachapados elaborados con resina úrea formaldehído líquida en la empresa ARBORIENTE S.A. de la ciudad de Puyo**”, de responsabilidad de la señorita GABRIELA CAROLINA MIRANDA VILLAGÓMEZ, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Titulación, quedando autorizada su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dra. Jenny Marina Moreno Mora DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	<u>2019/02/26</u>
Ing. Paúl Gustavo Palmay Paredes MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	<u>2019/02/26</u>

Yo, GABRIELA CAROLINA MIRANDA VILLAGÓMEZ soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Gabriela Carolina Miranda Villagómez

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Gabriela Carolina Miranda Villagómez portadora de la cédula 160074568-9; declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados expuestos son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 26 de febrero de 2019

Gabriela Carolina Miranda Villagómez

C.I. 160074568-9

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi familia, lo más importante que tengo en la vida, y a la pequeña curiosa versión de mí que un día descubrí tratando de entender una tabla periódica.

Gaby

AGRADECIMIENTO

He tenido la suerte de rodearme de personas increíbles, cuyo apoyo de una u otra manera ayudó enormemente a mi realización académica culminando con este trabajo, por ello quiero dar gracias a mi familia por su apoyo incondicional, paciencia y fe, en especial a mi madre, quien ha confiado en mí en todo momento y me ha dado la fuerza para seguir con mis sueños. Gracias a mis docentes por hacerme ver las cosas de una forma práctica y restaurar mi esperanza en la realización de este proyecto. Gracias a Arboriente S.A. por darme la oportunidad y toda la colaboración de sus trabajadores que con su experiencia supieron guiarme bien. Gracias a Mario por acompañarme en toda esta etapa y hacerme feliz hasta en los momentos más difíciles.

Gracias a Dios por estar ahí para mí siempre.

Gaby

ABREVIATURAS

Símbolo	Significado
A	Área
Ad	Absorbancia de la solución del formaldehído de muestra.
Ab	Absorbancia de la solución del formaldehído de blanco.
Af	Área del fragmento de intermedio (m ²)
ANSI	American National Standard Institute
Ap	Área de una pieza (m ²)
Ar	Área real de prueba (m ²)
ASTM	American Society of Testing Materials
At	Área del tablero (m ²)
B	Base (m)
Bf	Base del fragmento de intermedio (m)
Bt	Base del tablero (m)
C	Caras
CARB	California Air Resources Board
Cat	Cantidad de adhesivo del tablero
Ce	Cantos extremos
Ch	Contenido de humedad (%)
(CH₂)₆N₄	Hexametilentetramina
Cl	Cantos laterales
Cm	Centímetros
cm²	Centímetros cuadrados
cm³	Centímetros cúbicos
CO₂	Dióxido de carbono
cPs	Centipoise
cSt	Centistokes
°C	Grados Celsius
D	Diferencia
Dpa	Diferencia de pesos para el acondicionamiento adecuado
E	Esparcimiento (g/m ²)
EF	Ensayo emisión de formaldehído por el método del desecador
F	Pendiente de la curva de calibración de formaldehído (mg/L)
FP	Formulación piloto
1F	Primera formulación

2F	Segunda formulación
3F	Tercera formulación
G	Concentración de formaldehído (mg/L)
G	Gramos
H	Altura
H	Ensayo de humedad
HCHO	Formaldehído
HCl	Ácido clorhídrico
Hf	Altura del fragmento de intermedio (m)
HPVA	Hardwood Plywood and Veneer Association
Ht	Altura del tablero (m)
H₂O	Agua
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ISO	International Organization for Standardization
Kg	Kilogramos
L	Litros
M	Metros
M	Muestra
m²	Metros cuadrados
m³	Metros cúbicos
Mg	Miligramos
Mi	Masa inicial (g)
mf	Masa final (g)
Min	Minutos
MI	Mililitros
Mm	Milímetros
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
N°p	Número de piezas
N°dp	Número de piezas delaminadas de primer ciclo
N°dt	Número de piezas delaminadas del tercer ciclo
NH₄Cl	Cloruro de amonio
Nm	Nanómetros
NTC	Norma técnica colombiana
NTE	Norma técnica ecuatoriana
OMS	Organización mundial de la salud

P	Promedio
P	Poise
ρ	Densidad (g/cm ³)
Pa	Peso del adhesivo (g)
Pdp	Porcentaje de piezas delaminadas de primer ciclo (%)
Pdt	Porcentaje de piezas delaminadas de tercer ciclo (%)
Pp	Peso del picnómetro (g)
Ppa	Peso del picnómetro con adhesivo (g)
Pf	Peso del fragmento de intermedio (g)
Pfa	Peso del fragmento de intermedio con adhesivo (g)
pH	Potencial de hidrogeniones
QP	Químico puro
Rpm	Revoluciones por minuto
S	Segundos
S.A.	Sociedad anónima
St	Stokes
T	Tiempo (s)
T	Temperatura (°C)
T1	Tablero 1
T2	Tablero 2
T3	Tablero 3
TC	Ensayo tres ciclos de pegado
Tg	Tiempo de gel
μ	Viscosidad dinámica (P)
UF	Úrea formaldehído
UNE	Norma española de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR)
UV	Ultravioleta visible
Y	Viscosidad cinemática (St)
V	Volumen (L)
%	Porcentaje

TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
RESUMEN.....	xxiii
ABSTRACT	xxiv
CAPÍTULO I.....	1
1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Identificación del problema	1
1.2 Justificación del proyecto.....	2
1.3 Línea base del proyecto.....	3
1.3.1 Antecedentes de la empresa.....	3
1.3.1.1 <i>Arboriente S.A.</i>	3
1.3.1.2 <i>Proceso productivo de los tableros contrachapados</i>	6
1.3.2 Marco conceptual	10
1.3.2.1 <i>Tableros contrachapados</i>	10
1.3.2.2 <i>Constitución del tablero contrachapado</i>	11
1.3.2.3 <i>Industria del contrachapado</i>	18
1.3.2.4 <i>Variables de la madera que influyen en la adhesión</i>	21
1.3.2.5 <i>Variables del adhesivo que influyen en la adhesión</i>	22
1.3.2.6 <i>Ensayos de análisis de calidad de los tableros contrachapados tipo II según normativa nacional vigente</i>	25
1.4 Beneficiarios directos e indirectos.....	28
CAPÍTULO II	29
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	29
2.1 Objetivo General.....	29
2.2 Objetivos Específicos.....	29
CAPÍTULO III.....	30
3. ESTUDIO TÉCNICO.....	30
3.1 Localización del proyecto.....	30
3.2 Ingeniería del proyecto.....	31
3.2.1 Tipo del trabajo	31

3.2.2	<i>Nivel de investigación</i>	31
3.2.3	<i>Etapas del proyecto</i>	31
3.2.3.1	<i>Fase piloto</i>	32
3.2.3.2	<i>Primera fase</i>	33
3.2.3.3	<i>Segunda fase</i>	34
3.2.3.4	<i>Tercera fase</i>	36
3.2.3.5	<i>Ensayos de la fase experimental</i>	39
3.2.4	<i>Cálculos</i>	46
3.2.4.1	<i>Primera formulación</i>	46
3.2.4.2	<i>Segunda formulación</i>	54
3.2.4.3	<i>Tercera formulación</i>	62
3.2.4.4	<i>Formulación de adhesivo con resina CR-600</i>	71
3.2.5	<i>Resultados</i>	75
3.3	Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria	76
3.4	Análisis comparativo de costos	76
3.5	Cronograma del proyecto	81
3.6	Análisis y discusión de resultados	82
3.6.1	<i>Formulación actual</i>	82
3.6.2	<i>Primera formulación</i>	85
3.6.3	<i>Segunda formulación</i>	86
3.6.4	<i>Tercera formulación</i>	87
	CONCLUSIONES	92
	RECOMENDACIONES	93
	BIBLIOGRAFÍA	94
	ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla 1-1: Estudios realizados en la empresa Arboriente S.A.	3
Tabla 2-1: Rangos permisibles en ensayos de calidad de normativas nacionales y extranjeras.	27
Tabla 1-3: Localización del proyecto.	30
Tabla 2-3: Variables del ensayo de formulación del adhesivo con resina Uraform P4565.	39
Tabla 3-3: Variables del ensayo tres ciclos de pegado.	43
Tabla 4-3: Variables de ensayo emisión de formaldehído por el método del desecador.	44
Tabla 5-3: Variables del ensayo contenido de humedad.	45
Tabla 6-3: Tiempos de vaciado de la copa Zahn #4 con adhesivo con 1F Uraform.	46
Tabla 7-3: Datos para el cálculo de esparcimiento del adhesivo con 1F Uraform.	47
Tabla 8-3: Áreas totales de caras y cantos de un tablero industrial de 4 mm.	50
Tabla 9-3: Resultados de contenido de humedad de piezas con adhesivo Uraform 1F T1.	52
Tabla 10-3: Resultados de contenido de humedad de piezas con adhesivo Uraform 1F T2.	53
Tabla 11-3: Resultados de contenido de humedad de piezas con adhesivo Uraform 1F T3.	53
Tabla 12-3: Tiempos de vaciado de la copa Zahn #4 con adhesivo con 2F Uraform.	54
Tabla 13-3: Datos para el cálculo de esparcimiento del adhesivo con 2F Uraform.	55
Tabla 14-3: Resultados de contenido de humedad de piezas con adhesivo Uraform 2F T1.	60
Tabla 15-3: Resultados de contenido de humedad de piezas con adhesivo Uraform 2F T2.	60
Tabla 16-3: Resultados de contenido de humedad de piezas con adhesivo Uraform 2F T3.	61
Tabla 17-3: Tiempos de vaciado de la copa Zahn #4 con adhesivo con 3F Uraform.	62
Tabla 18-3: Datos para el cálculo de esparcimiento del adhesivo con 3F Uraform.	62
Tabla 19-3: Tiempos de gelificación del adhesivo con 3F Uraform.	64
Tabla 20-3: Temperaturas promedio y tiempos del adhesivo con 3F Uraform a 90 °C.	64
Tabla 21-3: Valores de pH obtenidos del adhesivo con 3F Uraform.	65
Tabla 22-3: Pesos del picnómetro con y sin adhesivo con 3F Uraform.	65
Tabla 23-3: Resultados de contenido de humedad de piezas con adhesivo Uraform 3F T1.	69
Tabla 24-3: Resultados de contenido de humedad de piezas con adhesivo Uraform 3F T2.	70
Tabla 25-3: Resultados de contenido de humedad de piezas con adhesivo Uraform 3F T3.	71
Tabla 26-3: Datos para el cálculo de esparcimiento del adhesivo CR-600.	71
Tabla 27-3: Tiempos de gelificación del adhesivo CR-600.	73
Tabla 28-3: Temperaturas promedio y tiempos del adhesivo CR-600 a 90 °C.	73
Tabla 29-3: Valores de pH obtenidos del adhesivo CR-600.	74
Tabla 30-3: Pesos del picnómetro con y sin adhesivo CR-600.	74
Tabla 31-3: Formulaciones del adhesivo con resina UF Uraform P4565 en polvo.	75

Tabla 32-3: Resultados de los análisis de adhesivo y calidad de los tableros con Uraform P4565.	75
Tabla 33-3: Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria	76
Tabla 34-3: Participación porcentual de tableros tipo II industrial de 4 mm, en la producción anual, Año 2018.	77
Tabla 35-3: Cuadro comparativo de adhesivos para la fabricación de tableros tipo II industrial de 4 mm de espesor.	77
Tabla 36-3: Porcentajes de insumos de los adhesivos CR-600 y Uraform P4565.	78
Tabla 37-3: Costo de producción anual de tableros tipo II industriales de 4 mm de espesor con formulación Uraform P4565.	78
Tabla 38-3: Producción estimada anual de tableros tipo II industriales de 4 mm de espesor con formulación CR-600.	78
Tabla 39-3: Análisis comparativo de costos de producción para tableros tipo II industriales de 4 mm de espesor con formulación CR-600 y Uraform P4565.	79
Tabla 40-3: Resultados de la formulación con Uraform P4565 en tableros tipo II industriales de 4 mm de espesor.	80
Tabla 41-3: Cronograma del proyecto realizado.	81
Tabla 42-3: Resumen comparativo de resultados de los adhesivos con resina CR-600 y Uraform P4565.	91

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1-1: Diagrama de flujo del proceso productivo del tablero contrachapado.....	6
Figura 2-1: Adhesión y cohesión de un tablero de 4 mm.	12
Figura 3-1: Reacción de hidroximetilación.....	14
Figura 4-1: Influencia del pH sobre la constante de velocidad (k).	14
Figura 5-1: Tipos de enlaces por condensación de especies hidroximetil-úrea.	15
Figura 6-1: Ventajas y desventajas de las resinas líquidas y resinas en polvo.	16
Figura 7-1: Especificaciones técnicas de la resina líquida UF CR-600.....	16
Figura 8-1: Especificaciones técnicas de la resina en polvo UF URAFORM P4565.....	17
Figura 9-1: Cambio de pH de resinas UF con catalizador cloruro de amonio.....	18
Figura 10-1: Producción de plantas ecuatorianas de tableros contrachapados.	20
Figura 1-3: Mapa geo-referencial.	30
Figura 2-3: Fases de experimentación para determinar la formulación óptima con resina UF en polvo Uraform P4565.....	32
Figura 3-3: Corte de piezas para ensayos de calidad de tableros tipo II industriales de 4 mm de espesor.....	42

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Páginas
Gráfico 1-1: Destinos de exportación de tableros contrachapados ecuatorianos.	19
Gráfico 2-1: Países de importación de tableros contrachapados.....	19
Gráfico 3-1: Capacidad de producción de las plantas de tableros.....	20
Gráfico 1-3: Variación de viscosidad del adhesivo CR-600 del año 2018.	82
Gráfico 2-3: Curva exotérmica del comportamiento del adhesivo con resina CR-600 a 90°C..	83
Gráfico 3-3: Variación del porcentaje de delaminación del 3 ^{er} ciclo en el año 2018.....	84
Gráfico 4-3: Variación de emisiones de formaldehído durante el año 2018.....	84
Gráfico 5-3: Variación del contenido de humedad durante el año 2018.....	85
Gráfico 6-3: Curva exotérmica del comportamiento del adhesivo con tercera formulación Uraform P4565 a 90 °C.....	88
Gráfico 7-3: Comparación de las curvas exotérmicas y tiempos de gel de los adhesivos CR-600 y Uraform P4565 a 90 °C.....	89

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Páginas
Ecuación 1-3: Cálculo de viscosidad cinemática del adhesivo	39
Ecuación 2-3: Cálculo del área del fragmento de intermedio	40
Ecuación 3-3: Cálculo del área del tablero	40
Ecuación 4-3: Cálculo del peso del adhesivo.....	40
Ecuación 5-3: Cálculo de la cantidad de adhesivo total.....	40
Ecuación 6-3: Cálculo del esparcimiento.....	40
Ecuación 7-3: Cálculo de la densidad	41
Ecuación 8-3: Cálculo del porcentaje de piezas delaminadas 1er ciclo.....	43
Ecuación 9-3: Cálculo del porcentaje de piezas delaminadas 3er ciclo.....	43
Ecuación 10-3: Cálculo del acondicionamiento adecuado.....	44
Ecuación 11-3: Cálculo de la concentración de formaldehído.....	44
Ecuación 12-3: Cálculo del contenido de humedad.....	45
Ecuación 13-3: Cálculo de viscosidad cinemática del adhesivo 1F.....	46
Ecuación 14-3: Cálculo del área del fragmento de intermedio 1F.....	47
Ecuación 15-3: Cálculo del área del tablero 1F	47
Ecuación 16-3: Cálculo del peso del adhesivo total 1F	48
Ecuación 17-3: Cálculo de la cantidad de adhesivo total 1F	48
Ecuación 18-3: Cálculo del esparcimiento 1F	48
Ecuación 19-3: Cálculo del porcentaje de piezas delaminadas 1er ciclo 1F T1	48
Ecuación 20-3: Cálculo del porcentaje de piezas delaminadas 3er ciclo 1F T1	48
Ecuación 21-3: Cálculo del porcentaje de piezas delaminadas 1er ciclo 1F T2	49
Ecuación 22-3: Cálculo del porcentaje de piezas delaminadas 3er ciclo 1F T2	49
Ecuación 23-3: Cálculo del porcentaje de piezas delaminadas 1er ciclo 1F T3	49
Ecuación 24-3: Cálculo del porcentaje de piezas delaminadas 3er ciclo 1F T3	49
Ecuación 25-3: Cálculo del área de una pieza de 4 mm	50
Ecuación 26-3: Cálculo del área real de prueba.....	50
Ecuación 27-3: Cálculo de la concentración de formaldehído 1F T1	50
Ecuación 28-3: Cálculo de la concentración de formaldehído 1F T2	51
Ecuación 29-3: Cálculo de la concentración de formaldehído 1F T3	51
Ecuación 30-3: Cálculo del contenido de humedad 1F T1	52
Ecuación 31-3: Cálculo del contenido de humedad 1F T2	52
Ecuación 32-3: Cálculo del contenido de humedad 1F T3	53

Ecuación 33-3: Cálculo de viscosidad cinemática del adhesivo 2F.....	54
Ecuación 34-3: Cálculo del área del fragmento de intermedio 2F.....	55
Ecuación 35-3: Cálculo del área del tablero 2F	55
Ecuación 36-3: Cálculo del peso del adhesivo 2F	56
Ecuación 37-3: Cálculo de la cantidad de adhesivo total 2F	56
Ecuación 38-3: Cálculo del esparcimiento 2F	56
Ecuación 39-3: Cálculo del porcentaje de piezas delaminadas 1er ciclo 2F T1	56
Ecuación 40-3: Cálculo del porcentaje de piezas delaminadas 3er ciclo 2F T1	56
Ecuación 41-3: Cálculo del porcentaje de piezas delaminadas 1er ciclo 2F T2	57
Ecuación 42-3: Cálculo del porcentaje de piezas delaminadas 3er ciclo 2F T2	57
Ecuación 43-3: Cálculo del porcentaje de piezas delaminadas 1er ciclo 2F T3	57
Ecuación 44-3: Cálculo del porcentaje de piezas delaminadas 3er ciclo 2F T3	57
Ecuación 45-3: Cálculo de la concentración de formaldehído 2F T1	58
Ecuación 46-3: Cálculo de la concentración de formaldehído 2F T2	58
Ecuación 47-3: Cálculo de la concentración de formaldehído 2F T3	59
Ecuación 48-3: Cálculo del contenido de humedad 2F T1	59
Ecuación 49-3: Cálculo del contenido de humedad 2F T2	60
Ecuación 50-3: Cálculo del contenido de humedad 2F T3	61
Ecuación 51-3: Cálculo de viscosidad cinemática del adhesivo 3F.....	62
Ecuación 52-3: Cálculo del área del fragmento de intermedio 3F.....	63
Ecuación 53-3: Cálculo del área del tablero 3F	63
Ecuación 54-3: Cálculo del peso del adhesivo 3F	63
Ecuación 55-3: Cálculo de la cantidad de adhesivo total 3F	63
Ecuación 56-3: Cálculo del esparcimiento 3F	63
Ecuación 57-3: Cálculo de la densidad 3F.....	65
Ecuación 58-3: Cálculo del porcentaje de piezas delaminadas 1er ciclo 3F T1	66
Ecuación 59-3: Cálculo del porcentaje de piezas delaminadas 3er ciclo 3F T1	66
Ecuación 60-3: Cálculo del porcentaje de piezas delaminadas 1er ciclo 3F T2	66
Ecuación 61-3: Cálculo del porcentaje de piezas delaminadas 3er ciclo 3F T2	67
Ecuación 62-3: Cálculo del porcentaje de piezas delaminadas 1er ciclo 3F T3	67
Ecuación 63-3: Cálculo del porcentaje de piezas delaminadas 3er ciclo 3F T3	67
Ecuación 64-3: Cálculo de la concentración de formaldehído 3F T1	68
Ecuación 65-3: Cálculo de la concentración de formaldehído 3F T2	68
Ecuación 66-3: Cálculo de la concentración de formaldehído 3F T3	69
Ecuación 67-3: Cálculo del contenido de humedad 3F T1	69
Ecuación 68-3: Cálculo del contenido de humedad 3F T2	70
Ecuación 69-3: Cálculo del contenido de humedad 3F T3	70

Ecuación 70-3: Cálculo del área del fragmento de intermedio CR-600	72
Ecuación 71-3: Cálculo del área del tablero CR-600.....	72
Ecuación 72-3: Cálculo del peso del adhesivo CR-600	72
Ecuación 73-3: Cálculo de la cantidad de adhesivo total CR-600	72
Ecuación 74-3: Cálculo del esparcimiento CR-600	72
Ecuación 75-3: Cálculo de la densidad CR-600	74

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Páginas
Fotografía 1-1: Contrachapado marino.....	4
Fotografía 2-1: Contrachapado industrial.....	5
Fotografía 3-1: Contrachapado decorativo.....	5
Fotografía 4-1: Patio de trozas.....	7
Fotografía 5-1: Peladora.....	7
Fotografía 6-1: Torno.....	7
Fotografía 7-1: Desenrollo de chapas.....	7
Fotografía 8-1: Secado de caras.....	8
Fotografía 9-1: Cizallado de caras.....	8
Fotografía 10-1: Encolado de intermedios.....	8
Fotografía 11-1: Prensado de tableros.....	9
Fotografía 12-1: Escuadrado y lijado de tableros.....	9
Fotografía 13-1: Almacenamiento de tableros.....	9
Fotografía 15-1: Identificación de las capas de un tablero de 18 mm.....	10
Fotografía 1-3: Aplicación manual del adhesivo con rodillo.....	33
Fotografía 2-3: Corte de las muestras para ensayos de calidad.....	33
Fotografía 3-3: Aplicación del adhesivo de 1F en la encoladora.....	34
Fotografía 4-3: Tableros con adhesivo de 1F.....	34
Fotografía 5-3: Pieza delaminada en el primer ciclo de la 1F T1.....	34
Fotografía 6-3: Piezas del tercer ciclo de la 1F T2.....	34
Fotografía 7-3: Aplicación del adhesivo de 2F en la encoladora.....	35
Fotografía 8-3: Tableros con adhesivo de 2F.....	35
Fotografía 9-3: Piezas del primer ciclo de la 2F T3.....	35
Fotografía 10-3: Absorbancia de muestra del ensayo EF 2F T3.....	35
Fotografía 11-3: Preparación del adhesivo de la 3F.....	36
Fotografía 12-3: Medición de la viscosidad con la Copa Zahn #4.....	36
Fotografía 13-3: Pesado de fragmento encolado de intermedio con 3F.....	36
Fotografía 14-3: Tablero 1 con adhesivo de 3F.....	36
Fotografía 15-3: Piezas del ensayo TC 3F T3.....	37
Fotografía 16-3: Absorbancia de muestra del ensayo EF 3F T1.....	37
Fotografía 17-3: Muestras de tiempo de gel del adhesivo con 3F Uraform P4565.....	37
Fotografía 18-3: Medición de la temperatura para la curva exotérmica del adhesivo con 3F Uraform P4565.....	37

Fotografía 19-3: Medición de pH del adhesivo con resina CR-600.	38
Fotografía 20-3: Medición del peso del picnómetro con adhesivo con 3F Uraform P4565	38
Fotografía 21-3: Medición de viscosidad en Viscosímetro Brookfield DV-II+PRO	38
Fotografía 22-3: Medición de viscosidad en reómetro MCR 102	38

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A	Ensayo de formulación del adhesivo con resina UF en polvo Uraform P4565.
Anexo B	Ensayo de determinación de tiempo de gel y curva exotérmica.
Anexo C	Ensayo de determinación de pH y densidad.
Anexo D	Ensayo tres ciclos de pegado.
Anexo E	Ensayo emisión de formaldehído por el método del desecador.
Anexo F	Ensayo de contenido de humedad.
Anexo G	Acondicionamientos de piezas para el ensayo de emisión de formaldehído
Anexo H	Pesos de piezas para el ensayo de contenido de humedad.
Anexo I	Temperaturas y tiempos para la curva exotérmica.
Anexo J	Certificado de análisis de viscosidad en empresa Sherwin Williams.
Anexo K	Análisis de viscosidad Brookfield de adhesivo con resina CR-600.
Anexo L	Análisis de viscosidad reológica de adhesivo con resina CR-600.
Anexo M	Análisis de viscosidad Brookfield de adhesivo con resina Uraform P4565.
Anexo N	Análisis de viscosidad reológica de adhesivo con resina Uraform P4565.
Anexo O	Cotización de la resina Uraform P4565 de Caribbean Petrochemical Manufacturing Limited.
Anexo P	NTE INEN 900:2003
Anexo Q	NTE INEN 900:2017 Enmienda 2

RESUMEN

En este proyecto se empleó resina úrea formaldehído en polvo para sustituir la formulación de la empresa Arboriente S.A. que actualmente trabaja con resina úrea formaldehído líquida, con la finalidad de mejorar la calidad del pegado de los tableros contrachapados. Se inicia con una investigación bibliográfica exhaustiva de las variables que relacionan el adhesivo con la madera; la parte experimental comprende cuatro fases: la formulación piloto, primera, segunda y tercera formulación. Cada una de estas fases utiliza 3 tableros de madera copal, dando un total de 12 tableros tipo II industrial de 4 mm de espesor. A excepción de la formulación piloto, las fases pasan por toda la línea de producción regular de la empresa, evitando variaciones en las condiciones de fabricación. Las fases de experimentación incluyen la determinación de la viscosidad del adhesivo preparado, esparcimiento y los ensayos de calidad de los tableros. Estos ensayos se efectúan con el propósito de cuantificar el porcentaje de delaminación de los mismos mediante la prueba tres ciclos de pegado, las emisiones de formaldehído por el método del desecador y el contenido de humedad, todo ello bajo normativas INEN, ICONTEC y estándares propios de la empresa. La fase piloto sirve como reconocimiento y ajustes de los procedimientos, la primera formulación tiene resultados negativos en los ensayos de calidad que mejoran con la segunda formulación y se convierten en excelentes en la tercera. Esta última fase tiene un 0 % de delaminación en la prueba de los tres ciclos con emisiones de formaldehído relativamente bajas a las normalmente obtenidas. La formulación óptima con resina úrea formaldehído en polvo es determinada y caracterizada en términos de tiempo de gel, pH, densidad, viscosidad Brookfield y reología concluyendo que este proyecto es totalmente viable en términos de calidad y costos de producción de los tableros contrachapados.

PALABRAS CLAVE:

<INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA> <FORMULACIÓN PROCESOS INDUSTRIALES> <RESINA ÚREA FORMALDEHÍDO EN POLVO> <PORCENTAJE DE DELAMINACIÓN> <VISCOSIDAD ADHESIVO> <TRES CICLOS DE PEGADO> <EMISIONES DE FORMALDEHÍDO MÉTODO DESECADOR> <TABLEROS CONTRACHAPADOS>

ABSTRACT

In this project urea formaldehyde resin was used to replace the formulation of the company Arboriente S.A that currently works with urea formaldehyde liquid resin, in order to improve the quality of the gluing of the plywood. It begins with an exhaustive bibliographical investigation of the variables that relate the adhesive with the wood; the experimental part comprises four phases: the pilot formulation, first, second and third formulation. Each of these phases uses 3 copal wood boards, giving a total of 12 industrial type II boards of 4mm thickness. With the exception of the pilot formulation, the phases pass through the company's regular production line, avoiding variations in manufacturing conditions. The experimentation phases include the determination of the viscosity of the prepared adhesive, spreading and quality tests of the boards. These tests are carried out for the purpose of quantifying the percentage of delamination of the same by testing three cycles of bonding, formaldehyde emissions by the desiccant method and moisture content, all under INEN, INCONTEC standards and standards the company. The pilot phase serves as recognition and adjustments of the procedures, the first formulation has negative results in the quality tests that improve with the second formulation and become excellent in the third. This last phase has a 0% delamination in the test of the three shells with formaldehyde emissions relatively low to those normally obtained. The optimal formulation with formaldehyde urea resin powder is determined and characterized in terms of gel time, pH, density, Brookfield viscosity and rheology concluding that this projects is totally viable in terms of quality and production costs of plywood.

KEYWORDS:

<CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY> <FORMULATION INDUSTRIAL PROCESSES> <RESIN FORMALDEHYDE POWDER IN DUST> <PERCENTAGE OF DELAMINATION> <ADHESIVE VISCOSITY> <THREE BINDING CYCLES> <EMISSIONS OF FORMALDEHYDE METHOD DESICCATOR> <PLYWOOD BOARDS>

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

La empresa Arboriente S.A. se dedica a producir tableros contrachapados tipo II obtenidos a partir del desarrollo de especies como el sande, copal, seique, entre otros. Los tableros se caracterizan por su resistencia a la humedad, adhesivo a base de úrea formaldehído y se presentan en diferentes espesores, muy utilizados en la industria de la construcción por su diseño para aplicaciones de interiores. Uno de los insumos elementales dentro del proceso de producción constituye la resina UF CR-600 líquida que conjuntamente con agua, harina de trigo, catalizador e insecticida forman el adhesivo para el pegado. (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)

La formulación del adhesivo influye directamente sobre las emisiones de formaldehído y la resistencia a la delaminación del tablero. En la actualidad los valores que se aplican se encuentran dentro de los rangos permisibles establecidos por la normativa vigente NTE-INEN 900 y como resultado, se dispone de un producto final de buena calidad, que cumple con los estándares establecidos. (NTE INEN 900, 2003, p. 5)(NTE INEN 900 ENMIENDA 2, 2017, p. 2)

El negocio de los materiales de construcción exige permanente innovación, debido a la abundancia de productos sustitutivos que entran en competencia directa con los tableros contrachapados. Si bien la calidad actual es aceptable, para mantener la posición que se ha ganado la empresa en el mercado es necesario entrar en un proceso de mejoramiento continuo, hacia la excelencia en la satisfacción de las necesidades de los clientes. Uno de los factores importantes para alcanzar esta excelencia es contar con insumos de primera, siendo el tipo de resina UF, un elemento clave, ya que de ello depende directamente la calidad del pegado de los tableros.(Mahajan, 2001, p. 2-4)

Las resinas UF líquidas son comercializadas por una sola empresa importadora, la que provee a todos los fabricantes de tableros contrachapados del país. Este monopolio hace a la empresa Arboriente S.A altamente dependiente, pues no se disponen de otros oferentes del insumo, lo que implica vulnerabilidad frente a los incrementos de precios, obligando a asumir las variaciones en los costos de producción para mantener precios de venta estables en el mercado.

El presente proyecto radica en encontrar una alternativa a la actual utilización de la resina UF CR-600 líquida, la misma que deberá cumplir con los rangos permisibles de emisiones de formaldehído, viscosidad y resistencia a la delaminación establecidos por la normativa vigente NTE-INEN 900, a fin de garantizar calidad, precio y competitividad de los tableros contrachapados tipo II producidos por Arboriente S.A.

1.2 Justificación del proyecto

Una alternativa a la actual utilización de la resina UF CR-600 líquida en la empresa Arboriente S.A. es la resina UF en polvo la cual puede mejorar la calidad del pegado de los tableros contrachapados disminuyendo vulnerabilidades económicas y manteniendo la posición que se ha ganado la empresa en el mercado. En nuestro país no existe una industria que utilice o genere resinas en polvo para contrachapados, por lo que la importación de países fabricantes como China, Italia, Egipto, India, Bélgica entre otros, es la mejor opción para su adquisición. (Alibaba, 2017, p. 1)

La resina UF en polvo a ser utilizada es la Uraform P4565, la cual se caracteriza por su contenido de formaldehído libre extremadamente bajo y su elevada reactividad. Los productos elaborados con esta resina cumplen con los estándares más notables de los EE. UU. Normativa CARB. Con esta muestra de resina en polvo se realizará la fase de experimentación para posteriormente comparar los resultados obtenidos de las pruebas realizadas con la normativa nacional e internacional vigente. (Caribbean Petrochemical Manufacturing Limited, 2010, p. 1)

En el presente proyecto se analizará la factibilidad de reemplazar el empleo de resina UF CR-600 líquida por resina en polvo UF Uraform P4565 para la elaboración de tableros contrachapados, posibilitando el mejoramiento de las características de calidad (viscosidad, emisiones de formaldehído y resistencia a la delaminación) y la optimización de los costos de producción de la empresa Arboriente S.A. de la ciudad de Puyo.

1.3 Línea base del proyecto

1.3.1 Antecedentes de la empresa

1.3.1.1 Arboriente S.A.

La empresa Arboriente S.A. fundada en la ciudad de Puyo en el año 1978, es una sociedad anónima que elabora tableros contrachapados de madera, más conocidos como triplex. Se categoriza como una mediana empresa que cuenta con 115 trabajadores. La materia prima para elaborar su producto se obtiene de los bosques del Oriente y Costa Ecuatoriana. Actualmente cuenta con una capacidad instalada para producir 6400 m³ de tableros al año, satisfaciendo la demanda de 19 clientes que se encargan de la distribución en el mercado nacional y extranjero, exportando hacia Colombia. Cumplen con normativas nacionales NTE INEN 900:2003 y las normas extranjeras ICONTEC NTC 0698:2003. (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)

Arboriente S.A. trabaja con resina UF CR-600 líquida para la elaboración del adhesivo que se utiliza en el pegado de los tableros, esta se mezcla con agua, harina de trigo, insecticida y catalizador. Los valores de emisiones de formaldehído y resistencia a la delaminación de los tableros, que otorga la actual formulación, se encuentran dentro de los rangos permisibles dados por la norma ecuatoriana NTE-INEN 0900-2016, permitiendo que los tableros sean reconocidos por su calidad en el mercado ecuatoriano y colombiano.

Los laboratorios de calidad en la empresa fueron instalados en el año 2016 con la finalidad de certificar la calidad del producto en términos de emisiones de formaldehído, delaminación y humedad del producto final. Anteriormente la empresa no contaba con investigaciones por ello las modificaciones en la elaboración del adhesivo se fundamentaban en el conocimiento de los proveedores y en la experiencia adquirida.

Tabla 1-1: Estudios realizados en la empresa Arboriente S.A.

Nombre del estudio	Tipo	Autor	Año
Control y seguimiento de la viscosidad de la resina UF CR-600 y de la mezcla resultante.	Seguimiento	Ingeniero Fabián Oñate	2017
Determinación del porcentaje de resistencia a la delaminación de los tableros contrachapados.	Ensayo	Ingeniero Marco Gutiérrez	2017

Determinación de emisiones de formaldehído de los tableros contrachapados.	Ensayo	Ingeniero Marco Gutiérrez	2017
Determinación la humedad de los tableros contrachapados.	Ensayo	Ingeniero Marco Gutiérrez	2018

Fuente: (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)

Realizado por: Gabriela Miranda, 2018

Los tableros contrachapados de Arboriente S.A. se caracterizan por su estabilidad estructural apropiada, su inmunidad contra hongos e insectos, su lijado que permite ahorro de material de acabado, no requiere gastos de secado y sus espesores son los que más demanda tienen en el mercado (4 mm, 6 mm, 9 mm, 12 mm, 15 mm y 18 mm). (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25). Es importante mencionar que los tableros tipo II industriales de 4 mm de espesor corresponden al 33.40 % de producción anual, constituyéndose de dos caras y un intermedio encolado. Los tableros contrachapados que la empresa ofrece a sus clientes son:

Tablero Tipo I: Contrachapado Marino: Su pegamento es a base de resina fenol-formaldehído y está diseñado para aplicaciones exteriores, como en construcciones navales, cubiertas, pisos, campamentos y encofrados. (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)



Fotografía 1-1: Contrachapado marino.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Tablero Tipo II: Contrachapado Industrial o Corriente: Este tablero resistente a la humedad ambiental, utiliza pegamento a base de resina úrea-formaldehído y está diseñado para aplicaciones interiores. El tablero se encuentra formado por chapas cuyas caras externas son obtenidas por desarrollo de especies como el sande, copal, pachaco y similares. (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)



Fotografía 2-1: Contrachapado industrial.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Tablero Tipo II: Contrachapado Decorativo: Su pegamento es a base de úrea-formaldehído y su diseño se enfoca a aplicaciones interiores. Está formado por chapas de especies maderables finas obtenidas por laminado. (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)



Fotografía 3-1: Contrachapado decorativo.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

1.3.1.2 Proceso productivo de los tableros contrachapados

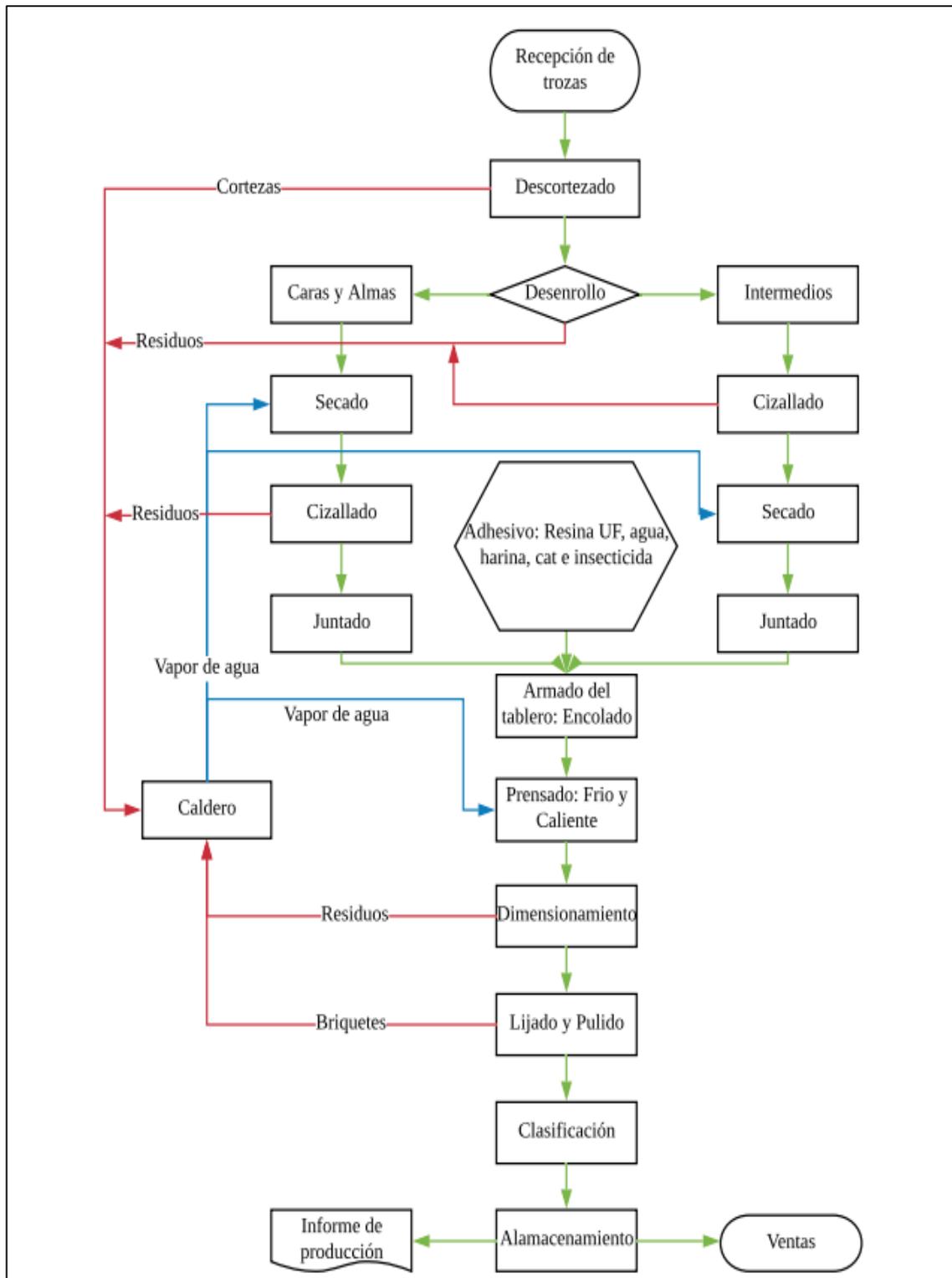


Figura 1-1: Diagrama de flujo del proceso productivo del tablero contrachapado.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

El proceso productivo para la elaboración de tableros contrachapados inicia con la recepción de trozas o troncos de madera de una longitud determinada. Se clasifican, revisan y registran las trozas y se las almacena temporalmente hasta su utilización. En la adecuación de las trozas se transporta cada una de ellas hacia la peladora donde se produce el descortezado de la troza. (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)



Fotografía 4-1: Patio de trozas.
Realizado por: Gabriela Miranda, 2019



Fotografía 5-1: Peladora.
Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Libre de corteza se procede a la formación de chapas, la troza se acopla al torno y una filosa cuchilla empieza con el desenrollado del tronco, realizando un corte periférico en función de los espesores planificados, la especie y calidad de la madera. La relación entre la velocidad de giro de la troza y el avance de la cuchilla determina el grosor de la chapa. Como resultado se obtiene chapas que según su apariencia y calidad se clasifican en caras, almas o intermedios. (Vignote y Martínez, 2006, pp. 241-245)



Fotografía 6-1: Torno.
Realizado por: Gabriela Miranda, 2019



Fotografía 7-1: Desenrollo de chapas.
Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

La formación de caras y almas se da mediante el secado de las chapas húmedas hasta obtener una humedad no mayor al 6 % u 8 %. La temperatura depende de la especie maderera con la que trabaje, se cizallan las chapas con la finalidad de dimensionarlas y en caso de que las caras tengan

imperfecciones se realiza un cizallado de precisión. Las caras individuales se juntan con hilo nylon para tener las dimensiones adecuadas para la formación del tablero. Por otro lado, para la formación de intermedios se sigue el mismo proceso de formación de caras pero en una línea productiva totalmente aparte. (Vignote y Martínez, 2006, pp. 241-245; Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)



Fotografía 8-1: Secado de caras.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019



Fotografía 9-1: Cizallado de caras.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Antes del armado del tablero hay que preparar el adhesivo, cuyos constituyentes por lo general son resina UF, harina de trigo industrial, agua, catalizador e insecticida. Se encolan los intermedios con el adhesivo preparado y se arma el tablero con un número impar de láminas, dependiendo del espesor requerido. Estas láminas se colocan longitudinal-transversalmente según la orientación de sus fibras. (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)



Fotografía 10-1: Encolado de intermedios.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

La finalidad del prensado es brindar el tablero las condiciones necesarias para el curado del adhesivo, estas son: tiempo, temperatura y presión. El prensado hidráulico se realiza en prensas de platos planos calientes que se cierran de abajo hacia arriba para evitar la presión por efecto de la gravedad. La presión a la que se trabaja normalmente depende del tipo de adhesivo utilizado y

el espesor del tablero variando ente los 5 y 12 kg/cm². La temperatura se sitúa entre 100 °C y 200 °C. (Vignote y Martínez, 2006, pp. 241-245)

La importancia del prensado radica en se interrelacionan todas las propiedades de la madera con las del adhesivo, haciendo que la resina úrea formaldehído se polimerice a altas temperaturas dentro de los poros de la madera con la ayuda de altas presiones durante un tiempo determinado. (Aucapiña, 2017, p. 10)



Fotografía 11-1: Prensado de tableros.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Los acabados del tablero se obtienen escuadrando, según las dimensiones de normativa (1.22 x 2.44 m), lijando, puliendo y clasificándolos (colocación de sellos) para finalmente almacenarlos en tarimas y elaborar el informe de producción. (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)



Fotografía 12-1: Escuadrado y lijado de tableros.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019



Fotografía 13-1: Almacenamiento de tableros.

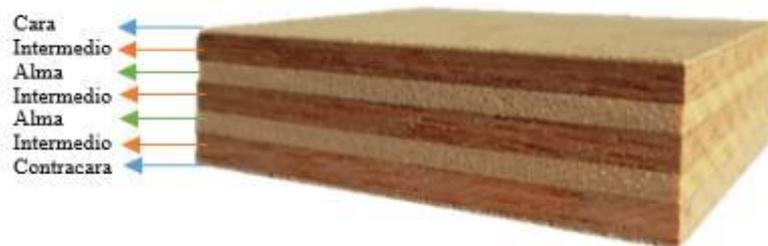
Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

1.3.2 Marco conceptual

1.3.2.1 Tableros contrachapados

El tablero contrachapado, triplex, plywood o multi-laminado está formado por un número impar de láminas o chapas de madera, de milímetros de espesor, dispuestas consecutivamente con la fibra cambiada 90° y encoladas entre sí con adhesivos termo-endurecibles. (Vignote y Martínez, 2006, pp. 241-245)

Las chapas de madera se pueden identificar como caras, intermedios y almas dependiendo de la calidad aparente de la madera. Las caras son láminas de madera finas, completas y uniformes sin defectos notables ubicadas en el exterior del tablero, cara y contracara, dando la apariencia del producto; las almas son chapas parecidas a las caras pero van en el interior del tablero, estas son completas o largas y se diferencian en que su espesor es mayor al de las caras; los intermedios son chapas incompletas y encoladas en el interior que ayudan a la unión de todo el tablero, por lo general presentan manchas demostrando su menor calidad con respecto a las caras. (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)



Fotografía 15-1: Identificación de las capas de un tablero de 18 mm.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

La superposición longitudinal - transversal de un número impar de caras, intermedios y almas, forma tableros con una mejor estabilidad dimensional y resistencia, equilibrando su estructura y comportamiento. (Aucapiña, 2017, p. 10)

Los parámetros que rigen a los tableros contrachapados a nivel industrial son: las especies de maderas utilizadas para su elaboración, la calidad de la madera para la cara y contracara, el material utilizado en el alma, el espesor de las chapas y el tipo de encolado. (Cruz, 2017, p. 24)

Las características físicas de los tableros contrachapados comprenden la humedad, densidad de la madera y dureza del tablero. Por otro lado las mecánicas dependen del comportamiento elástico-plástico del tablero midiendo su resistencia en función de la humedad y el tiempo. Otras características son las dimensiones de superficie que generalmente varían desde 1.22 x 2.44 cm hasta 2.44 x 4.88 cm, el grosor desde los 3 mm hasta los 50 mm o más, la calidad de la superficie de tableros totalmente lijados, la calidad de escuadría igual o menor a 2 mm/m, la calidad de los cantos con una rectitud de 1.5 mm/m, y finalmente emisión de formaldehído el cual varía según el método de determinación y normativa. (Vignote y Martínez, 2006, pp. 241-245)

1.3.2.2 Constitución del tablero contrachapado

La madera

La madera se define como un material orgánico de origen vegetal cuya característica esencial como materia transformada es la de ser anisótropa e higroscópica. La anisotropía de la madera se refiere a sus propiedades físicas y mecánicas, que dependen de la dirección del esfuerzo o trabajo en relación con sus fibras, y la higroscopia es la capacidad de aumentar o disminuir el agua en su estructura según la humedad del ambiente, aparte del agua que contiene por su propia constitución. (Merino, 1993, p. 40-97)

Es de vital relevancia considerar la higroscopia de la madera, esta debe ser establecida mediante el secado al aire o artificial a una humedad en equilibrio con el ambiente, para reducir el movimiento de la madera, contracción o hinchamiento. Un secado uniforme confiere a la madera resistencia mecánica, estabilidad dimensional, menor degradación y mejora en las propiedades adherentes desarrollando mayor estabilidad y resistencia del producto final. (Córdoba, 2005, p. 2-3)

Adhesivo

El adhesivo es aquella sustancia aplicada entre las superficies de dos materiales o sustratos adherentes que permite una unión resistente a la separación. (Madrid, 2017, p. 9). En nuestro caso, el adhesivo también conocido como cola o pegamento es una mezcla cuyo principal componente es la resina sintética, la cual conjuntamente con agua, harina industrial, catalizador e insecticida confieren a las chapas la adhesión necesaria para formar el tablero contrachapado. (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)

Los tipos de resinas que se utilizan en la preparación de los adhesivos dependen de la aplicación final del tablero. Los tableros para aplicaciones de interiores utilizan adhesivo a base de úrea-formaldehído, los tableros para semi-exteriores emplean adhesivo de úrea-formaldehído mezclado con melanina-formaldehído, para aplicaciones exteriores se utilizan adhesivos de melanina-formaldehído y en el caso de tableros resistentes al agua hirviendo el adhesivo que se utiliza es fenol-formaldehído. (Vignote y Martínez, 2006, pp. 241-245)

La finalidad del adhesivo es brindar al tablero una unión resistente a la separación y este fenómeno se explica con la teoría adhesión. Esta teoría se fundamenta en que en función de las fuerzas eléctricas de los átomos y moléculas que constituyen toda la materia es posible crear uniones entre dos cuerpos sólidos. El mecanismo de unión depende de la adhesión y la cohesión. La adhesión es la fuerza de unión del adhesivo al sustrato mediante la adherencia específica, fuerzas de atracción molecular, y la adherencia mecánica, anclaje mecánico del adhesivo al penetrar las cavidades superficiales de la madera. Por otro lado la cohesión es la fuerza interna del adhesivo determinada por la resistencia de la unión de las moléculas del adhesivo. Entonces las fuerzas de adhesión y cohesión de la madera y el adhesivo UF son esenciales para obtener un producto de calidad con alta estabilidad y resistencia. (Maragaño, 2005, pp. 4-5; Madrid, 2017, p. 9)

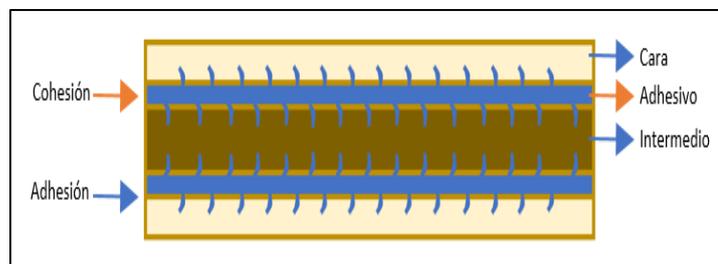


Figura 2-1: Adhesión y cohesión de un tablero de 4 mm.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Resina Úrea Formaldehído

Las resinas de úrea formaldehído pertenecen a los polímeros de condensación, se emplean como resinas sintéticas termo-fijas obtenidas a través de la reacción entre úrea y formaldehído, y suelen estar catalizadas por cloruro de amonio. Las ventajas de los resinas UF son su alta solubilidad en agua inicial (lo cual resulta convenientes para la producción a granel), su dureza, nula inflamabilidad, buenas propiedades térmicas, ausencia de color en el curado de polímeros, y fácil adaptabilidad a una variedad de condiciones de curado. (Pizzi, 2003, pp. 2-9)

Una desventaja de las amino resinas es el deterioro de sus enlaces por la presencia de humedad o agua, razón por la cual el adhesivo de úrea formaldehído se utiliza sólo para tableros

contrachapados con aplicaciones interiores y semi-exteriores, para este último es necesaria una mezcla entre resina UF y melanina formaldehído. (Vignote y Martínez, 2006, pp. 241-245)

Otra desventaja es la emisión de formaldehído de los tableros, su inhalación causa náuseas, dolor de cabeza y problemas respiratorios, razón por la cual se controla aún más el uso de este compuesto catalogado como carcinógeno según OMS. En los últimos años la industria de las resinas UF ha desarrollado nuevos productos que cumplan con las normativas cada vez más estrictas permitiendo que su uso sea totalmente viable en términos de emisiones. (Aucapiña, 2017, p. 10)

Reacción de formación de las resinas UF

Los factores que influyen el peso molecular de la resina son las proporciones de úrea y formaldehído, la temperatura y el pH. Las resinas UF se producen por reacción de úrea y una disolución acuosa de formaldehído llamada formalina, para lo cual deberán pasar por en dos etapas (Dunky, 2003, pp. 7-43):

Primera etapa: Hidroximetilación ligeramente alcalina

Se produce una reacción de adición entre la úrea y el formaldehído en medio básico y temperatura ambiente para obtener especies hidroximetil-úrea: monohidroximetil-úrea, 1,3-dihidroximetil-úrea, 1,1-dihidroximetil-úrea y trihidroximetil-úrea. El objetivo de esta etapa es la obtención de 1,3-dihidroximetil-úrea debido a que como especie monomérico es ideal para la generación de moléculas poliméricas lineales de bajo peso molecular, incrementando la solubilidad de la resina en agua. La especie hidroximetil-úrea trisustituida genera moléculas resinosas de elevado peso molecular lo que limita la solubilidad de la resina. (Vallejos, 2010, pp. 5-7)

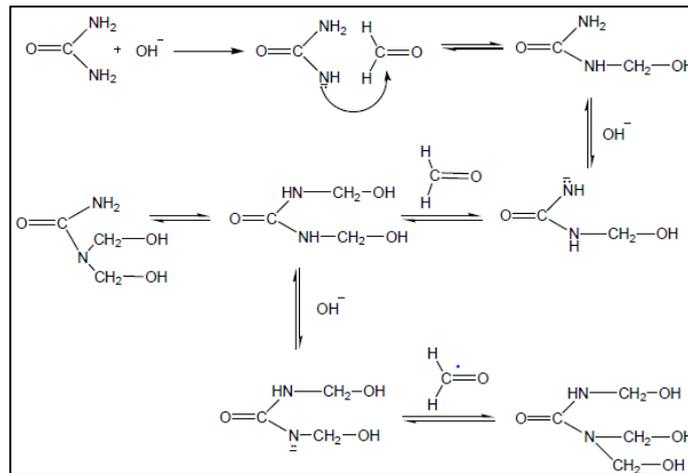


Figura 3-1: Reacción de hidroximetilación.
Fuente: (Estévez, 2012, pp. 20-27)

El control del pH debe ser minucioso debido a que el rango de reacción varía acorde con el pH. (Estévez, 2012, pp. 20-27)

La siguiente imagen figura describe la influencia del pH sobre la velocidad (k) para reacciones de adición y condensación de úrea-formaldehído.

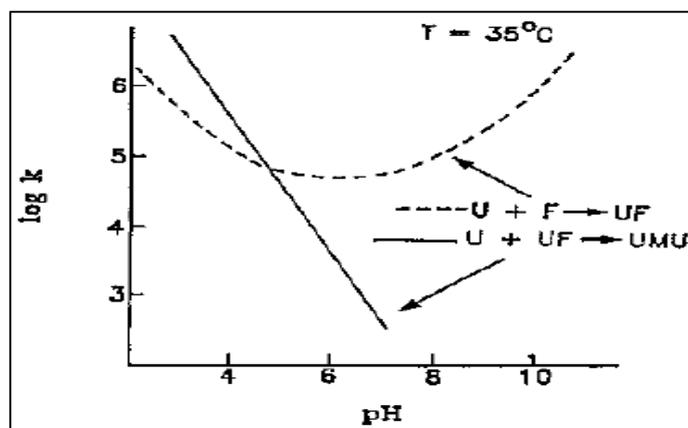


Figura 4-1: Influencia del pH sobre la constante de velocidad (k).
Fuente: (Pizzi, 2003, pp. 2-9)

Segunda etapa: Condensación ácida

Las especies hidroximetil-úreas resultantes se copolimerizan por catálisis ácida para formar polímeros mediante la formación de enlaces amino-metileno y enlaces tipo éter. El tipo de enlace entre las moléculas de úrea depende de las condiciones de formación, por ejemplo a temperatura baja y pH ligeramente ácido favorece la formación de puentes de metileno éter y a temperatura más alta y pH más bajo producen puentes amino-metileno más estables. Este es el punto determinante del proceso debido a que los puentes de éter no son muy estable siendo los

responsables de las emisiones de formaldehído, por ello hay que seguir procedimientos que favorezcan la formación de enlaces amino-metileno y controlar el grado de condensación, pues a mayor grado se obtienen moléculas de resina de elevado peso molecular. (Dunky, 2003, pp. 7-43)

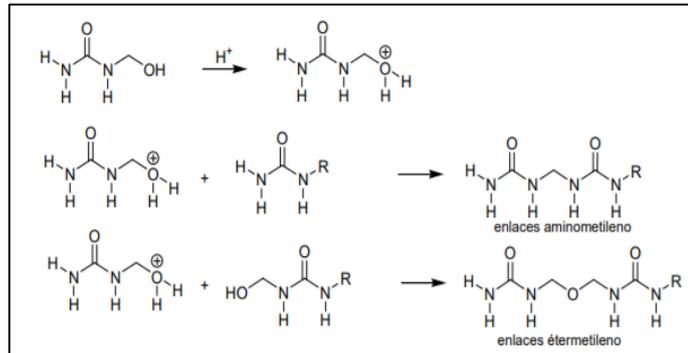


Figura 5-1: Tipos de enlaces por condensación de especies Hidroximetil-úrea.

Fuente: (Estévez, 2012, pp. 20-27)

El procedimiento habitual de preparación para adhesivos de resinas UF comerciales es la adición de una segunda cantidad de úrea en proporciones equivalentes durante la preparación con la finalidad de consumir el exceso de formaldehído, el proceso ayuda a la condensación de los compuestos de meti-ol, se disminuye el pH para la construcción de polímero UF y tan pronto como se alcanza la viscosidad correcta se aumenta el pH para detener el proceso. El exceso de agua se elimina por destilación al vacío hasta alcanzar una concentración del 60 % al 65 % de sólidos y el pH se ajusta para lograr una vida adecuada de almacenamiento. (Pizzi, 2003, pp. 2-9)

Las especies químicas presentes en las resinas UF son: formaldehído libre, que se encuentra estable con los grupos meti-ol restantes y la úrea añadida, grupos de meti-ol monoméricos, que se han formado por la reacción de la úrea y formaldehído en la condensación ácida, grupos meti-ol oligoméricos que no han reaccionado en la etapa de condensación ácida o se han formado por la segunda adición de úrea, y moléculas con masas molares superiores que constituyen la porción de polímero real de la resina. (Dunky, 2003, pp. 7-43)

Como resultado de la síntesis se obtiene una resina con cantidades óptimas de polímero UF y grupos funcionales que garantizan una alta estabilidad y curado, alcanzando una mínima emisión de formaldehído en tableros de alta calidad. (Vallejos, 2010, pp. 5-7)

Ventajas y desventajas de las resinas UF líquidas y resinas UF en polvo

Tipo	Ventajas	Desventajas
Resinas líquidas	Bajos costos No hay problemas afines al polvo	Estabilidad de almacenamiento corto Mayor carga de resina en la madera
Resina en polvo	Mejor carga y distribución de resina en la madera Mayor estabilidad de almacenamiento Gelificación más rápida ya que no es necesaria la evaporación del agua	Precio más alto debido a los costos de secado por atomización y empaque relacionado con el polvo Problemas relacionados con el polvo

Figura 6-1: Ventajas y desventajas de las resinas líquidas y resinas en polvo.

Fuente: (Dunky, 2003, pp. 7-43)

Los tipos de resina utilizadas en Arboriente S.A. se describen a continuación:

Resina UF CR-600

CR-600 es una resina líquida de úrea formaldehído con un 60 % de sólidos, desarrollada específicamente para la industria de tableros hardwood plywood, que procuran bajas emisiones de formaldehído sin el uso de secuestrantes de formol. Esta resina posee excelente calidad de pegado o tack y se utiliza en sistemas que incluyen prensado. Los tableros elaborados usando CR-600 cumplen con los requerimientos de la norma ANSI / HPVA HP-1 1994 para hardwood plywood tipo II. No requiere de adición de úrea para disminución de formol en los tableros. (Akzonobel, 2015, p. 1)

CARACTERISTICA	METODO	ESPECIFICACION
Contenido de sólidos (%)	IN-CC-352	59 - 61
Viscosidad (mPa.s)	IN-CC-353	400 - 600
pH (25°C)	IN-CC-354	7,8 - 8,2
Gravedad específica (25/25 °C)	IN-CC-355	1,255 - 1,265
Tiempo de gel (91°C) seg.	IN-CC-358	90 - 115

Figura 7-1: Especificaciones técnicas de la resina líquida UF CR-600.

Fuente: (Akzonobel, 2015, p. 1)

Resina UF URAFORM P4565

URAFORM P4565 es una resina deshidratada de úrea formaldehído recomendada para la producción de madera contrachapada, tableros de partículas, tableros de virutas, muebles e industrias relacionadas. Proporciona un alto grado de resistencia al agua, manchas y proliferación de moho. La resistencia de adhesión obtenida depende de la mezcla de pegamento y se ajustaría fácilmente a requisitos de los adhesivos de Tipo II. (Caribbean Petrochemical Manufacturing Limited, 2010, p. 1)

Tipo de resina	Resina de úrea formaldehído deshidratada
Forma	Polvo
Color	Blanco/ blanco apagado
Densidad aparente	0.70 g/cm ³
Tiempo de gel acelerado (a)	50 – 100 s
Duración a 30°C (b)	9 meses aproximadamente
Duración a 25°C (b)	12 meses aproximadamente
Viscosidad a 25°C (c)	300 – 600 cPs
Solubilidad en H ₂ O	Completamente
Contenido de humedad	<3.5%
Formaldehído libre	<0.3%
(a) utilizando el método de prueba TP#20 (b) en contenedor sellado original (c) 60.0% solución RVF viscosímetro (Brookfield) #2 a 20 rpm	

Figura 8-1: Especificaciones técnicas de la resina en polvo UF URAFORM P4565.

Fuente: (Caribbean Petrochemical Manufacturing Limited, 2010, p. 1)

Catalizador

El catalizador es un agente de curado o endurecimiento de las resinas UF. Los agentes de curado más utilizados en la industria del contrachapado son el cloruro de amonio y sulfato de amonio. Estas sales como endurecedores reaccionan con el formaldehído libre en la resina para generar ácido. Este ácido que disminuye el pH de la resina y consecuentemente acelera el curado. La velocidad de reacción entre la sal de amonio y formaldehído, conjuntamente con la temperatura determina la velocidad de la liberación de ácido y por ende la tasa de curado (Pizzi, 2003, pp. 2-9; Dunky, 2003, pp. 7-43):



Cloruro de amonio + Formaldehído → Ác. Clorhídrico + Hexametilentetramina + Agua

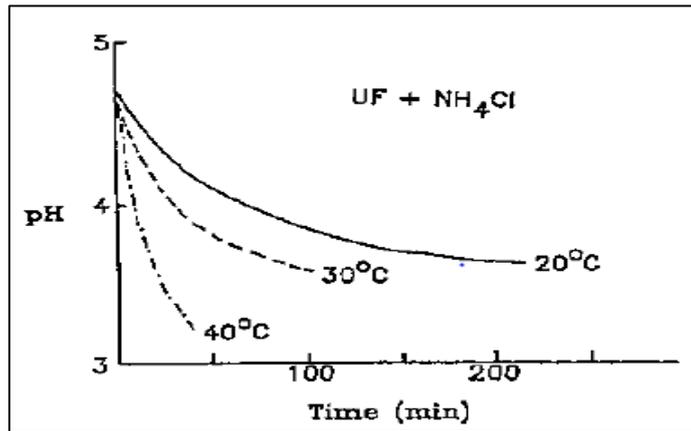


Figura 9-1: Cambio de pH de resinas UF con cat. NH₄CL

Fuente: (Pizzi, 2003, pp. 2-9)

Agua

El agua es el disolvente de todos los componentes como son: resina, harina de trigo, catalizador e insecticida. Ayuda a la viscosidad del adhesivo resultante y al posterior esparcimiento en el encolado de los tableros contrachapados. (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)

Insecticida

La presencia de polillas en la madera es inminente a corto o largo plazo, para ello se utilizan compuestos químicos de la familia de los insecticidas asegurando la calidad del tablero contrachapado. El insecticida más nombrado es el quimoside, un veneno para polilla con una concentración del 37 %. (Jaramillo, 2015, p. 26)

Harina de Trigo Industrial

La harina de trigo es un polvo hecho de la molienda del trigo que en la industria del contrachapado se utiliza con la finalidad de dar “cuerpo” al adhesivo, ayuda a incrementar la viscosidad de una forma económica y rellena los poros de la madera, todo ello para mejorar la calidad de pegado. (Pizzi, 2003, pp. 2-9)

1.3.2.3 Industria del contrachapado

Ecuador posee una amplia diversidad maderera que permite el desarrollo de una infinidad de industrias a base de esta materia prima. La industria del contrachapado es una de ellas, esta viene

creciendo a pasos agigantados desde 1962, en términos de tecnología y calidad del tablero, razón por la cual en la actualidad se la considera como una de las mejores de Latinoamérica. (Peralta, 2009, p. 18)

De la producción total de tableros contrachapados, el 37 % es destinado al mercado nacional y el 63 % se exporta. (Solís, 2013, pp. 4-16)

Según la partida arancelaria 4412 de comercio exterior de tableros contrachapados de 2015, los principales destinos para la exportación del tablero contrachapado ecuatoriano son:

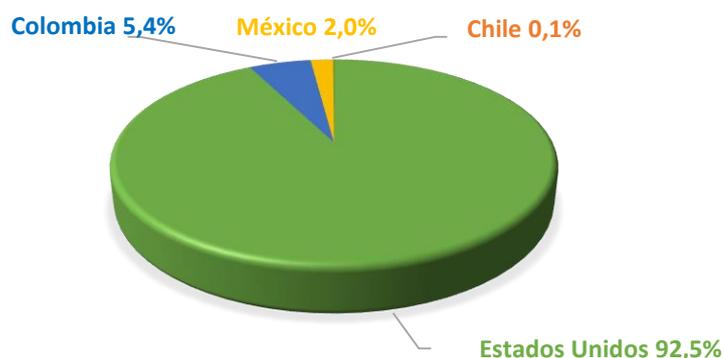


Gráfico 1-1: Destinos de exportación de tableros contrachapados ecuatorianos.

Fuente: (Asociación Ecuatoriana de Industriales de la Madera, 2015, pp.4-5)

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Por otro lado, Ecuador también importa tableros contrachapados de países como:

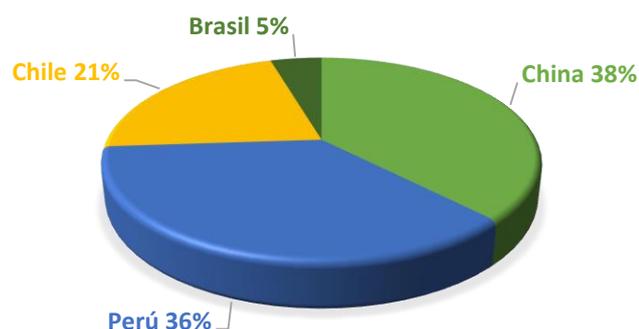


Gráfico 2-1: Países de importación de tableros contrachapados.

Fuente: (Asociación Ecuatoriana de Industriales de la Madera, 2015, pp. 4-5)

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Los principales grupos que se dedican a la industria del contrachapado son Edimca, Pelikano y Arboriente. El grupo Edimca posee dos plantas productoras, Endesa y Botrosa, ubicadas en la

ciudad de Quito y Quinindé-Esmeraldas respectivamente. El grupo Pelikano dispone de dos plantas, Plywood en la ciudad de Quito y Codesa en la ciudad de Esmeraldas. Finalmente Arboriente se localiza en la ciudad de Puyo. (Peralta, 2009, p. 18)

Las capacidades de producción de las plantas ecuatorianas de tableros contrachapados se describen de la siguiente manera:

Empresa	Anual (m3)	Mensual (m3)
Edimca	90000	7500
Endesa	54000	4500
Botrosa	36000	3000
Pelikano	33600	2800
Plywood	15600	1300
Codesa	18000	1500
Arboriente	8400	700

Figura 10-1: Producción de plantas ecuatorianas de tableros contrachapados.

Fuente: (Cajas, 2014, p. 31)

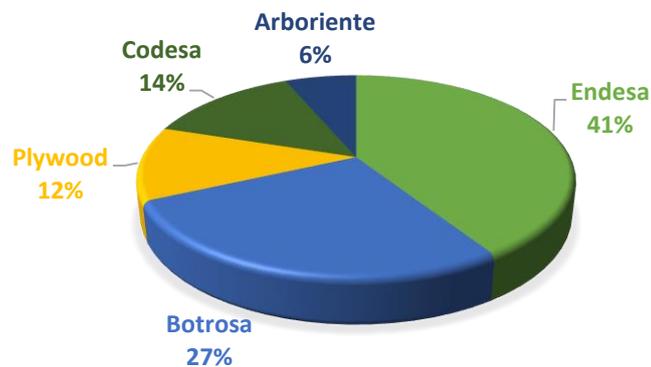


Gráfico 3-1: Capacidad de producción de las plantas de tableros contrachapados ecuatorianos.

Fuente: (Cajas, 2014, p. 31)

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Las empresas ecuatorianas de tableros contrachapados se caracterizan por utilizar materia prima que proviene de bosques nativos y de bosques plantados bajo el concepto de un manejo forestal sustentable, lo cual se traduce en la conservación de 30000 hectáreas de bosque. La industria del contrachapado ha generado más de 1000 plazas de trabajo directo e indirecto y ha aportado al estado de varios millones anuales en impuestos. Ambientalmente también proporciona el servicio de la captación de CO₂, protección de suelo, la regulación hídrica, entre otros. (Peralta, 2009, p. 18)

1.3.2.4 Variables de la madera que influyen en la adhesión

Densidad de la madera

La densidad es una de las propiedades fundamentales de la madera por su estrecha relación con el comportamiento físico-mecánico de este material, se define como la relación entre el peso constante seco al horno y el volumen verde de la madera expresada en g/cm^3 . (Confederación Peruana de la Madera., 2018, p. 20)

Según la FAO las densidades en maderas secas para tableros contrachapados varían entre 0.40 y 0.70 g/cm^3 , teniendo mayor preferencia las especies cuya densidad se encuentra entre 0.50 y 0.55 g/cm^3 . (Maragaño, 2005, pp. 4-5)

La encolabilidad depende directamente de la densidad de la madera. A densidades bajas (menores a 0.4 g/cm^3) se dan bajas resistencias de la unión encolada debido a que el adhesivo es totalmente absorbido por la madera. En maderas con densidades altas (mayores a 0.70 g/cm^3) también se forman uniones débiles debido a la mala penetración del adhesivo sobre la madera o a un excesivo escurrimiento al aplicar presión. Por ello es muy importante utilizar o preparar especies de maderas dentro del rango de densidad anteriormente mencionado, ya que solo en este caso se obtendrá una unión adhesiva satisfactoria. Para una unión fuerte la penetración del adhesivo debe darse a nivel molecular, creando una zona de transición que requiere de 2 a 6 células de profundidad, dependiendo del tipo y condición del adhesivo. Si la penetración es irregular la resistencia de la unión disminuye y puede haber fallas en lugares donde haya menor cantidad de adhesivo. (Carmona et al., 1998, pp. 55-63)

La densidad del copal (*Protium sp*) utilizado en Arboriente S.A. para este proyecto es de 0.703 g/cm^3 . (Aróstegui y Acevedo, 2011, pp. 6-8)

pH

El pH de la madera es de gran importancia para el pH del adhesivo debido a que este influye sobre el cambio de velocidad de reacción endurecedor-formaldehído y por lo tanto en el tiempo de fraguado o endurecimiento del adhesivo. Dependiendo de las especies de la madera empleada el pH puede ser mayor o menor. Las maderas con niveles extremos de pH, sea básico o ácido producen uniones débiles. (Maragaño, 2005, pp. 4-5)

Contenido de humedad

La humedad puede disminuir significativamente la fuerza de unión del adhesivo por ello es recomendable tener una humedad no mayor al 10 ± 2 % en las chapas antes del encolado. (Crúz, 2017, p. 24)

Mediante un proceso denominado degradación hidrolítica, las fuerzas intermoleculares entre la madera y el adhesivo se pueden alterar si el agua reemplaza al adhesivo. La condensación de las especies hidroximetil-úrea produce especies polimerizadas y desprende moléculas de agua, al existir un exceso de humedad y por lo tanto mayor cantidad de moléculas de agua se produce una reacción inversa con hidrolisis y desprendimiento de formaldehído. Esta disociación hidrolítica se genera por hidrolisis de los enlaces éter-metileno o de los enlaces de amino-metileno dando como resultado la descomposición de los grupos meti-ol y posterior emisión de formaldehído. (Ringena et al., 2006, pp. 1-2)

El exceso de humedad puede provocar cambios dimensionales por el hinchamiento de la madera. Durante el proceso de prensado a altas temperaturas, el agua forma vapor lo cual fuerza la línea de adhesivo y por lo tanto despega el tablero. En cambio, si la humedad es insuficiente en la madera se reduce sus propiedades adherentes, es más difícil que el adhesivo fluya y penetre las fibras de la madera. (Solís, 2013, pp. 4-16)

1.3.2.5 Variables del adhesivo que influyen en la adhesión

Viscosidad del adhesivo

La viscosidad del adhesivo depende de la viscosidad de la resina (en el caso de ser resina líquida incluye grado de condensación y contenido de sólidos), y la composición de la mezcla de pegamento. Si la viscosidad del adhesivo es demasiado baja gran parte de la resina puede penetrar la madera haciendo que la línea de pegamento sea muy delgada y no se pueda obtener una buena resistencia de unión. Por otro lado, si la viscosidad es demasiado alta puede haber una falta de humectación por el adhesivo en la superficie opuesta a la que se aplicó el adhesivo evitando la penetración de la mezcla en la madera y el enclavamiento mecánico de la superficie dando una resistencia de unión débil. (Dunky, 2003, pp. 7-43)

La viscosidad del adhesivo es esencial para la calidad del pegado, ya que al encontrarse en su rango óptimo proporciona un volumen de esparcimiento adecuado, mejora la distribución de la

resina sobre las fibras y por lo tanto otorga al tablero una mejor resistencia de la unión adhesivo-madera. (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)

Para determinar la viscosidad del adhesivo o de la resina se pueden utilizar viscosímetros de rotación (Viscosímetro Brookfield) o copas de flujo de viscosidad (Copa Ford o Zahn). (Dunky, 2003, pp. 7-43)

Esparcimiento o gramaje

El esparcimiento o gramaje depende de la viscosidad, contenido de sólidos de la resina y la temperatura. Un esparcimiento deficiente causa una mala penetración de la resina en la superficie de la madera y una baja resistencia a la unión. Un esparcimiento excesivo conduce a la sobrepenetración de la resina en la madera, encareciendo la línea de pegamento y el enclavamiento mecánico. (Dunky, 2003, pp. 7-43)

El esparcimiento del adhesivo debe ser aplicado en el estado de fluidez adecuado, de este modo será fácilmente distribuido por toda la superficie del tablero, evitando que se escurra por los bordes al aplicar presión y obteniendo una resistencia de unión óptima. El espesor de la línea de adhesivo recomendado se encuentra entre 0.1 y 0.2 mm para tableros contrachapados con adecuadas condiciones de encolado (Carmona et al., 1998, pp. 55-63)

Otra razón por la cual es tan importante la cantidad de adhesivo por metro cuadrado son los costos de producción en el encolado los cuales corresponden al 40 % de los costos totales. (Maragaño, 2005, pp. 4-5)

pH

Inicialmente el pH del adhesivo varía de 6.2 a 6.7, este debe estar en perfecto equilibrio con el pH de la madera. Para lograr el endurecimiento del adhesivo se añade una pequeña cantidad de ácido o sales de amonio a temperatura ambiente que reaccionan con el formaldehído libre a altas temperaturas en el prensado, disminuye el pH del adhesivo y consecuentemente acelera el curado. (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)

El pH del adhesivo puede ser medido directamente mediante electrodos de pH o pH-metro. (Dunky, 2003, pp. 7-43)

Temperatura

La temperatura tienen como finalidad acelerar la polimerización del adhesivo entre las chapas, puede alargar o disminuir el tiempo de curado durante el prensado del tablero. Esta ayuda a incrementar la velocidad de reacción entre la sal de amonio y formaldehído, determinando la velocidad de la liberación de ácido y por ende la tasa de curado. Las temperaturas normales de prensado varían de 120 °C a 160 °C, dependiendo de la humedad con la que ingrese la madera. Temperaturas bajas alargan el tiempo de curado de las resinas, pero su tendencia a deformarse al enfriarse después del prensado es menor. Temperaturas altas disminuyen los tiempos de curado y mejoran los tiempos de producción con la desventaja de que al enfriarse el tablero exista mayor posibilidad de deformación. (Pizzi, 2003, pp. 2-9; Zavala y Acevedo, 2004, p. 44)

Curado

El curado es una reacción química irreversible exotérmica, dependiente del tiempo, en la que el líquido de bajo peso molecular se convierte en un sólido reticulado de alto peso molecular que sirve como matriz para las fibras. (Gordin et al., 2004, p. 2)

El curado o endurecimiento del adhesivo depende de su reactividad, puede ocurrir cuando dos componentes (resina UF y sal de amonio) son mezclados, calentados y sus moléculas son enlazadas por un cambio de pH. (Cardona, 2013, pp. 17-21)

La fluidez y el endurecimiento actúan entre sí durante el proceso de curado en caliente con la ayuda del pH y la temperatura. El curado es el proceso donde todas las variables se juntan para dar un pegado de calidad. La viscosidad debe ser la adecuada para el correcto esparcimiento y formación del óptimo espesor de la línea de adhesivo sobre los tableros, a una humedad y densidad de la madera propicia para que el adhesivo penetre las fibras. El adhesivo reacciona con un endurecedor que disminuye el pH a altas temperaturas y cargas en el prensado favoreciendo la gelificación y posterior endurecimiento del adhesivo durante su fase de enfriamiento. (Pizzi, 2003, pp. 2-9; Zavala y Acevedo, 2004, p. 44)

La gelificación es un cambio importante durante la curación, se da cuando la reacción se ha desarrollado lo suficiente como para que la resina haya logrado una estructura tridimensional flexible pero no fluida. La gelificación marca el final del tiempo de trabajo de la resina y la fibra y está acompañada por una liberación de calor que resulta en un aumento de temperatura. (Gordin et al., 2004, p. 2)

La gelificación de los adhesivos UF puede ocurrir dentro de uno o dos segundos, si se obtiene un tiempo de gel prolongado puede indicar una generación lenta de fuerza de unión de la resina. La temperatura en la prueba de tiempo de gel debe ajustarse a la temperatura de aplicación de la mezcla, si la temperatura en una línea de adhesivo durante el prensado no excede los 70° C, entonces la prueba de gel se debe realizar a dicha temperatura y no al punto de ebullición del agua, con la finalidad de interpretar mejor el comportamiento del adhesivo a nivel industrial. (Dunky, 2003, pp. 7-43)

1.3.2.6 Ensayos de análisis de calidad de los tableros contrachapados tipo II según normativa nacional vigente

Métodos de ensayo para determinar la calidad del pegado

La calidad del pegado de los tableros contrachapados se determina por la resistencia de la unión adhesivo-madera totalmente curada a condiciones ambientales específicas, probando si existe o no fallas en el pegado del tablero. (Solís, 2013, pp. 4-16)

Según la normativa nacional NTE-INEN 2363:2005, los métodos de ensayo para determinar la calidad de pegado de las chapas de madera son:

Método de corte

En este ensayo la pieza es inducida a un esfuerzo, de modo que la falla producida en un tiempo determinado a aplicar una carga a velocidad constante, sea comparada porcentualmente por su falla de cohesión aparente con las ilustraciones de referencia. Para ello es necesario preparar la muestra según el tamaño y forma descritos en la norma, y disponer de equipos como baño térmico, tanque de ebullición, horno de secado y una máquina de ensayo a la tensión ajustada con mordaza de acción de cuña dentada. (NTE INEN 2 363, 2005, pp. 4-11)

Prueba de hervor de dos-ciclos

En el primer ciclo las piezas de 76 mm por lado se sumergen en agua en ebullición durante 4 horas y posteriormente se secan a 63 ± 3 °C por 20 horas, para disminuir el contenido de humedad a un máximo de 12 %. En el segundo ciclo se hierven las piezas por 4 horas y se secan por tres horas a 63 °C. Se observa si existe delaminación, en el caso de que la delaminación sea mayor a

25.4 mm de longitud continua la pieza falla, es permisible que un 90 % de las piezas individuales pasen. (NTE INEN 2 363, 2005, pp. 4-11)

Prueba de remojo de tres ciclos

Las piezas de ensayo tienen dimensiones de 127 mm x 50.8 mm, estas se sumergen en agua a 24 ± 3 °C durante 4 horas y luego se secan a una temperatura entre 49 °C y 52 °C durante 19 horas, para disminuir el contenido de humedad dentro de un rango de 4 % a 12 %, esto comprende un ciclo. La revisión de la delaminación se realiza al final del primer y tercer ciclo. Existe una falla de la pieza, cuando la delaminación es mayor que 50.8 mm en una longitud continua con 6.4 mm de profundidad y 0.08 mm de ancho. El 95 % de las piezas probadas deben pasar el primer ciclo y el 85 % de las piezas deben pasar el tercer ciclo. (NTE INEN 2 363, 2005, pp. 4-11)

Métodos de ensayo para determinar las emisiones de formaldehído

Las emisiones de formaldehído libre de un tablero, se pueden comprobar mediante ensayos aprobados por normativas reconocidas que se describen de la siguiente manera:

Método del perforador

Su principio se basa en que el formaldehído es extraído de las piezas de prueba a agua destilada por medio de tolueno en ebullición. El contenido de formaldehído en esta solución se determina fotométricamente por el método de acetilacetona. (ISO 12460-5, 2015, p. 1)

La normativa nacional NTE-INEN 900:2003 ENMIENDA 2 especifica que el nivel máximo de emisión de formaldehído debe ser 10 mg/100 g por el método del perforador.

Método de la cámara grande

Las piezas de prueba pre-acondicionadas de área conocida, se colocan en una cámara de 1 m³ en la que la temperatura, humedad relativa, velocidad del aire y la tasa de cambio se controlan a valores definidos. El formaldehído emitido se mezcla con el aire de la cámara y este aire se muestrea periódicamente. La concentración de formaldehído se determina extrayendo aire de la cámara a través de botellas de lavado de gas que contiene agua que absorbe el formaldehído. El

muestreo continua hasta que los valores de concentración hayan alcanzado un estado estable. (ISO 12460-1, 2007, p. 2)

La normativa nacional NTE-INEN 900:2003 ENMIENDA 2 especifica que el nivel máximo de emisión de formaldehído debe ser 0.3 mg/m³ por el método de la cámara grande para madera contrachapada.

Método del desecador

Las emisiones de formaldehído se determinan colocando piezas de prueba acondicionadas de área conocida en un desecador, a una temperatura controlada y midiendo la cantidad de formaldehído absorbido por un volumen específico de agua durante 24 horas. La solución se mezcla con acetato de acetilacetona-amonio para que un espectrofotómetro UV a una longitud de onda de 412 nm pueda medir la absorbancia y consecuentemente los niveles de emisión. (ISO 12460-4, 2008, pp. 8-11)

Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad

El método más común para la determinación del porcentaje de humedad, es someter a las piezas de prueba previamente pesadas a temperaturas de 103±2 °C, en un horno de secado y pesarlas después de cada secado para determinar el porcentaje de humedad perdido.

Tabla 2-1: Rangos permisibles en ensayos de calidad de normativas nacionales y extranjeras.

Organismo	Normativa	Emisión de formaldehído	Calidad del pegado	Humedad en base seca
Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN	NTE INEN 900:2003 Tableros de madera contrachapada. Requisitos.	Por el método del desecador: Máximo 0.7 mg/L	Método tres ciclos de pegado: Primer ciclo 95 % de las piezas. Tercer ciclo 85 % de las piezas	Entre 6 % y 15 %
Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC	NTC 698:2003 Madera contrachapada	Por el método del desecador: Máximo 1.5 mg/L	Resistencia de cizallamiento: Delaminación mayor a 6 mm de profundidad en una longitud de 50 mm.	Entre 6 % y 15 %

Fuente: (NTC 698, 2003, p. 12; NTE INEN 900, 2003, p. 5)

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

1.4 Beneficiarios directos e indirectos

El principal beneficiario de la realización de este proyecto es la empresa Arboriente S.A.

Los beneficiarios indirectos son los clientes de la empresa que se encuentran en el sector de la construcción del mercado ecuatoriano y colombiano.

CAPÍTULO II

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1 Objetivo General

Emplear resina úrea formaldehído en polvo para mejorar la calidad del pegado de los tableros contrachapados elaborados con resina úrea formaldehído líquida en la empresa Arboriente S.A. de la ciudad de Puyo.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar la formulación óptima de resina UF en polvo y agua para la elaboración de tableros contrachapados empleando la viscosidad como variable respuesta.
- Evaluar el porcentaje de delaminación, mediante el ensayo de los tres ciclos, de los tableros con formulación de resina UF en polvo.
- Cuantificar las emisiones de formaldehído, por el método del desecador, de los tableros con formulación de resina UF en polvo.
- Verificar el cumplimiento de la normativa nacional e internacional vigente de los tableros elaborados con resina UF en polvo.

CAPÍTULO III

3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1 Localización del proyecto

Este proyecto se implementa en:

Tabla 1-3: Localización del proyecto.

Ubicación	Arboriente S.A. Dirección: Av. Ceslao Marín s/n, Puyo, Pastaza, Ecuador.
Latitud	-1.48369
Longitud	-78.0025711
Altitud	950 m.s.n.m
Clima	Tropical, Temperatura mínima: 18 °C, Temperatura máxima: 28 °C.

Fuente: (GeoDatos, 2018, p. 1)

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

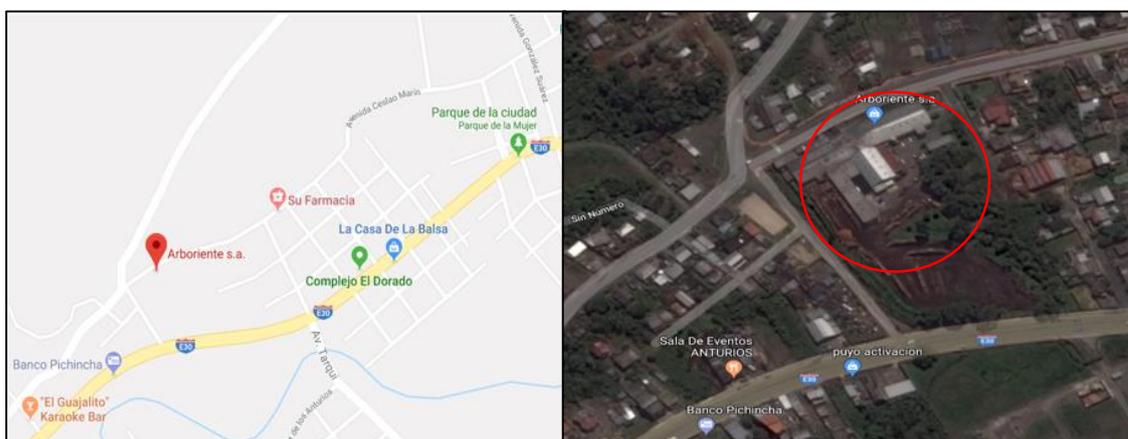


Figura 1-3: Mapa geo-referencial.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

3.2 Ingeniería del proyecto

3.2.1 Tipo del trabajo

La tipología técnica de este proyecto se debe a que se quiere mejorar la actual formulación de adhesivo con resina UF líquida a un adhesivo con resina UF en polvo, mediante el análisis experimental de la calidad de los tableros contrachapados con la nueva formulación.

3.2.2 Nivel de investigación

Para obtener la nueva formulación se lleva a cabo una investigación bibliográfica exhaustiva de los factores que intervienen en la elaboración de tableros contrachapados, específicamente como se relaciona la resina UF en polvo con la madera y viceversa. Tomando en consideración estas variables y las concernientes a los ensayos de calidad, se procede con la búsqueda de la formulación óptima con resina UF en polvo.

3.2.3 Etapas del proyecto

Los ensayos de calidad, medición de viscosidad y esparcimiento se llevan a cabo en los laboratorios de calidad certificados de la empresa Arboriente S.A. La experimentación del proyecto se realiza en cuatro fases con la elaboración de tres tableros en cada una, dando un total de 12 tableros tipo II industriales de 4 mm de espesor en madera copal, y 4 formulaciones diferentes. El proceso de experimentación se resume en la figura 2-3:

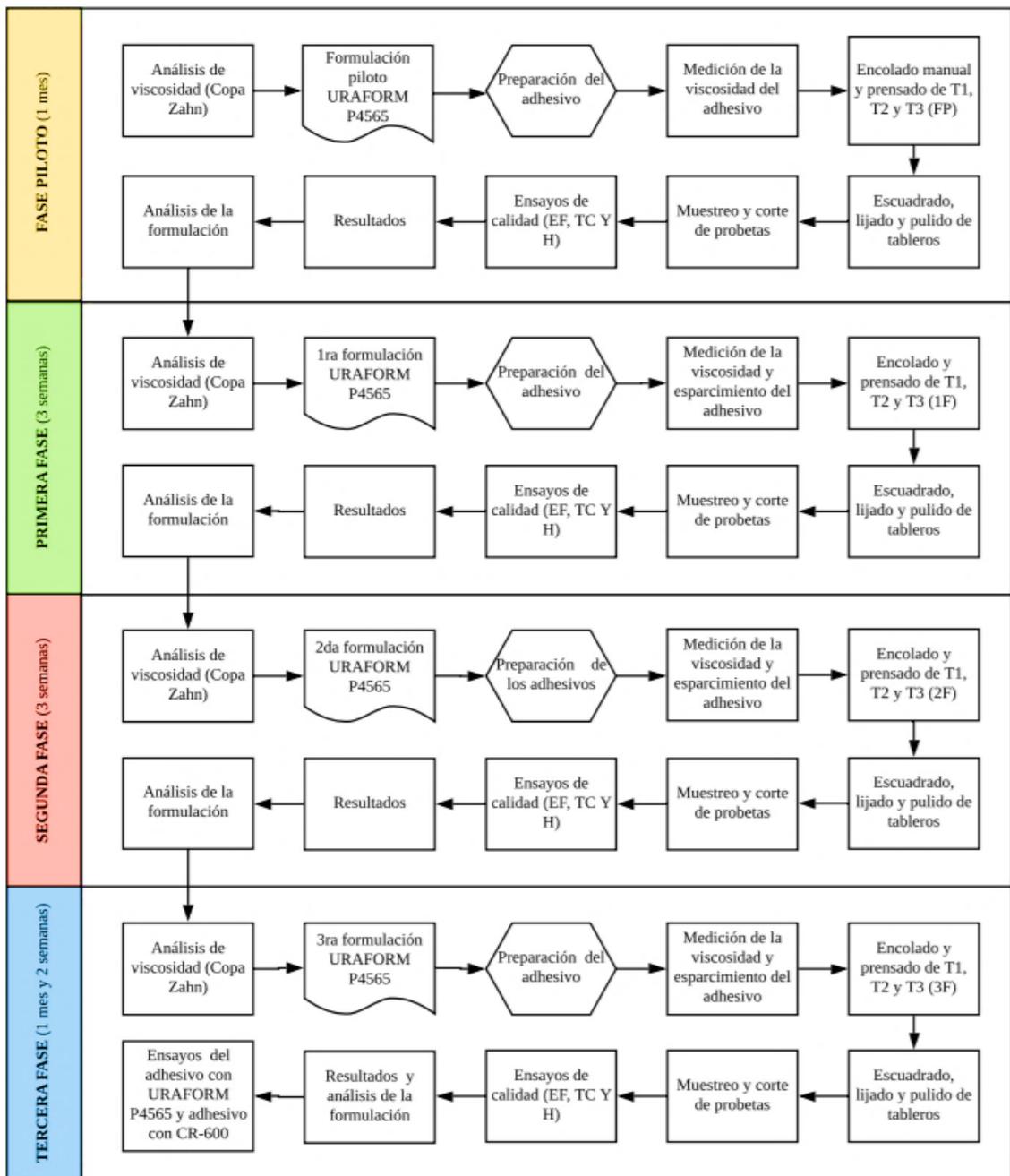


Figura 2-3: Fases de experimentación para determinar la formulación óptima con resina UF en polvo Uraform P4565.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

3.2.3.1 Fase piloto

La formulación piloto se obtiene en base a la formulación actual de la empresa con resina CR-600 líquida con la finalidad de conocer el comportamiento de la resina UF en polvo Uraform P4565 y ajustar los procedimientos de las fases de experimentación. Se procura obtener la misma viscosidad del adhesivo, midiéndola con una copa Zahn #4 con normativa ASTM y posteriormente elaborar la formulación piloto. El adhesivo se prepara siguiendo el ensayo de

formulación del adhesivo con resina UF en polvo Uraform P4565 explicado en el Anexo A sin considerar el esparcimiento.

El adhesivo de la formulación piloto se aplica de forma manual con un rodillo de pintura en cada uno de los tres tableros, se procede con el armado, prensado, escuadrado y lijado de los tableros de la formulación piloto. Después de tres días de almacenamiento se cortan los tableros según lo descrito en la figura 3-3.



Fotografía 1-3: Aplicación manual del adhesivo con rodillo.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019



Fotografía 2-3: Corte de las muestras para ensayos de calidad.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Se procede con los ensayos de calidad que comprenden tres ciclos de pegado, emisión de formaldehído por el método del desecador y humedad descritos los Anexos D, E Y F.

Los resultados fueron sobresalientes pero en vista de que no se simula el proceso real de producción de tableros de 4 mm se descartan los resultados de esta formulación piloto. En las siguientes fases se modifica la aplicación de adhesivo y se incluye la medición del esparcimiento.

3.2.3.2 Primera fase

El análisis de viscosidad de la primera fase se realiza con una copa Zahn #4 con normativa ASTM en los laboratorios de la empresa. Este análisis se basa en los resultados obtenidos en la anterior experiencia y a los valores actuales de la empresa. Con los resultados obtenidos se elabora la primera formulación según el ensayo descrito en el Anexo A. Esta formulación tiene un alto porcentaje de resina Uraform P4565 y un bajo porcentaje de agua por lo cual el adhesivo presenta una alta viscosidad. Se aplica el adhesivo a tres tableros mediante la encoladora y se mide su esparcimiento.



Fotografía 3-3: Aplicación del adhesivo de 1F en la encoladora.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019



Fotografía 4-3: Tableros con adhesivo de 1F.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Los tres tableros pasan el procedimiento de prensado, escuadrado, lijado, cortado y ensayos de calidad detallados en los Anexos D, E y F, hasta obtener los resultados de los análisis de calidad. Los resultados fueron deficientes para todos los tableros de la primera formulación en los ensayos de los tres ciclos de pegado. Y para los ensayos de emisión de formaldehído y humedad los resultados fueron iguales a los de la actual formulación que aplica la empresa. De esta forma se da paso a la segunda fase de experimentación.



Fotografía 5-3: Pieza delaminada en el primer ciclo de la 1F T1.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019



Fotografía 6-3: Piezas del tercer ciclo de la 1F T2.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

3.2.3.3 Segunda fase

Con los resultados obtenidos en la fase anterior se elabora la segunda formulación según el ensayo descrito en el Anexo A, cuyo objetivo principal es alcanzar la viscosidad del adhesivo de la actual formulación con una menor cantidad de resina en polvo Uraform P4565 y un mayor porcentaje de agua, utilizando toda la línea de producción de la empresa. Para ello el adhesivo de esta

formulación de baja viscosidad se aplica a tres tableros mediante la encoladora y se mide su esparcimiento.



Fotografía 7-3: Aplicación del adhesivo de 2F en la encoladora.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019



Fotografía 8-3: Tableros con adhesivo de 2F.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Los tres tableros pasan el procedimiento de prensado, escuadrado, lijado, cortado y ensayos de calidad detallados en los anexos D, E y F, hasta obtener los resultados de los análisis de calidad. Los resultados fueron buenos para todos los tableros de la segunda formulación en los ensayos de los tres ciclos de pegado. Y para los ensayos de emisión de formaldehído y humedad los resultados fueron iguales a los de la actual formulación. A pesar de que los resultados no fueron apropiados se establece la cantidad mínima de resina UF en polvo y viscosidades, de esta forma se da paso a la tercera fase de experimentación.



Fotografía 9-3: Piezas del primer ciclo de la 2F T3.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019



Fotografía 10-3: Absorbancia de muestra del ensayo EF 2F T3.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

3.2.3.4 Tercera fase

En base a los resultados obtenidos en las fases uno y dos (valores mínimos y máximos de viscosidad y cantidad de resina UF en polvo) y el rango de viscosidad actual de la empresa (12,58 St y 14,06 St), se establece un punto medio entre las formulaciones para obtener un nuevo y definitivo adhesivo. Se realiza un nuevo análisis de viscosidad con la copa Zahn #4 para establecer un valor de viscosidad dentro del rango estándar de la empresa y se sigue el procedimiento de preparación de la formulación explicado en el Anexo A.



Fotografía 11-3: Preparación del adhesivo de la 3F.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019



Fotografía 12-3: Medición de la viscosidad con la Copa Zahn #4.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

La aplicación de la tercera formulación se efectúa en la encoladora de la empresa con los rodillos recientemente calibrados y al inicio de la jornada laboral al igual que en las fases anteriores. También durante el encolado se obtienen datos para los cálculos del esparcimiento del adhesivo sobre los intermedios de los tres tableros producidos. Los tableros pasan por las operaciones de prensado, escuadrado lijado y cortado en piezas según la figura 3-3.



Fotografía 13-3: Pesado de fragmento encolado de intermedio con 3F.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019



Fotografía 14-3: Tablero 1 con adhesivo de 3F.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Los ensayos de calidad se llevan a cabo y los resultados de la tercera formulación fueron satisfactorios para los tres tableros en los ensayos de tres ciclos de pegado, emisión de formaldehído por el método del desecador y humedad, explicados en los Anexos D, E y F respectivamente.



Fotografía 15-3: Piezas del ensayo TC 3F T3.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019



Fotografía 16-3: Absorbancia de muestra del ensayo EF 3F T1.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Con los resultados obtenidos se continúa con los análisis del adhesivo con resina UF Uraform P4565 en polvo de la tercera formulación, y del adhesivo con resina UF líquida CR-600 actualmente utilizado en la empresa para compararlos posteriormente.

Los análisis de tiempo de gel y curva exotérmica de los adhesivos son realizados en el laboratorio de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Para ello se utiliza el baño maría del rotavapor según el ensayo descrito en el Anexo B.



Fotografía 17-3: Muestras de tiempo de gel del adhesivo con 3F Uraform P4565.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019



Fotografía 18-3: Medición de la temperatura para la curva exotérmica del adhesivo con 3F Uraform P4565.

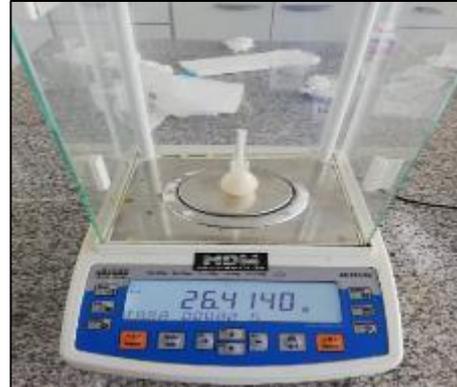
Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

La determinación del pH y densidad de los adhesivos se realiza en el laboratorio de Química Instrumental de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Para ello se utiliza el pH-metro y un picnómetro de 9.783 ml según el ensayo explicado en el Anexo C.



Fotografía 19-3: Medición de pH del adhesivo con resina CR-600.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019



Fotografía 20-3: Medición del peso del picnómetro con adhesivo con 3F Uraform P4565.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Por último para obtener una viscosidad de respaldo de los adhesivos se envían muestras a la empresa Sherwin-Williams de la ciudad de Quito para la determinación de la viscosidad dinámica utilizando el Viscosímetro Brookfield DV-II+PRO y el reómetro MCR 102.



Fotografía 21-3: Medición de viscosidad en Viscosímetro Brookfield DV-II+PRO.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019



Fotografía 22-3: Medición de viscosidad en reómetro MCR 102.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Los ensayos de los análisis de adhesivos y los ensayos de calidad fueron realizados con éxito en esta fase obteniendo resultados confiables que sirvieron para la realización de un análisis comparativo de la nueva formulación con respecto a la actual.

3.2.3.5 Ensayos de la fase experimental

Preparación y caracterización del adhesivo

Ensayo de formulación del adhesivo con resina Uraform P4565

Procedimiento descrito en el Anexo A

Identificación de variables del ensayo

Tabla 2-3: Variables del ensayo de formulación del adhesivo con resina Uraform P4565.

Tipos de variables	Variable	Indicador
Dependientes	Viscosidad del adhesivo	cPs
	Esparcimiento del adhesivo	g/m ²
	pH del adhesivo	Adimensional
	Tiempo de gel del adhesivo	S
	Densidad del adhesivo	g/ml
Independientes	Temperatura	°C
	Cantidad de agua	%
	Cantidad de resina UF Uraform P4565	%
	Cantidad de harina de trigo	%
	Cantidad de catalizador	%
	Tiempo de mezclado	Min
Intervinientes	Velocidad de mezclado	rpm

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Cálculos

a. Cálculo de la viscosidad

El cálculo de la viscosidad se realiza con una copa Zahn #4 y un cronómetro, se mide el tiempo de caída del adhesivo y se obtiene el resultado mediante las siguientes fórmulas según la Norma ASTM D4212 Zahn 4:

$$v (St) = 14.8 (t(s) - 5) \quad \text{Ecuación 1-3}$$

[20 – 80s; 200 – 1200 cSt]

Donde:

v = Viscosidad cinemática en cSt

t = Tiempo de flujo en s

(ASTM D 4212, 1993, p. 1)

b. Cálculo del esparcimiento

Área del fragmento de intermedio

$$A_f (m^2) = (b_f (m) * h_f (m)) * 2 \quad \text{Ecuación 2-3}$$

Donde:

A_f = Área del fragmento en m^2

b = Base del fragmento en m

h = Altura del fragmento en m

Área del tablero de 4 mm

$$A_t (m^2) = (b_t (m) * h_t (m)) * 2 \quad \text{Ecuación 3-3}$$

Donde:

A_t = Área del tablero en m^2

b_t = Base del tablero en m

h_t = Altura del tablero en m

Peso del adhesivo

$$P_a (g) = P_{fa} (g) - P_f (g) \quad \text{Ecuación 4-3}$$

Donde:

P_a = Peso del adhesivo en g

P_{fa} = Peso del fragmento con adhesivo en g

P_f = Peso del fragmento en g

Cantidad de adhesivo total

$$C_{at} (g) = \frac{A_t (m^2) * P_a (g)}{A_f (m^2)} \quad \text{Ecuación 5-3}$$

Donde:

C_{at} = Cantidad de adhesivo total en g

A_t = Área del tablero en m^2

P_a = Peso del adhesivo en g

A_f = Área del fragmento en m^2

Esparcimiento

$$E (g/m^2) = \frac{C_{at} (g)}{A_t (m^2)} \quad \text{Ecuación 6-3}$$

Donde:

E = Esparcimiento de adhesivo por metro cuadrado en g/m^2

C_{at} = Cantidad de adhesivo total en g

A_t = Área del tablero en m^2

Ensayo de determinación de tiempo de gel y curva exotérmica.

Procedimiento descrito en el Anexo B

Ensayo de determinación de pH y densidad

Procedimiento descrito en el Anexo C

Cálculos:

Para determinar la densidad se realizan los siguientes cálculos:

$$\rho \text{ (g/ml)} = \frac{Ppa \text{ (g)} - Pp \text{ (g)}}{Vp \text{ (ml)}}$$

Ecuación 7-3

Donde:

ρ = Densidad del adhesivo en g/ml

Ppa = Peso del picnómetro con adhesivo en g

Pp = Peso del picnómetro en g

Vp = Volumen del picnómetro

Calidad de los tableros contrachapados

Los ensayos de calidad a continuación descritos se basan en la normativa ecuatoriana NTE INEN 900:2003 “Tableros de madera contrachapada. Requisitos”, incluyendo la enmienda 2, y en normativas extranjeras ANSI e ISO.

Muestreo de las piezas para los ensayos de calidad

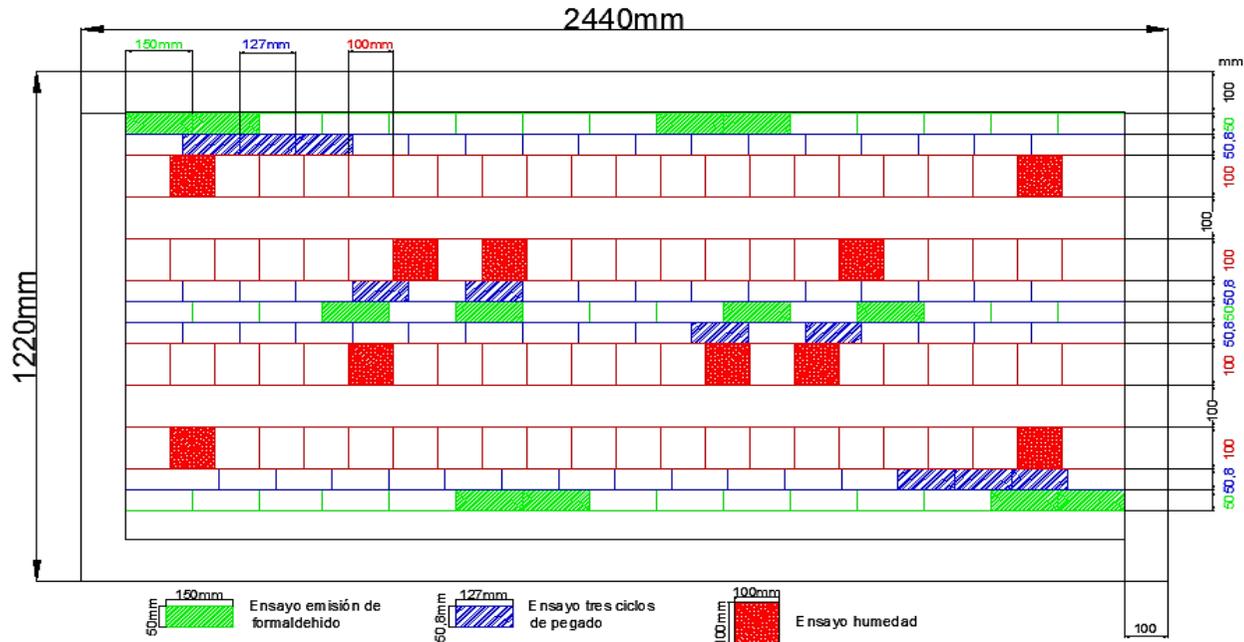


Figura 3-3: Corte de piezas para ensayos de calidad de tableros tipo II industriales de 4 mm de espesor.

Fuente: (Arboriente S.A, 2018, p. 1; ANSI-HPVA HP-1, 2009, p. 3-9)

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Ensayo tres ciclos de pegado

Procedimiento descrito en el Anexo D

Identificación de variables del ensayo:

Tabla 3-1: Variables del ensayo tres ciclos de pegado.

Tipos de variables	Variable	Indicador
Dependientes	Delaminación	%
Independientes	Temperatura	°C
	Tiempo	Min
Intervinientes	Humedad	%

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Cálculos:

Porcentaje de piezas delaminadas del 1^{er} ciclo

$$Pdp(\%) = (N^{\circ}dp * 100) / N^{\circ}p \quad \text{Ecuación 8-3}$$

Porcentaje de piezas delaminadas del 3^{er} ciclo

$$Pdt(\%) = (N^{\circ}dt * 100) / N^{\circ}p \quad \text{Ecuación 9-3}$$

Verificación de la delaminación

Al finalizar el primer y tercer ciclo, se verifica visualmente las piezas analizadas, observando rastros que evidencien un proceso de delaminación en su superficie. Una muestra de piezas de tablero analizadas se determina como conforme según la norma NTE INEN 2363, 2005:

- Si el ensayo se realiza con una muestra de 10 piezas, al finalizar el primer ciclo el 95 % resisten al delaminado, y al finalizar el tercer ciclo al menos el 85 % de las piezas pasan la prueba.
- Los valores máximos de delaminación permisible 5 % en el primer ciclo y 15 % en el tercer ciclo.
- Una pieza se considera no conforme según la norma NTE INEN 2363, 2005:
- Cuando cualquier simple delaminación continua observada entre dos hojas es mayor a 5,08 cm del largo de la superficie de la pieza.
- Ante cualquier delaminación mayor a 0,64 cm en lo profundo de cualquier punto y 0,008 cm a lo ancho de la pieza.

(NTE INEN 2 363, 2005, p. 4–11)

Ensayo emisión de formaldehído por el método del desecador

Procedimiento descrito en el Anexo E

Identificación de variables del ensayo:

Tabla 4-3: Variables de ensayo emisión de formaldehído por el método del desecador.

Tipos de variables	Variable	Indicador
Dependientes	Concentración de formaldehído	mg/L
Independientes	Temperatura	°C
	Tiempo	Min
	Cantidad de Acetil Acetona Acetato de Amonio	ml
Intervinientes	Humedad	%

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Cálculos

Diferencia de pesos para el acondicionamiento adecuado $\leq 0.1\%$

$$Dpa (\%) = +((Pa (g) - Pb (g))/Pa (g)) * 100 \quad \text{Ecuación 10-3}$$

Donde:

Dpa = Diferencia de pesos de acondicionamiento en %

Pa = Peso del día a en g

Pb = Peso de día b en g

La emisión de formaldehído de las muestras se mide como la cantidad de formaldehído recogida en el plato cristizador, expresada en miligramos por litro.

La concentración de formaldehído, G , se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$G = f * (\alpha d - \alpha b) * \frac{1800}{A} \quad \text{Ecuación 11-3}$$

Donde:

αd = Absorbancia de la solución del formaldehído de muestra.

αb = Absorbancia de la solución del formaldehído de blanco.

A = área combinada en centímetros cuadrados de las piezas de ensayo

f = pendiente en miligramos por litro, de la curva de calibración de formaldehído.

(ISO 12460-4, 2008, p. 8-11; Arboriente S.A., 2017, pp. 1-15)

Ensayo de contenido de humedad de tableros

Procedimiento descrito en el Anexo F

Identificación de variables del ensayo:

Tabla 5-3: Variables del ensayo contenido de humedad.

Tipos de variables	Variable	Indicador
Dependientes	Contenido de humedad	%
Independientes	Temperatura	°C
	Tiempo	Min
Intervinientes	Humedad	%

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Cálculos

El porcentaje del contenido de humedad Ch , de cada una de las piezas de ensayo, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Ch (\%) = \frac{mi - mf}{mf} * 100 \quad \text{Ecuación 12-3}$$

Donde:

Ch = Contenido de humedad

mi = masa inicial (antes del secado)

mf = masa final (después del secado)

(Arboriente S.A., 2017, pp. 6-11)

3.2.4 Cálculos

3.2.4.1 Primera formulación

Análisis del adhesivo de resina URAFORM P4565 con primera formulación.

Cálculos de viscosidad del adhesivo obtenida con copa Zahn #4

Datos obtenidos:

Tabla 6-3: Tiempos de vaciado de la copa Zahn #4 con adhesivo con 1F Uraform.

Repeticiones	1	2	3
Tiempo (s)	158	154	157

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Cálculos:

Tiempo promedio:

$$tp = (158 + 154 + 157)s/3$$

$$tp = 156.333 \text{ s}$$

Viscosidad cinemática:

$$v (St) = (14.8 (t(s) - 5))/100$$

Ecuación 13-3

$$v (St) = ((14.8 (156.333 \text{ s} - 5))/100$$

$$v (St) = \mathbf{22.397 \text{ St}}$$

Las viscosidades de la primera formulación tienen una media de 22.397 St con una desviación estándar de 0.299.

Esparcimiento del adhesivo

Datos obtenidos:

Tabla 7-3: Datos para el cálculo de esparcimiento del adhesivo con 1F Uraform.

Fragmentos	Dimensiones		Pesos con y sin adhesivo	
	bf (m)	hf (m)	Pf (g)	Pfa (g)
1	0.272	1.295	375.9	513.1
2	0.271	1.293	374.1	511.8
3	0.269	1.294	375.6	514.5

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Dimensiones del tablero industrial de 4 mm de espesor 1.22 m x 2.44m

Cálculos:

Base promedio:

$$bfp = (0.272 + 0.271 + 0.269)m/3$$

$$bfp = 0.271 \text{ m}$$

Altura promedio:

$$hfp = (1.295 + 1.293 + 1.294)m/3$$

$$hfp = 1.294 \text{ m}$$

Peso del fragmento promedio:

$$Pfp = (375.9 + 374.1 + 375.6)g/3$$

$$Pfp = 375.2 \text{ g}$$

Peso del fragmento con adhesivo promedio:

$$Pfap = (513.1 + 511.8 + 514.5)g/3$$

$$Pfap = 513.133 \text{ g}$$

Área del fragmento de intermedio

$$Af (m^2) = (bfp (m) * hfp (m)) * 2$$

Ecuación 14-3

$$Af (m^2) = (0.271 \text{ m} * 1.294 \text{ m}) * 2$$

$$Af = 0.701 \text{ m}^2$$

Área del tablero de 4 mm

$$At (m^2) = (bt (m) * ht (m)) * 2$$

Ecuación 15-3

$$At (m^2) = (1.22 \text{ m} * 2.44 \text{ m}) * 2$$

$$At = 5.953 \text{ m}^2$$

Peso del adhesivo

$$Pa (g) = Pfap (g) - Pfp (g)$$

Ecuación 16-3

$$Pa (g) = 513.133 g - 375.2 g$$

$$Pa = 137.933 g$$

Cantidad de adhesivo total por tablero

$$Cat (g) = \frac{At (m^2) * Pa (g)}{Af (m^2)}$$

Ecuación 17-3

$$Cat (g) = \frac{5.953 m^2 * 137.933 g}{0.701 m^2}$$

$$Cat = 1171.348 g$$

Esparcimiento

$$E (g/m^2) = \frac{Cat (g)}{At (m^2)}$$

Ecuación 18-3

$$E (g/m^2) = \frac{1171.348 g}{5.953 m^2}$$

$$E = 196.766 g/m^2$$

Análisis de calidad de tableros contrachapados con adhesivo de resina URAFORM P4565 primera formulación.

Cálculos de tres ciclos de pegado

Tablero 1

Datos obtenidos:

N° Piezas = 10

N° Piezas delaminadas 1er ciclo = 2

N° Piezas delaminadas 3er ciclo = 10

Cálculos:

Porcentaje de piezas delaminadas del 1^{er} ciclo

$$Pdp(\%) = (N^{\circ}dp * 100) / N^{\circ}p$$

Ecuación 19-3

$$Pdp(\%) = (2 * 100) / 10$$

$$Pdp = 20 \%$$

Porcentaje de piezas delaminadas del 3^{er} ciclo

$$Pdt(\%) = (N^{\circ}dt * 100) / N^{\circ}p$$

Ecuación 20-3

$$Pdt(\%) = (10 * 100) / 10$$

$$Pdt = 100 \%$$

Tablero 2

Datos obtenidos:

N° Piezas = 10

N° Piezas delaminadas 1er ciclo = 0

N° Piezas delaminadas 3er ciclo = 2

Cálculos:

Porcentaje de piezas delaminadas del 1^{er} ciclo

$$Pdp(\%) = (N^{\circ}dp * 100) / N^{\circ}p$$

Ecuación 21-3

$$Pdp(\%) = (0 * 100) / 10$$

$$Pdp = 0 \%$$

Porcentaje de piezas delaminadas del 3^{er} ciclo

$$Pdt(\%) = (N^{\circ}dt * 100) / N^{\circ}p$$

Ecuación 22-3

$$Pdt(\%) = (2 * 100) / 10$$

$$Pdt = 20 \%$$

Tablero 3

Datos obtenidos:

N° Piezas = 10

N° Piezas delaminadas 1er ciclo = 1

N° Piezas delaminadas 3er ciclo = 10

Cálculos:

Porcentaje de piezas delaminadas del 1^{er} ciclo

$$Pdp(\%) = (N^{\circ}dp * 100) / N^{\circ}p$$

Ecuación 23-3

$$Pdp(\%) = (1 * 100) / 10$$

$$Pdp = 10 \%$$

Porcentaje de piezas delaminadas del 3^{er} ciclo

$$Pdt(\%) = (N^{\circ}dt * 100) / N^{\circ}p$$

Ecuación 24-3

$$Pdt(\%) = (10 * 100) / 10$$

$$Pdt = 100 \%$$

La media de los porcentajes de delaminación de la prueba de los tres ciclos para los tres tableros de la primera formulación es 10 %, con una desviación de 10, para el primer ciclo y 73.333 %, con una desviación de 46.188, para el tercer ciclo dando una muestra inconforme.

Cálculos de emisión de formaldehído

Cálculos del área real de prueba para todos los ensayos de emisión de formaldehído:

Datos obtenidos:

Tabla 8-3: Áreas totales de caras y cantos de un tablero industrial de 4 mm.

Área total de los cantos (cm ²)		Área de las caras (cm ²)
Lateral	Extremos	
12	4	150

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Área de una pieza de 4 mm

$$Ap = (Acl + Ace + Ac)cm^2 \quad \text{Ecuación 25-3}$$

$$Ap = (12 + 4 + 150)cm^2$$

$$Ap = 166 cm^2$$

Área real prueba > 1800 cm²

$$Ar = Ap (cm^2) * N^{\circ}Piezas \quad \text{Ecuación 26-3}$$

$$Ar = 166 cm^2 * 11$$

$$Ar = 1826 cm^2$$

Tablero 1

Acondicionamiento en el día 5 explicado en el Anexo G

Datos obtenidos:

N° Piezas = 11

ab = 0.065

ad = 0.335

Cálculos:

Concentración de formaldehído

$$G (mg/L) = f (mg/L) * (\alpha d - ab) * \frac{1800}{A} \quad \text{Ecuación 27-3}$$

$$G(\text{mg/L}) = 1.1494 \text{ mg/L} * (0.335 - 0.065) * \left(\frac{1800 \text{ cm}^2}{1826 \text{ cm}^2}\right)$$

$$G = 0.306 \text{ mg/L}$$

Tablero 2

Acondicionamiento en el día 6 explicado en el Anexo G

Datos obtenidos:

N° Piezas = 11

ab = 0.106

ad = 0.377

Cálculos:

Concentración de formaldehído

$$G(\text{mg/L}) = f(\text{mg/L}) * (\alpha d - \alpha b) * \frac{1800}{A} \quad \text{Ecuación 28-3}$$

$$G(\text{mg/L}) = 1.1494 \text{ mg/L} * (0.377 - 0.106) * \left(\frac{1800 \text{ cm}^2}{1826 \text{ cm}^2}\right)$$

$$G = 0.307 \text{ mg/L}$$

Tablero 3

Acondicionamiento en el día 5 explicado en el Anexo G

Datos obtenidos:

N° Piezas = 11

ab = 0.061

ad = 0.338

Cálculos:

Concentración de formaldehído

$$G(\text{mg/L}) = f(\text{mg/L}) * (\alpha d - \alpha b) * \frac{1800}{A} \quad \text{Ecuación 29-3}$$

$$G(\text{mg/L}) = 1.1494 \text{ mg/L} * (0.338 - 0.061) * \left(\frac{1800 \text{ cm}^2}{1826 \text{ cm}^2}\right)$$

$$G = 0.314 \text{ mg/L}$$

La media de las emisiones de formaldehído de los tres tableros con primera formulación Uraform es 0.309 mg/L con una desviación estándar de 0.004.

Cálculos de humedad

Tablero 1

Datos obtenidos:

Pesos de piezas descritas en el Anexo H.

Cálculos:

Contenido de humedad de las piezas

M1

$$Ch_{M1} (\%) = \frac{mi-mf}{mf} * 100 \quad \text{Ecuación 30-3}$$

$$Ch_{M1} (\%) = \frac{27.457 - 24.669}{24.669} * 100$$

$$Ch_{M1} = 11 \%$$

Tabla 9-3: Resultados de contenido de humedad de piezas con adhesivo Uraform 1F T1.

Muestra	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
% Ch	12	13	13	13	13	12	12	12	12	12

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Promedio de contenido de humedad del tablero

$$Ch = (12 + 13 + 13 + 13 + 13 + 12 + 12 + 12 + 12 + 12) \% / 10$$

$$Ch = 11 \%$$

Tablero 2

Datos obtenidos:

Pesos de piezas descritas en el Anexo H.

Cálculos:

Contenido de humedad de las piezas

M1

$$Ch_{M1} (\%) = \frac{mi-mf}{mf} * 100 \quad \text{Ecuación 31-3}$$

$$Ch_{M1} (\%) = \frac{28.188 - 25.168}{25.168} * 100$$

$$Ch_{M1} = 12 \%$$

Tabla 10-3: Resultados de contenido de humedad de piezas con adhesivo Uraform 1F T2.

Muestra	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
% Ch	12	12	12	12	12	12	11	12	12	12

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Promedio de contenido de humedad del tablero

$$Ch = (12 + 12 + 12 + 12 + 12 + 12 + 11 + 12 + 12 + 12) \% / 10$$

$$Ch = 12 \%$$

Tablero 3

Datos obtenidos:

Pesos de piezas descritas en el Anexo H.

Cálculos:

Contenido de humedad de las piezas

M1

$$Ch_{M1} (\%) = \frac{mi - mf}{mf} * 100 \quad \text{Ecuación 32-3}$$

$$Ch_{M1} (\%) = \frac{19.007 - 17.077}{17.077} * 100$$

$$Ch_{M1} = 11 \%$$

Tabla 11-3: Resultados de contenido de humedad de piezas con adhesivo Uraform 1F T3.

Muestra	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
% Ch	11	12	11	12	11	12	12	12	12	11

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Promedio de contenido de humedad del tablero

$$Ch = (11 + 12 + 11 + 12 + 11 + 12 + 12 + 12 + 12 + 11) \% / 10$$

$$Ch = 12 \%$$

El contenido de humedad de los tres tableros de la primera formulación tiene una media de 11.667 % con una desviación estándar de 0.577.

3.2.4.2 Segunda formulación

Análisis del adhesivo de resina URAFORM P4565 con segunda formulación.

Cálculos de viscosidad del adhesivo obtenida con copa Zahn #4

Datos obtenidos:

Tabla 12-3: Tiempos de vaciado de la copa Zahn #4 con adhesivo con 2F Uraform.

Repeticiones	1	2	3
Tiempo (s)	62	83	84

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Cálculos:

Tiempo promedio:

$$tp = (83 + 84)s/3$$

$$tp = 83.5 s$$

Viscosidad cinemática:

$$v (St) = (14.8 (t(s) - 5))/100 \quad \text{Ecuación 33-3}$$

$$v (St) = ((14.8 (83.5 s - 5))/100$$

$$v (St) = \mathbf{11.618 St}$$

Descartando la primera viscosidad tomada por ser un dato atípico, las viscosidades de la segunda formulación tienen una media de 11.618 St con una desviación estándar de 0.105.

Esparcimiento del adhesivo

Datos obtenidos:

Tabla 13-3: Datos para el cálculo de esparcimiento del adhesivo con 2F Uraform.

Fragmentos	Dimensiones		Pesos con y sin adhesivo	
	bf (m)	hf (m)	Pf (g)	Pfa (g)
1	0.269	1.280	377.1	523.3
2	0.261	1.287	378.2	525.1
3	0.258	1.279	377.9	524.3

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Dimensiones del tablero industrial de 4 mm de espesor 1.22 m x 2.44m

Cálculos:

Base promedio:

$$bfp = (0.269 + 0.261 + 0.258)m/3$$

$$bfp = 0.263 m$$

Altura promedio:

$$hfp = (1.280 + 1.287 + 1.279)m/3$$

$$hfp = 1.282 m$$

Peso del fragmento promedio:

$$Pfp = (377.1 + 378.2 + 377.9)g/3$$

$$Pfp = 377.733 g$$

Peso del fragmento con adhesivo promedio:

$$Pfap = (523.3 + 525.1 + 524.3)g/3$$

$$Pfap = 524.233 g$$

Área del fragmento de intermedio

$$Af (m^2) = (bfp (m) * hfp (m)) * 2$$

$$Af (m^2) = (0.263 m * 1.282 m) * 2$$

$$Af = 0.674 m^2$$

Ecuación 34-3

Área del tablero de 4 mm

$$At (m^2) = (bt (m) * ht (m)) * 2$$

$$At (m^2) = (1.22 m * 2.44 m) * 2$$

$$At = 5.953 m^2$$

Ecuación 35-3

Peso del adhesivo

$$Pa (g) = Pfap (g) - Pfp (g) \quad \text{Ecuación 36-3}$$

$$Pa (g) = 524.233 g - 377.733 g$$

$$Pa = 146.500 g$$

Cantidad de adhesivo total por tablero

$$Cat (g) = \frac{At (m^2) * Pa (g)}{Af (m^2)} \quad \text{Ecuación 37-3}$$

$$Cat (g) = \frac{5.953 m^2 * 146.500 g}{0.674 m^2}$$

$$Cat = 1293.938 g$$

Esparcimiento

$$E (g/m^2) = \frac{Cat (g)}{At (m^2)} \quad \text{Ecuación 38-3}$$

$$E (g/m^2) = \frac{1293.938 g}{5.953 m^2}$$

$$E = 217.359 g/m^2$$

Análisis de calidad de tableros contrachapados con adhesivo de resina URAFORM P4565 segunda formulación.

Cálculos de tres ciclos de pegado

Tablero 1

Datos obtenidos:

N° Piezas = 10

N° Piezas delaminadas 1^{er} ciclo = 0

N° Piezas delaminadas 3^{er} ciclo = 0

Cálculos:

Porcentaje de piezas delaminadas del 1^{er} ciclo

$$Pdp(\%) = (N^{\circ}dp * 100) / N^{\circ}p \quad \text{Ecuación 39-3}$$

$$Pdp(\%) = (0 * 100) / 10$$

$$Ppp = 0 \%$$

Porcentaje de piezas delaminadas del 3^{er} ciclo

$$Pdt(\%) = (N^{\circ}dt * 100) / N^{\circ}p \quad \text{Ecuación 40-3}$$

$$Pdt(\%) = (0 * 100) / 10$$

$$Pdt = 0 \%$$

Tablero 2

Datos obtenidos:

N° Piezas = 10

N° Piezas delaminadas 1^{er} ciclo = 0

N° Piezas delaminadas 3^{er} ciclo = 1

Cálculos:

Porcentaje de piezas delaminadas del 1^{er} ciclo

$$Pdp(\%) = (N^{\circ}dp * 100) / N^{\circ}p$$

Ecuación 41-3

$$Pdp(\%) = (0 * 100) / 10$$

$$Pdp = 0 \%$$

Porcentaje de piezas delaminadas del 3^{er} ciclo

$$Pdt(\%) = (N^{\circ}dt * 100) / N^{\circ}p$$

Ecuación 42-3

$$Pdt(\%) = (1 * 100) / 10$$

$$Pdt = 10 \%$$

Tablero 3

Datos obtenidos:

N° Piezas = 10

N° Piezas delaminadas 1^{er} ciclo = 0

N° Piezas delaminadas 3^{er} ciclo = 0

Cálculos:

Porcentaje de piezas delaminadas del 1^{er} ciclo

$$Pdp(\%) = (N^{\circ}dp * 100) / N^{\circ}p$$

Ecuación 43-3

$$Pdp(\%) = (0 * 100) / 10$$

$$Pdp = 0 \%$$

Porcentaje de piezas delaminadas del 3^{er} ciclo

$$Pdt(\%) = (N^{\circ}dt * 100) / N^{\circ}p$$

Ecuación 44-3

$$Pdt(\%) = (0 * 100) / 10$$

$$Pdt = 0 \%$$

La media de los porcentajes de delaminación de la prueba de los tres ciclos para los tres tableros de la segunda formulación es 0 %, con una desviación de 0, para el primer ciclo y 3.333 %, con una desviación de 0.577, para el tercer ciclo dando una muestra conforme.

Cálculos de emisión de formaldehído

Área real de prueba 1826 cm^2 calculada con los datos de la tabla 4-3.

Tablero 1

Acondicionamiento en el día 5 explicado en el Anexo G

Datos obtenidos:

N° Piezas = 11

ab = 0.064

ad = 0.383

Cálculos:

Concentración de formaldehído

$$G (mg/L) = f (mg/L) * (ad - ab) * \frac{1800}{A} \quad \text{Ecuación 45-3}$$

$$G(mg/L) = 1.1494 mg/L * (0.383 - 0.064) * \left(\frac{1800 cm^2}{1826 cm^2}\right)$$

$$G = 0.361 mg/L$$

Tablero 2

Acondicionamiento en el día 5 explicado en el Anexo G

Datos obtenidos:

N° Piezas = 11

ab = 0.020

ad = 0.361

Cálculos:

Concentración de formaldehído

$$G (mg/L) = f (mg/L) * (ad - ab) * \frac{1800}{A} \quad \text{Ecuación 46-3}$$

$$G(\text{mg/L}) = 1.1494 \text{ mg/L} * (0.361 - 0.020) * \left(\frac{1800 \text{ cm}^2}{1826 \text{ cm}^2}\right)$$

$$G = 0.386 \text{ mg/L}$$

Tablero 3

Acondicionamiento en el día 5 explicado en el Anexo G

Datos obtenidos:

N° Piezas = 11

ab = 0.083

ad = 0.416

Cálculos:

Concentración de formaldehído

$$G (\text{mg/L}) = f (\text{mg/L}) * (\alpha d - ab) * \frac{1800}{A} \quad \text{Ecuación 47-3}$$

$$G(\text{mg/L}) = 1.1494 \text{ mg/L} * (0.416 - 0.083) * \left(\frac{1800 \text{ cm}^2}{1826 \text{ cm}^2}\right)$$

$$G = 0.377 \text{ mg/L}$$

La media de las emisiones de formaldehído de los tres tableros con segunda formulación Uraform es 0.375 mg/L con una desviación estándar de 0.013.

Cálculos de humedad

Tablero 1

Datos obtenidos:

Pesos de piezas descritas en el Anexo H.

Cálculos:

Contenido de humedad de las piezas

M1

$$Ch_{M1} (\%) = \frac{mi-mf}{mf} * 100 \quad \text{Ecuación 48-3}$$

$$Ch_{M1} (\%) = \frac{19.890 - 17.819}{17.819} * 100$$

$$Ch_{M1} = 12 \%$$

Tabla 14-3: Resultados de contenido de humedad de piezas con adhesivo Uraform 2F T1.

Muestra	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
% Ch	12	12	12	11	12	12	12	12	12	12

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Promedio de contenido de humedad del tablero

$$Ch = (12 + 12 + 12 + 11 + 12 + 12 + 12 + 12 + 12 + 12) \% / 10$$

$$Ch = 12 \%$$

Tablero 2

Datos obtenidos:

Pesos de piezas descritas en el Anexo H.

Cálculos:

Contenido de humedad de las piezas

M1

$$Ch_{M1} (\%) = \frac{mi - mf}{mf} * 100$$

Ecuación 49-3

$$Ch_{M1} (\%) = \frac{21.871 - 19.654}{19.654} * 100$$

$$Ch_{M1} = 11 \%$$

Tabla 15-3: Resultados de contenido de humedad de piezas con adhesivo Uraform 2F T2.

Muestra	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
% Ch	11	11	11	12	12	12	12	10	11	12

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Promedio de contenido de humedad del tablero

$$Ch = (11 + 11 + 11 + 12 + 12 + 12 + 12 + 10 + 11 + 12) \% / 10$$

$$Ch = 11 \%$$

Tablero 3

Datos obtenidos:

Pesos de piezas descritas en el Anexo H.

Cálculos:

Contenido de humedad de las piezas

M1

$$Ch_{M1} (\%) = \frac{mi-mf}{mf} * 100 \quad \text{Ecuación 50-3}$$

$$Ch_{M1} (\%) = \frac{23.130 - 20.639}{20.639} * 100$$

$$Ch_{M1} = 12 \%$$

Tabla 16-3: Resultados de contenido de humedad de piezas con adhesivo Uraform 2F T3.

Muestra	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
% Ch	12	12	12	12	12	12	12	13	13	12

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Promedio de contenido de humedad del tablero

$$Ch = (12 + 12 + 12 + 12 + 12 + 12 + 12 + 13 + 13 + 12) \% / 10$$

$$Ch = 12 \%$$

El contenido de humedad de los tres tableros de la segunda formulación tiene una media de 11.667 % con una desviación estándar de 0.577.

3.2.4.3 Tercera formulación

Análisis del adhesivo de resina URAFORM P4565 con tercera formulación

Cálculos de viscosidad del adhesivo obtenida con copa Zahn #4

Datos obtenidos:

Tabla 17-3: Tiempos de vaciado de la copa Zahn #4 con adhesivo con 3F Uraform.

Repeticiones	1	2	3
Tiempo (s)	92	91	94

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Cálculos:

Tiempo promedio:

$$tp = (92 + 91 + 94)s/3$$

$$tp = 92.333 s$$

Viscosidad cinemática:

$$v (St) = (14.8 (t(s) - 5))/100$$

Ecuación 51-3

$$v (St) = ((14.8 (92.333 s - 5))/100$$

$$v (St) = 12.925 St$$

Las viscosidades de la tercera formulación tienen una media de 12.925 St con una desviación estándar de 0.226.

Esparcimiento del adhesivo

Datos obtenidos:

Tabla 18-3: Datos para el cálculo de esparcimiento del adhesivo con 3F Uraform.

Fragmentos	Dimensiones		Pesos con y sin adhesivo	
	bf (m)	hf (m)	Pf (g)	Pfa (g)
1	0.262	1.285	379.5	523.5
2	0.265	1.282	379.8	522.8
3	0.260	1.287	379.2	524.3

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Dimensiones del tablero industrial de 4 mm de espesor 1.22 m x 2.44m

Cálculos:

Base promedio:

$$\begin{aligned} bfp &= (0.262 + 0.265 + 0.260)m/3 \\ bfp &= 0.262 \text{ m} \end{aligned}$$

Altura promedio:

$$\begin{aligned} hfp &= (1.285 + 1.282 + 1.287)m/3 \\ hfp &= 1.285 \text{ m} \end{aligned}$$

Peso del fragmento promedio:

$$\begin{aligned} Pfp &= (379.5 + 379.8 + 379.2)g/3 \\ Pfp &= 379.5 \text{ g} \end{aligned}$$

Peso del fragmento con adhesivo promedio:

$$\begin{aligned} Pfap &= (523.5 + 522.8 + 524.3)g/3 \\ Pfap &= 523.533 \text{ g} \end{aligned}$$

Área del fragmento de intermedio

$$\begin{aligned} Af \text{ (m}^2\text{)} &= (bfp \text{ (m)} * hfp \text{ (m)}) * 2 && \text{Ecuación 52-3} \\ Af \text{ (m}^2\text{)} &= (0.262 \text{ m} * 1.285 \text{ m}) * 2 \\ Af &= 0.673 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Área del tablero de 4 mm

$$\begin{aligned} At \text{ (m}^2\text{)} &= (bt \text{ (m)} * ht \text{ (m)}) * 2 && \text{Ecuación 53-3} \\ At \text{ (m}^2\text{)} &= (1.22 \text{ m} * 2.44 \text{ m}) * 2 \\ At &= 5.953 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Peso del adhesivo

$$\begin{aligned} Pa \text{ (g)} &= Pfap \text{ (g)} - Pfp \text{ (g)} && \text{Ecuación 54-3} \\ Pa \text{ (g)} &= 523.533 \text{ g} - 379.5 \text{ g} \\ Pa &= 144.033 \text{ g} \end{aligned}$$

Cantidad de adhesivo total por tablero

$$\begin{aligned} Cat \text{ (g)} &= \frac{At \text{ (m}^2\text{)} * Pa \text{ (g)}}{Af \text{ (m}^2\text{)}} && \text{Ecuación 55-3} \\ Cat \text{ (g)} &= \frac{5.953 \text{ m}^2 * 144.033 \text{ g}}{0.673 \text{ m}^2} \\ Cat &= 1274.039 \text{ g} \end{aligned}$$

Esparcimiento

$$E \text{ (g/m}^2\text{)} = \frac{Cat \text{ (g)}}{At \text{ (m}^2\text{)}} \quad \text{Ecuación 56-3}$$

$$E (g/m^2) = \frac{1274.039 g}{5.953 m^2}$$

$$E = 214.016g/m^2$$

Tiempo de gel del adhesivo

Datos obtenidos:

Tabla 19-3: Tiempos de gelificación del adhesivo con 3F Uraform.

Repeticiones	1	2	3
Tiempo de gel (s)	86	85	83

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Cálculos:

Tiempo de gel promedio:

$$tgp = (86 + 85 + 83)s/3$$

$$tgp = 84.667 s$$

Curva exotérmica a 90 °C

Datos obtenidos:

Temperaturas y tiempos descritos en el Anexo I.

Cálculos:

Temperaturas promedio en función del tiempo

$$Tp_0 = (16.4 + 16.7 + 16.1)°C/3$$

$$Tp_0 = 16.4 °C$$

Tabla 20-3: Temperaturas promedio y tiempos del adhesivo con 3F Uraform a 90 °C.

T (s)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
T (°C)	16.4	31.0	36.2	40.6	43.0	45.0	47.8	50.8	52.3
T (s)	135	150	165	180	195	210	225	240	-
T (°C)	53.6	56.1	56.2	56.5	56.6	56.1	55.3	54.5	-

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

pH del adhesivo

Datos obtenidos:

Tabla 21-3: Valores de pH obtenidos del adhesivo con 3F Uraform.

Repeticiones	1	2	3
pH	5.69	5.73	5.77

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Cálculos:

pH promedio:

$$pH = (5.69 + 5.73 + 5.77)/3$$

$$pH = 5.73$$

Densidad del adhesivo

Datos obtenidos:

Tabla 22-3: Pesos del picnómetro con y sin adhesivo con 3F Uraform.

Repeticiones	1	2	3
Pp (g)	15.3801	15.3799	15.3800
Ppa (g)	26.4142	26.4141	26.4140

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Cálculos:

Peso del picnómetro promedio:

$$Ppp = (15.3801 + 15.3799 + 15.3800)/3$$

$$Ppp = 15.380 \text{ g}$$

Peso de picnómetro con adhesivo promedio:

$$Ppap = (26.4142 + 26.4141 + 26.4140)/3$$

$$Ppap = 26.4141 \text{ g}$$

Densidad:

El volumen real del picnómetro es 9.783 ml

$$\rho \text{ (g/ml)} = \frac{Ppap \text{ (g)} - Ppp \text{ (g)}}{Vp \text{ (ml)}}$$

Ecuación 57-3

$$\rho (g/ml) = \frac{26.4141 g - 15.380 g}{9.783 (ml)}$$

$$\rho = 1.127 g/ml$$

Análisis de calidad de tableros contrachapados con adhesivo de resina URAFORM P4565 con tercera formulación.

Cálculos de tres ciclos de pegado

Tablero 1

Datos obtenidos:

N° Piezas = 10

N° Piezas delaminadas 1^{er} ciclo = 0

N° Piezas delaminadas 3^{er} ciclo = 0

Cálculos:

Porcentaje de piezas delaminadas del 1^{er} ciclo

$$Pdp(\%) = (N^{\circ}dp * 100) / N^{\circ}p \quad \text{Ecuación 58-3}$$

$$Pdp(\%) = (0 * 100) / 10$$

$$Pdp = 0 \%$$

Porcentaje de piezas delaminadas del 3^{er} ciclo

$$Pdt(\%) = (N^{\circ}dt * 100) / N^{\circ}p \quad \text{Ecuación 59-3}$$

$$Pdt(\%) = (0 * 100) / 10$$

$$Pdt = 0 \%$$

Tablero 2

Datos obtenidos:

N° Piezas = 10

N° Piezas delaminadas 1^{er} ciclo = 0

N° Piezas delaminadas 3^{er} ciclo = 0

Cálculos:

Porcentaje de piezas delaminadas del 1^{er} ciclo

$$Pdp(\%) = (N^{\circ}dp * 100) / N^{\circ}p \quad \text{Ecuación 60-3}$$

$$Pdp(\%) = (0 * 100)/10$$

$$Pdp = 0 \%$$

Porcentaje de piezas delaminadas del 3^{er} ciclo

$$Pdt(\%) = (N^{\circ}dt * 100)/ N^{\circ}p$$

Ecuación 61-3

$$Pdt(\%) = (0 * 100)/10$$

$$Pdt = 0 \%$$

Tablero 3

Datos obtenidos:

N° Piezas = 10

N° Piezas delaminadas 1^{er} ciclo = 0

N° Piezas delaminadas 3^{er} ciclo = 0

Cálculos:

Porcentaje de piezas delaminadas del 1^{er} ciclo

$$Pdp(\%) = (N^{\circ}dp * 100)/ N^{\circ}p$$

Ecuación 62-3

$$Pdp(\%) = (0 * 100)/10$$

$$Pdp = 0 \%$$

Porcentaje de piezas delaminadas del 3^{er} ciclo

$$Pdt(\%) = (N^{\circ}dt * 100)/ N^{\circ}p$$

Ecuación 63-3

$$Pdt(\%) = (0 * 100)/10$$

$$Pdt = 0 \%$$

La media de los porcentajes de delaminación de la prueba de los tres ciclos para los tres tableros de la tercera formulación es 0 %, con una desviación de 0, para el primer ciclo y 0 %, con una desviación de 0, para el tercer ciclo dando una muestra conforme.

Cálculos de emisión de formaldehído

Área real de prueba 1826 cm² calculada con los datos de la tabla 4-3.

Tablero 1

Acondicionamiento en el día 7 explicado en el Anexo G

Datos obtenidos:

N° Piezas = 11

ab = 0.08

ad = 0.294

Cálculos:

Concentración de formaldehído

$$G (mg/L) = f (mg/L) * (ad - ab) * \frac{1800}{A} \quad \text{Ecuación 64-3}$$
$$G(mg/L) = 1.1494 mg/L * (0.294 - 0.080) * \left(\frac{1800 cm^2}{1826 cm^2}\right)$$
$$G = 0.242 mg/L$$

Tablero 2

Acondicionamiento en el día 7 explicado en el Anexo G

Datos obtenidos:

N° Piezas = 11

ab = 0.036

ad = 0.222

Cálculos:

Concentración de formaldehído

$$G (mg/L) = f (mg/L) * (ad - ab) * \frac{1800}{A} \quad \text{Ecuación 65-3}$$
$$G(mg/L) = 1.1494 mg/L * (0.222 - 0.036) * \left(\frac{1800 cm^2}{1826 cm^2}\right)$$
$$G = 0.211 mg/L$$

Tablero 3

Acondicionamiento en el día 7 explicado en el Anexo G

Datos obtenidos:

N° Piezas = 11

ab = 0.049

ad = 0.246

Cálculos:

Concentración de formaldehído

$$G \text{ (mg/L)} = f \text{ (mg/L)} * (\alpha d - \alpha b) * \frac{1800}{A} \quad \text{Ecuación 66-3}$$
$$G \text{ (mg/L)} = 1.1494 \text{ mg/L} * (0.246 - 0.049) * \left(\frac{1800 \text{ cm}^2}{1826 \text{ cm}^2}\right)$$
$$G = 0.223 \text{ mg/L}$$

La media de las emisiones de formaldehído de los tres tableros con tercera formulación Uraform es 0.225 mg/L con una desviación estándar de 0.016.

Cálculos de humedad

Tablero 1

Datos obtenidos:

Pesos de piezas descritas en el Anexo H.

Cálculos:

Contenido de humedad de las piezas

M1

$$Ch_{M1} (\%) = \frac{m_i - m_f}{m_f} * 100 \quad \text{Ecuación 67-3}$$
$$Ch_{M1} (\%) = \frac{23.145 - 20.641}{20.641} * 100$$
$$Ch_{M1} = 12 \%$$

Tabla 23-3: Resultados de contenido de humedad de piezas con adhesivo Uraform 3F T1.

Muestra	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
% Ch	12	12	12	12	13	12	12	12	13	13

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Promedio de contenido de humedad del tablero

$$Ch = (12 + 12 + 12 + 12 + 13 + 12 + 12 + 12 + 13 + 13) \% / 10$$
$$Ch = 12 \%$$

Tablero 2

Datos obtenidos:

Pesos de piezas descritas en el Anexo H.

Cálculos:

Contenido de humedad de las piezas

M1

$$Ch_{M1} (\%) = \frac{mi-mf}{mf} * 100 \quad \text{Ecuación 68-3}$$
$$Ch_{M1} (\%) = \frac{22.146 - 19.713}{19.713} * 100$$
$$Ch_{M1} = 12 \%$$

Tabla 24-3: Resultados de contenido de humedad de piezas con adhesivo Uraform 3F T2.

Muestra	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
% Ch	12	11	11	12	12	11	11	11	12	11

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Promedio de contenido de humedad del tablero

$$Ch = (12 + 11 + 11 + 12 + 12 + 11 + 11 + 11 + 12 + 11) \% / 10$$
$$Ch = 11 \%$$

Tablero 3

Datos obtenidos:

Pesos de piezas descritas en el Anexo H.

Cálculos:

Contenido de humedad de las piezas

M1

$$Ch_{M1} (\%) = \frac{mi-mf}{mf} * 100 \quad \text{Ecuación 69-3}$$
$$Ch_{M1} (\%) = \frac{21.770 - 19.429}{19.429} * 100$$
$$Ch_{M1} = 12 \%$$

Tabla 25-3: Resultados de contenido de humedad de piezas con adhesivo Uraform 3F T3.

Muestra	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
% Ch	12	13	13	13	12	13	12	12	13	13

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Promedio de contenido de humedad del tablero

$$Ch = (12 + 13 + 13 + 13 + 12 + 13 + 12 + 12 + 13 + 13) \% / 10$$

$$Ch = 12 \%$$

El contenido de humedad de los tres tableros de la tercera formulación tiene una media de 11.667% con una desviación estándar de 0.577.

3.2.4.4 Formulación de adhesivo con resina CR-600

Análisis del adhesivo con resina CR-600

Esparcimiento del adhesivo

Datos obtenidos:

Tabla 26-3: Datos para el cálculo de esparcimiento del adhesivo CR-600.

Fragmentos	Dimensiones		Pesos con y sin adhesivo	
	b (m)	h (m)	Pf (g)	Pfa (g)
1	0.327	1.273	538.0	713.5
2	0.306	1.268	590.5	759.0
3	0.370	1.268	724.0	925.5

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Dimensiones del tablero industrial de 4 mm de espesor 1.22 m x 2.44m

Cálculos:

Base promedio:

$$bfp = (0.327 + 0.306 + 0.370)m / 3$$

$$bfp = 0.334 m$$

Altura promedio:

$$hfp = (1.273 + 1.268 + 1.268)m/3$$

$$hfp = 1.269 m$$

Peso del fragmento promedio:

$$Pfp = (538.0 + 590.5 + 724.0)g/3$$

$$Pfp = 617.5 g$$

Peso del fragmento con adhesivo promedio:

$$Pfap = (713.5 + 759 + 925.5)g/3$$

$$Pfap = 799.333 g$$

Área del fragmento de intermedio

$$Af (m^2) = (bfp (m) * hfp (m)) * 2$$

Ecuación 70-3

$$Af (m^2) = (0.334 m * 1.269 m) * 2$$

$$Af = 0.848 m^2$$

Área del tablero de 4 mm

$$At (m^2) = (bt (m) * ht (m)) * 2$$

Ecuación 71-3

$$At (m^2) = (1.22 m * 2.44 m) * 2$$

$$At = 5.953 m^2$$

Peso del adhesivo

$$Pa (g) = Pfap (g) - Pfp (g)$$

Ecuación 72-3

$$Pa (g) = 799.333 g - 617.5 g$$

$$Pa = 181.833 g$$

Cantidad de adhesivo total

$$Cat (g) = \frac{At (m^2) * Pa (g)}{Af (m^2)}$$

Ecuación 73-3

$$Cat (g) = \frac{5.953 m^2 * 181.833 g}{0.848 m^2}$$

$$Cat = 1276.476 g$$

Esparcimiento

$$E (g/m^2) = \frac{Cat (g)}{At (m^2)}$$

Ecuación 74-3

$$E (g/m^2) = \frac{1276.476 g}{5.953 m^2}$$

$$E = 214.426 g/m^2$$

Tiempo de gel del adhesivo

Datos obtenidos:

Tabla 27-3: Tiempos de gelificación del adhesivo CR-600.

Repeticiones	1	2	3
Tiempo de gel (s)	107	105	87

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Cálculos:

Tiempo de gel promedio:

$$tgp = (107 + 105 + 87)s/3$$

$$tgp = 99.667 s$$

Curva exotérmica a 90 °C

Temperaturas y tiempos descritos en el Anexo I.

Cálculos:

Temperaturas promedio en función del tiempo

$$Tp_0 = (16.6 + 17.2 + 16.9)°C/3$$

$$Tp_0 = 16.9 °C$$

Tabla 28-3: Temperaturas promedio y tiempos del adhesivo CR-600 a 90 °C.

T (s)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
T (°C)	16.9	26.1	34.7	38.9	46.3	48.2	50.1	51.5	51.8
T (s)	135	150	165	180	195	210	225	240	-
T (°C)	52.0	52.8	50.7	49.0	48.4	47.8	46.8	42.9	-

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

pH del adhesivo

Datos obtenidos:

Tabla 29-3: Valores de pH obtenidos del adhesivo CR-600.

Repeticiones	1	2	3
pH	5.77	5.75	5.79

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Cálculos:

pH promedio:

$$pH = (5.77 + 5.75 + 5.79)/3$$

$$pH = 5.77$$

Densidad del adhesivo

Datos obtenidos:

Tabla 30-3: Pesos del picnómetro con y sin adhesivo CR-600.

Repeticiones	1	2	3
Pp (g)	15.3154	15.3153	15.3152
Ppa (g)	26.512	26.513	26.513

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Cálculos:

Peso del picnómetro promedio:

$$Ppp = (15.3154 + 15.3153 + 15.3152)/3$$

$$Ppp = 15.315 \text{ g}$$

Peso de picnómetro con adhesivo promedio:

$$Ppap = (26.512 + 26.513 + 26.513)/3$$

$$Ppap = 26.513 \text{ g}$$

Densidad:

El volumen real del picnómetro es 9.783 ml

$$\rho \text{ (g/ml)} = \frac{Ppap \text{ (g)} - Ppp \text{ (g)}}{Vp \text{ (ml)}}$$

Ecuación 75-3

$$\rho \text{ (g/ml)} = \frac{26.513 \text{ g} - 15.315 \text{ g}}{9.783 \text{ (ml)}}$$

$$\rho = 1.145 \text{ g/m}$$

3.2.5 Resultados

Los resultados de la fase experimental del adhesivo con resina Uraform P4565 en tableros tipo II industriales de 4 mm de espesor se detallan a continuación:

Tabla 31-3: Formulaciones del adhesivo con resina UF Uraform P4565 en polvo.

Insumos (%)	Primera Formulación	Segunda Formulación	Tercera Formulación
Resina	22.92	20.34	22.36
Agua	54.75	58.11	55.87
Harina	22.23	21.47	21.68
Catalizador	0.09	0.08	0.09

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Tabla 32-3: Resultados de los análisis de adhesivo y calidad de los tableros con Uraform P4565.

Formulación	Resultados análisis del adhesivo ¹		Resultados análisis de calidad de los tableros ²				
	Viscosidad (St)	E (g/m ²)	TC (%) Delaminación			EF (mg/L)	H (%)
Rangos permisibles	12,58 - 14,06	B/M	1 ^{er} ciclo	<5	Muestra conforme	<0,7	<15
			3 ^{er} ciclo	<15			
Primera	22.397	M	1 ^{er} ciclo	10	Muestra no conforme	0.309	11.667
			3 ^{er} ciclo	73.333			
Segunda	11.618	B	1 ^{er} ciclo	0	Muestra conforme	0.375	11.667
			3 ^{er} ciclo	3.333			
Tercera	12.925	B	1 ^{er} ciclo	0	Muestra conforme	0.225	11.667
			3 ^{er} ciclo	0			

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

¹ Comparados con normativa interna de la empresa.

² Comparados con normativa INEN 900:2003 incluyendo enmienda 2:2017.

3.3 Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

La tecnología, equipos y maquinaria utilizados para este proyecto se describen en la tabla 3-33.

Tabla 33-3: Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

EQUIPO	FUNCIÓN
Taladro	Agitar el adhesivo de las formulaciones establecidas.
Incubadora de laboratorio	Crear el ambiente óptimo para la liberación de formaldehído de las muestras.(Villamil, 2005, p. 149)
Espectrofotómetro (412 nm)	Medir la cantidad de luz que atraviesa la muestra y calcular la concentración de formaldehído que existe en las piezas. (Arenas y López, 2004, p.1)
Horno o estufa de laboratorio	Secar las piezas para determinar el porcentaje de delaminación en la prueba de los tres ciclos.
Equipo de baño térmico	Absorber de humedad para la prueba de los tres ciclos.
Cocina	Calentar las disoluciones analizar para la determinación de formaldehído.
Balanza de precisión	Medir acetato de amonio para la determinación de emisión de formaldehído y pesar las piezas para determinar porcentaje de delaminación para la prueba de los tres ciclos.
MAQUINARIA	FUNCIÓN
Encoladora	Aplicar el adhesivo sobre los intermedios del tablero.
Lijadora de Banda FRANZ SIEVERS	Lijar los tableros con formulación de resina UF en polvo.
Lijadora ANTHON	Lijar los tableros con formulación de resina UF en polvo.
Escuadradora	Cortar los tableros con formulación de resina UF en polvo.
Pre-Prensa SIEMPELKAMP	Prensar los tableros con formulación de resina UF en polvo.
Prensa FJELLMAN	Prensar térmicamente los tableros con formulación de resina UF en polvo.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

3.4 Análisis comparativo de costos

El análisis comparativo de costos se realiza entre la formulación actual de adhesivo con resina CR-600 y la nueva formulación de adhesivo con resina Uraform P4565 (tercera formulación) partiendo de datos brindados por la empresa Arboriente S.A.

Tabla 34-3: Participación porcentual de tableros tipo II industrial de 4 mm, en la producción anual, Año 2018.

Rubros	Valor	Unidad de medida
Tableros tipo II 4 mm de espesor (Cantidad)	188.265,00	unidades/año
Tableros tipo II 4 mm de espesor (Volúmen)	2.241,25	m ³ /año
Otras productos (Excepto tableros de 4 mm)	4.469,96	m ³ /año
VOLUMEN DE PRODUCCIÓN TOTAL	6.711,21	m³/año
PARTICIPACIÓN PORCENTUAL TABLEROS 4 mm	33,40	%
Unidades de Producción Diaria	522,96	Unidades
Volumen de Producción Diaria	6,23	m ³

Fuente: Estado de Costos, con corte a noviembre del 2018, Arboriente SA.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Tabla 35-3: Cuadro comparativo de adhesivos para la fabricación de tableros tipo II industrial de 4 mm de espesor.

Rubros	CR-600 (sin proyecto)		URAFORM P4565 (con proyecto)	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
EN UNIDADES DE PRODUCCIÓN				
Área del tablero 4 mm	5,95	m ²	5,95	m ²
Esparcimiento	214,43	g/m ²	214,02	g/m ²
Cantidad de adhesivo por tablero	1,28	Kg	1,27	Kg
Unidades de producción diaria	522,96	Unidades	522,96	Unidades
CANTIDAD DE ADHESIVO/DIA	667,61	Kg	666,38	Kg
CANTIDAD DE ADHESIVO ANUAL	240.340,35	Kg	239.896,91	Kg
EN VOLUMEN DE PRODUCCIÓN				
Tableros tipo II (Volúmen)	6,23	m ³ /día	6,23	m ³ /día
Cantidad de adhesivo por m ³	107,23	Kg	107,04	Kg
CANTIDAD DE ADHESIVO/DIA	667,61	Kg	666,38	Kg
CANTIDAD DE ADHESIVO ANUAL	240.340,35	Kg	239.896,91	Kg
Ahorro anual con proyecto			443,44	Kg
Paradas de adhesivo en un día	6,50		6,49	

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Tabla 36-3: Porcentajes de insumos de los adhesivos CR-600 y Uraform P4565.

Insumos	CR-600		URAFORM P4565	
	Porcentaje (%)	Parada (Kg)	Porcentaje (%)	Parada (Kg)
Harina	Datos confidenciales	Datos confidenciales	21,68	22,28
Catalizador			0,09	0,09
Resina			22,36	22,97
Agua			55,87	57,41
Kimocide			-	-
Cantidad por parada (Kg)	100,00	102,75	100,00	102,75

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

El costo de la resina UF en polvo Uraform P4565 por tonelada métrica es de \$1550 incluyendo los costos de envío desde Trinidad y Tobago a la empresa Arboriente S.A., información que se encuentra en el Anexo O. (Borde, 2019, p. 1)

Tabla 37-3: Costo de producción anual de tableros tipo II industriales de 4 mm de espesor con formulación Uraform P4565.

Insumos	Unidad de medida	Por m ³			Por año	
		Cantidad	Valor Unit. (\$)	Costo Total (\$)	Cantidad (Kg)	Costo Total (\$)
Harina	Kg	23,21	0.60	13,92	52.009,65	31.205,79
Catalizador	Kg	0,10	0.50	0,05	215,91	107,95
Resina URAFORM P4565	Kg	23,93	1.55	37,10	53.640,95	83.143,47
Agua	Kg	59,80	0.00048	0,03	134.030,41	64,49
TOTAL				51.10		114.521,70

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Tabla 38-3: Producción estimada anual de tableros tipo II industriales de 4 mm de espesor con formulación CR-600.

Insumos	Unidad de Medida	Por m ³			Por año	
		Cantidad	Valor Unit. (\$)	Costo Total (\$)	Cantidad (Kg)	Costo Total (\$)
Harina	Kg	Datos confidenciales	Datos confidenciales	15,65	Datos confidenciales	35.086,18
Catalizador	Kg			0,12		273,67
Resina CR-600	Kg			41,29		92.533,96
Agua	Kg			0,02		38,

					2
					6
Kimocide	Kg			3,21	7.185,65
TOTAL			60.29		135.117,73

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Tabla 39-3: Análisis comparativo de costos de producción para tableros tipo II industriales de 4 mm de espesor con formulación CR-600 y Uraform P4565.

RUBROS	ADHESIVO CR-600		ADHESIVO URAFORM P4565	
	CANTIDAD	VALOR (\$)	CANTIDAD	VALOR (\$)
MATERIA PRIMA / COSTO POR M³ / MADERA	Datos confidenciales			
Trozos explotación y terceros m ³		539.954,59	4.259,95	539.954,59
Doble piezas UND		4.584,18	11,67	4.584,18
Harina Kg		35.086,18	52.009,65	31.205,79
Kimocide Kg		7.185,65	-	-
Resina Kg		92.533,96	53.640,95	83.143,47
Resina HL Kg		6.917,48	5.413,72	6.917,48
Catalizador Kg		273,67	215,91	107,95
TOTAL MP:		686.535,71		665.913,47
MANO DE OBRA DIRECTA				
Sueldos		91.025,33		91.025,33
Horas extras		37.006,19		37.006,19
Incentivos		4.628,27		4.628,27
Provisiones		61.947,80		61.947,80
Otros beneficios		9.953,97		9.953,97
TOTAL MOD:		204.561,56		204.561,56
GASTOS INDIRECTOS DE FABRICACION				
Mano de Obra Indirecta				
Sueldos		103.876,75		103.876,75
Horas extras		18.258,29		18.258,29
Incentivos		9.788,69		9.788,69
Provisiones		58.030,51		58.030,51
Otros beneficios		8.423,31		8.423,31
TOTAL MOI:		198.377,55		198.377,55
Gastos Indirectos				
Energía eléctrica		30.479,32		30.479,32
Teléfono, Agua e Internet		2.071,19		2.097,42
Mantenimiento, Combustibles, Lubricantes		48.573,36		48.573,36
Impuestos		5.861,14		5.861,14

Otros Gastos, Transporte, Arriendo		3.278,84		3.278,84
Depreciación		17.213,90		17.213,90
Seguros		6.255,83		6.255,83
Suministros, materiales, herramientas y madera para caldero		16.845,34		16.845,34
Seguridad , medio ambiente, control calidad		4.814,49		4.814,49
TOTAL GI:		135.393,41		135.419,64
TOTAL GIF:		333.770,97		333.797,19
COSTO DE PRODUCCION		1.224.868,24		1.204.272,22
DIFERENCIA PP		-5.633,85		5.633,85
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN		1.219.234,40		1.198.638,38
PRODUCCIÓN (m ³)		2.241,25		2.241,25
COSTO PROMEDIO POR (m ³)		544,00		534,81
COSTO POR TABLERO		6,48		6,37

Fuente: Registros de inventarios, con corte a nov. 2018, Arboriente S.A.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Tabla 40-3: Resultados de la formulación con Uraform P4565 en tableros tipo II industriales de 4 mm de espesor.

RESULTADOS	
Ahorro en costos total de producción por tablero industrial 4 mm con Uraform P4565	0,11
Ahorro en costos total de producción por m ³ de tablero industrial 4 mm con Uraform P4565	9,19
Ahorro anual en costo total de producción de tablero industrial 4 mm con Uraform P4565	20.596,02

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

En este análisis se toma en consideración los costos de todos los insumos más el envío o transporte a la empresa. Además los datos otorgados por la empresa Arboriente S.A. no han sido plasmados directamente en este análisis sino se han considerado solo valores aproximados respetando la confidencialidad de la entidad.

El análisis de costos de los adhesivos en cuestión nos explica que, de acuerdo a sus respectivas formulaciones, costos de insumos incluyendo el transporte a la empresa y valores aproximados en los datos de producción en general, la resina Uraform P4565 ahorraría a la empresa un estimado de \$0.11 por tablero tipo II industrial de 4 mm de espesor, \$9.19 por m³ del mismo tablero y \$20596.02 en costo total de producción anual de tablero de 4 mm de espesor. La formulación con resina Uraform P4565 es totalmente viable.

3.5 Cronograma del proyecto

Tabla 41-3: Cronograma del proyecto realizado

ACTIVIDAD	TIEMPO																							
	1° MES				2° MES				3° MES				4° MES				5° MES				6° MES			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Formulación piloto		■	■	■	■																			
Primera formulación						■	■	■																
Segunda formulación									■	■	■													
Tercera formulación												■	■	■	■									
Ensayos de adhesivos																■	■							
Elaboración y corrección de borradores del trabajo final																		■	■	■	■			
Auditoría académica y defensa del trabajo																					■	■		
Empastado y presentación del trabajo final																						■	■	■

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

3.6 Análisis y discusión de resultados

El análisis de resultados de la fase experimental del proyecto se elabora en función de la información bibliográfica recogida, los gráficos que describen el comportamiento de la formulación actual durante el año 2018 en los tableros tipo II industriales de 4 mm de espesor y las formulaciones de adhesivos con resina Uraform P4565, con énfasis en la tercera formulación. La formulación piloto permite comprobar que existe la acción de pegado de la resina Uraform P4565 y conocer los procedimientos de análisis ajustándolos de la mejor manera para la fase experimental de proyecto.

3.6.1 Formulación actual

La formulación actual del adhesivo con CR-600 en términos de viscosidad cinemática obtenida con la copa Zahn #4 se ha determinado desde el año 2017, actualmente la empresa posee un rango de viscosidad que debe cumplir a cabalidad para el éxito del proceso productivo, este rango es de 12,58 St a 14,06 St con un tiempo de caída de 90 s a 100 s. Para tener una noción de la variación de la viscosidad de la empresa se realiza el gráfico 1-3, el cual muestra sólo el control durante el año 2018 debido a que sus valores son más estables que en sus inicios. Es importante considerar que la viscosidad promedio en este año es de 12.901 St con una desviación estándar de 0.198.

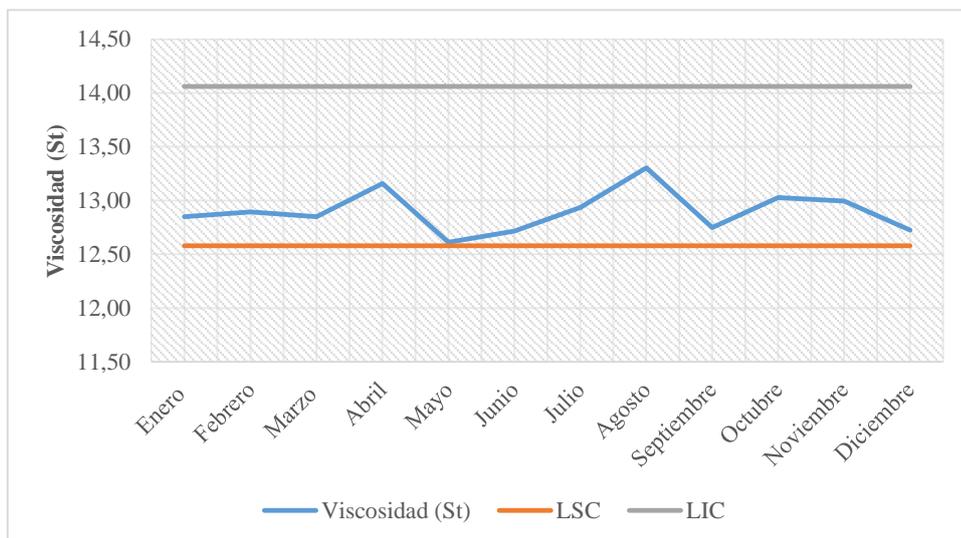


Gráfico 1-3: Variación de viscosidad del adhesivo CR-600 del año 2018.

Fuente: (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Para asegurar los valores de viscosidad del adhesivo actual se hizo el análisis de viscosidad dinámica Brookfield RV, Anexos K, los cuales muestran que a 25 °C posee una viscosidad de

29600 cPs, 30000 cPs y 30800 cPs. Al ver una variación en la toma de lecturas se decide la determinación en reómetro MCR 102, Anexo L, obteniendo un valor de 3.2904 P a 25.35 °C. El esparcimiento de la formulación CR-600 es de 214.426 g/m² y no cumple con el rango de referencia dado por la empresa fabricante (180 g/m² a 200 g/m²) (Akzonobel, 2015, p. 1).

A pesar de que el esparcimiento sobrepasa las recomendaciones, la calidad de los productos no se ha visto afectada.

El gráfico 2-3 explica que a una temperatura de baño maría de 90 °C el tiempo de gel es de 99.667 s con una temperatura de adhesivo de 51 °C. La temperatura máxima de reacción es de 52.8 °C a los 150 s, posteriormente desciende demostrando que la reacción de la resina con el catalizador ha terminado para dar paso al curado según explica Pizzi (2003, pp. 2-9).

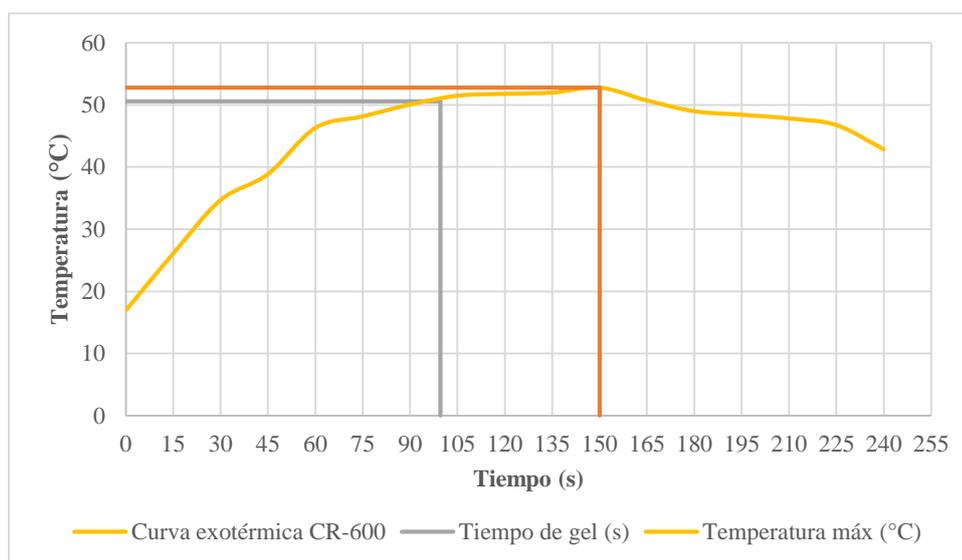


Gráfico 2-3: Curva exotérmica del comportamiento del adhesivo con resina CR-600 a 90 °C.

Fuente: (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Los valores de pH y densidad del adhesivo actual son 5.77 y 1.145 g/ml respectivamente, estos resultados servirán para la posterior comparación con la formulación óptima.

En el ensayo de tres ciclos de pegado, todas las piezas aprobaron el primer ciclo durante el año 2018, debido a que la delaminación es nula y por lo tanto no supera el 5 % permisible según normativa NTE INEN 2 363 (2005, pp. 4-11). Por otro lado, el tercer ciclo tiene una media de 5.833 % de delaminación, con una desviación estándar de 5.149, el cual no supera al 15 % de delaminación permisible por la norma ecuatoriana. A pesar de que la delaminación no se presenta

más que en una pieza por muestra, aún existen pequeñas fallas en el pegado que pueden ser corregidas. El gráfico 3-3 muestra la variación explicada del tercer ciclo.

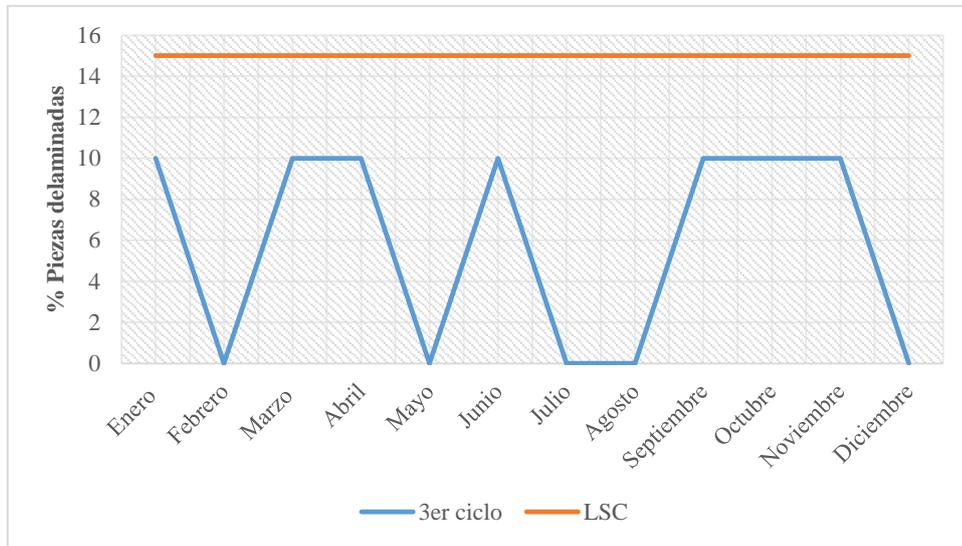


Gráfico 3-3: Variación del porcentaje de delaminación del 3er ciclo en el año 2018.

Fuente: (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

La media de emisiones de formaldehído es de 0.312 mg/L, con una desviación estándar de 0.039, como se muestra en el gráfico 4-3 esta no supera el 0.7 mg/L de la normativa NTE INEN 900 ENMIENDA 2 (2017, p. 2).

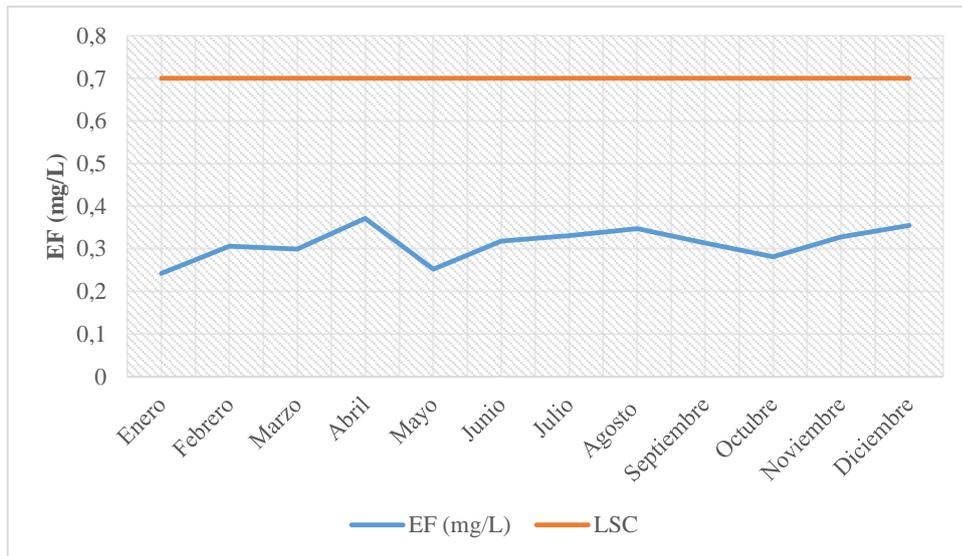


Gráfico 4-3: Variación de emisiones de formaldehído durante el año 2018.

Fuente: (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

La media del contenido de humedad de los tableros es de 11.5 %, con una desviación estándar de 0.674, valor que se encuentra dentro del rango permisible por normativa ecuatoriana 6% al 15 %. (NTE INEN 900, 2003, p. 5)

El contenido de humedad de las piezas se ilustra en el gráfico 5-3.

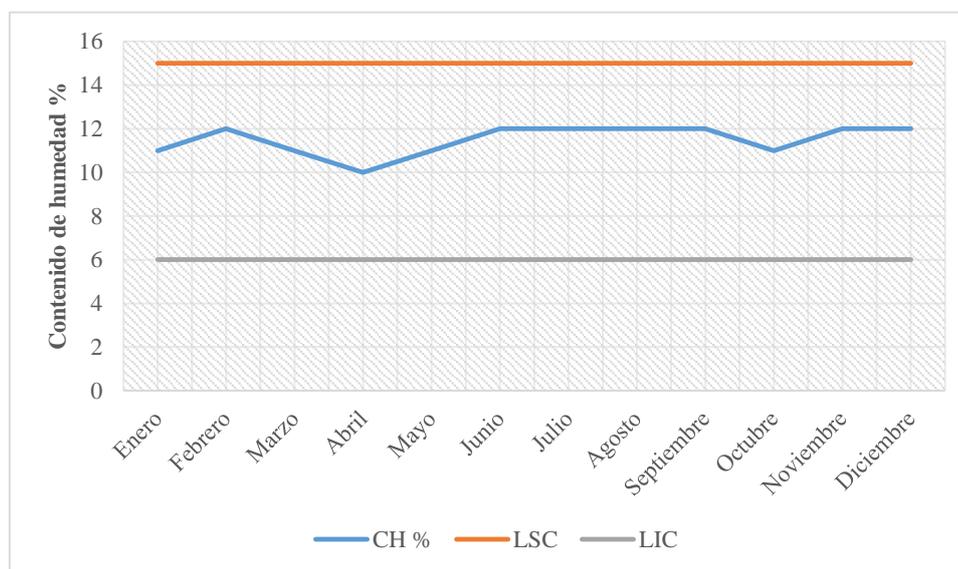


Gráfico 5-3: Variación del contenido de humedad durante el año 2018.

Fuente: (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

Aunque los resultados actuales en términos de calidad son buenos, con este proyecto se quiere mejorar la calidad del pegado de los tableros cambiando la formulación y presentación de la resina úrea-formaldehído para la elaboración del adhesivo.

3.6.2 Primera formulación

Esta formulación tiene la finalidad de alcanzar la viscosidad actual del adhesivo tomando en cuenta el porcentaje de sólidos y complementando con una mayor cantidad de agua.

A pesar de que la cantidad de agua es mayor con respecto a la formulación actual, la viscosidad del adhesivo con resina Uraform P4565 no disminuye lo necesario para entrar al rango requerido (12.58 St a 14.06 St), pues la media de la viscosidad de esta formulación es de 22.397 St con una desviación estándar de 0.229. Su esparcimiento en una relación inversamente proporcional es de 196.766 g/m² el cual entra en el rango recomendado por el fabricante (190 g/m² a 230 g/m²) Caribbean Petrochemical Manufacturing Limited (2010, p. 1), pero es muy bajo para los estándares de la empresa (214.426 g/m²), calificando al esparcimiento como malo o incorrecto.

En el ensayo de los tres ciclos de pegado todas las muestras fueron inconformes por su incumpliendo a la normativa NTE INEN 900 (2003, p. 5). Este comportamiento se debe al deficiente esparcimiento del adhesivo (196.766 g/m^2) y esto a su vez a la alta viscosidad de la formulación (22.397 St). Además al hacer un control sobre la ubicación de las muestras en el tablero se nota claramente que las piezas delaminadas provienen de los extremos de los tableros dando congruencia a la falta de esparcimiento que se acentúa en los bordes del intermedio. (Gutiérrez, 2015, pp. 3-25)

Las emisiones de formaldehído de los tableros se mantienen cercanas a los estándares de la empresa (0.312 mg/L) con una media de 0.309 mg/L y una desviación estándar de $0,00436$. Estos resultados se dan como consecuencia de la alta viscosidad por falta de agua y por ende de humedad, la cual afecta a la penetración del adhesivo en las fibras de la madera creando una capa de adhesivo de mayor espesor en el tablero que facilita las emisiones de formaldehído. (Dunky, 2003, pp. 7-43)

El contenido de humedad se mantiene en un 11.667% con una desviación estándar de 0.557 .

3.6.3 Segunda formulación

En la segunda formulación se cambian los porcentajes de los componentes con el objetivo de alcanzar la viscosidad deseada, para ello se eleva considerablemente la cantidad de agua con respecto a la formulación anterior, disminuyendo de forma equitativa la cantidad de resina, harina y catalizador, para no afectar las cualidades de pegado del adhesivo.

La viscosidad del adhesivo tiene una media de 11.618 St con una desviación estándar de 0.105 , este resultado es muy alentador pues a pesar de que no se encuentra en el rango deseado ($12,58 \text{ St}$ a $14,06 \text{ St}$), se logra disminuir la viscosidad considerablemente.

Como consecuencia de esta baja viscosidad el esparcimiento en una relación inversamente proporcional se eleva a 217.359 g/m^2 permitiendo que el adhesivo pueda esparcirse uniformemente, además este valor se acerca al esparcimiento estándar de la empresa (214.426 g/m^2).

Los ensayos de tres ciclos arrojaron resultados muy buenos, con muestras conformes con la normativa NTE INEN 900 (2003, p. 5). Esto se da como consecuencia de una viscosidad baja, pues el esparcimiento de adhesivo por m^2 de tablero es mayor. La única pieza delaminada de los

tableros de esta formulación se identificó como una de los extremos lo cual es comprensible ya que en los extremos es donde normalmente se tiene menor peso al momento del prensado dificultando que el adhesivo penetre las fibras de la madera como lo hace en el centro del tablero. Las emisiones de formaldehído se elevan con respecto al estándar de la empresa (0.312 mg/L) con una media de 0.375 mg/L y una desviación estándar de 0,0127. Esto se debe a lo explicado por Ringena y otros autores en su artículo científico sobre la degradación hidrolítica. Este fenómeno se da cuando existe una gran cantidad de agua que remplaza a la resina, normalmente la condensación de las especies hidroximetil-úrea produce especies polimerizadas y desprende moléculas de agua, al existir un exceso de humedad se produce una reacción inversa con hidrólisis y desprendimiento de formaldehído que eleva los niveles de emisión de la segunda formulación. (Ringena et al., 2006, pp. 1-2)

El contenido de humedad se mantiene en un 11.667 % con una desviación estándar de 0.557.

3.6.4 Tercera formulación

La tercera formulación se determina eligiendo un punto medio entre las formulaciones anteriores, con tendencia a la segunda formulación.

La viscosidad cinemática del adhesivo preparado tiene una media de 12.925 St con una desviación estándar de 0.226, resultado que entra en el rango establecido por la empresa (12.58 St a 14.06 St). El control de la variable más determinante de la experimentación, la viscosidad, se logra disminuyendo sutilmente la cantidad de agua con respecto a la formulación anterior, aumentando la cantidad de resina para reforzar el pegado y procurando que la harina no tenga un porcentaje mayor al de la resina a pesar de que también tiene propiedades adhesivas. Esta viscosidad cumple con lo indicado por Dunky (2003, pp. 7-43), pues al tener una viscosidad adecuada la resina puede penetrar la madera formando una línea del espesor adecuado y humectar la superficie opuesta en la que no se aplicó el adhesivo asegurando la unión del tablero.

Como respaldo a los valores de viscosidad cinemática, se realizan análisis de viscosidad dinámica Brookfield, Anexo M, los cuales nos dicen que a 25 °C el adhesivo Uraform P4565 posee una viscosidad de 28700 cPs, 29000 cPs y 29800 cPs, al ver una variación muy marcada en la toma de lecturas se decide la determinación reológica, Anexo N, para eliminar la variabilidad usando a favor la geometría plana de la medición, obteniendo un valor de 3.0985 P a 25.22 °C. Estos valores son aproximados a los resultados de la formulación actual con una viscosidad dinámica de 29600 cPs, 30000 cPs y 30800 cPs a 25 °C y una reología de 3.2904 P a 25.35 °C.

El esparcimiento de la tercera formulación se califica como apropiado, pues tiene un valor de 214.016 g/m² que se aproxima al valor establecido por parte de la empresa Arboriente S.A. (214.426 g/m²), y entra en el rango recomendado por el fabricante (190 g/m² a 230 g/m²). (Caribbean Petrochemical Manufacturing Limited, 2010, p. 1).

El tiempo de gel del adhesivo es de 84.667 s a una temperatura de 46.805 °C, alcanzando una temperatura máxima de reacción de 56.6 °C a los 195 s de haber comenzado el ensayo en el baño maría a 90 °C. El gráfico 6-3 demuestra el avance progresivo de la temperatura en función del tiempo identificando el tiempo de gel y temperatura máxima de reacción del adhesivo con resina Uraform P4565.

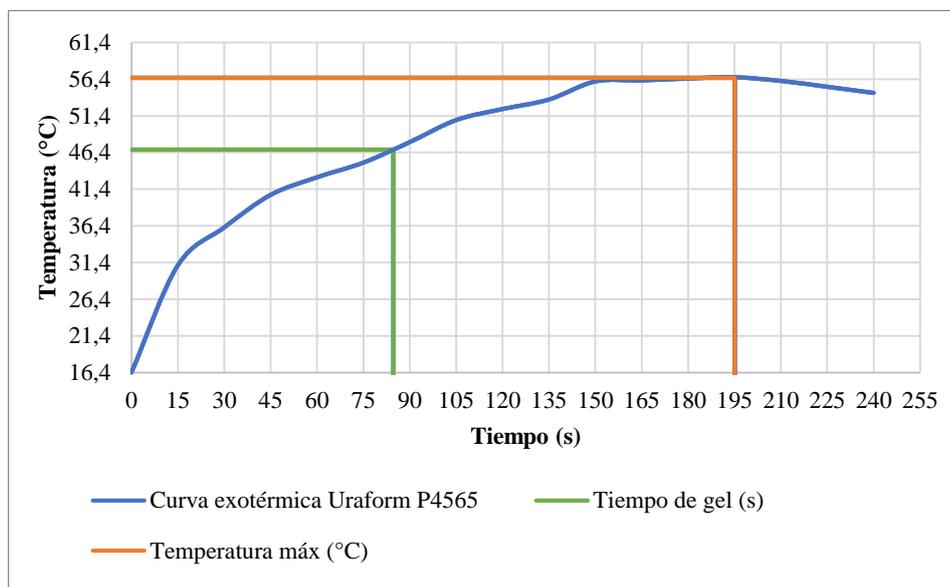


Gráfico 6-3: Curva exotérmica del comportamiento del adhesivo con tercera formulación Uraform P4565 a 90 °C.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

En comparación con el tiempo de gel de la resina actual (99.667 s), el adhesivo con Uraform P4565 tiene un valor más bajo (84.667 s), demostrando que es más reactivo y más conveniente para los tiempos de prensado. La reacción en ambos casos comienza a los 90 °C en el baño maría, por tal razón los tiempos de gel y curado, a los 104 °C de temperatura de prensado en la línea de producción habitual, son más bajos y las temperaturas máximas más altas.

El gráfico 7-3 compara las curvas exotérmicas y tiempos de gel de los adhesivos en cuestión.

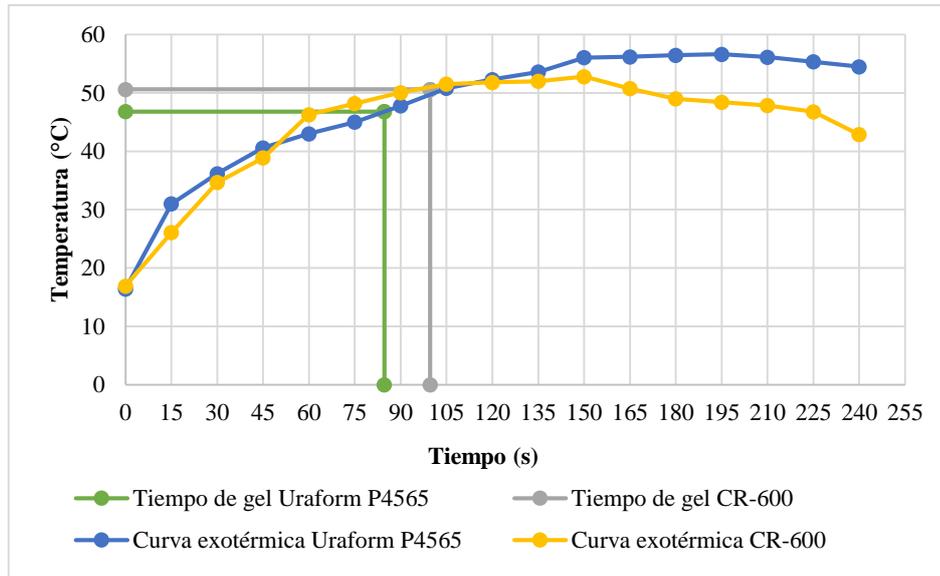


Gráfico 7-3: Comparación de las curvas exotérmicas y tiempos de gel de los adhesivos CR-600 y Uraform P4565 a 90 °C.

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

El pH del adhesivo de tercera formulación es aproximado al de la formulación actual (5.77 a 20 °C) con un valor de 5.73 a 20 °C. Los potenciales de hidrogeniones poseen un valor ligeramente ácido lo cual es congruente con Pizzi (2003, pp. 2-9), pues este autor explica que en un pH de estas características se detiene la construcción y oportunamente el curado del polímero UF, permaneciendo en estado inactivo hasta que la temperatura inicie la reacción con el catalizador y de paso al curado de la resina.

Con respecto a la densidad se puede hacer un pequeño análisis relacionándolo con la viscosidad y el esparcimiento, para ello hay que tener en cuenta que la densidad, la viscosidad y el esparcimiento tienen una relación inversamente proporcional unas con otras, de acuerdo a esto se puede comparar los valores de la formulación actual y la tercera formulación para comprobar este razonamiento.

La densidad del adhesivo de la formulación actual (1.145 g/ml), al ser un poco más denso que el adhesivo Uraform P4565 (1.127 g/ml), posee una viscosidad en relación inversamente proporcional más baja que la viscosidad del adhesivo de tercera formulación (12.925 St), lo cual es cierto pues la viscosidad del adhesivo actual es de 12.901 St. Así mismo, la viscosidad de la formulación actual (12.901 St) en una relación inversamente proporcional al tener un valor más bajo que el de la tercera formulación (12.925 St) debe tener un esparcimiento algo mayor al esparcimiento de la tercera formulación (214.016 g/m²) y así es con 214.426 g/m². Esto nos

demuestra que mientras más densos son los adhesivos menor es su viscosidad y por ende mayor esparcimiento en el tablero.

Los ensayos de calidad de los tableros con tercera formulación fueron satisfactorios. En el ensayo de los tres ciclos todas las muestras son conformes aprobando la normativa INEN 900 con un 0 % de delaminación y superando los estándares internos de la empresa (10 % de delaminación en el 3^{er} ciclo). Esto se debe a que la viscosidad y esparcimiento del adhesivo son muy parecidos a los actuales asegurando su uniformidad en todas partes del tablero. Estos resultados corroboran lo dicho por Maragaño (2005, pp. 4-5), quien en su estudio explica que el gramaje o esparcimiento afecta directamente la resistencia de las uniones madera-adhesivo-madera.

Las emisiones de formaldehído de la tercera formulación tienen una media de 0.225 mg/L con una desviación estándar de 0.016, resultado que es bajo en comparación con el valor de la formulación actual (0.312 mg/L). Esto se da como consecuencia de que se utiliza una menor cantidad de resina, y además, de que la resina en polvo Uraform P4565 es un insumo de nueva generación enfocada a reducir las emisiones de formaldehído mediante su obtención con mayor cantidad de úrea como secuestrante. (Caribbean Petrochemical Manufacturing Limited, 2017, p. 2)

La humedad de esta formulación se mantiene en 11.667 % con una desviación estándar de 0.557, muy cercana a la formulación actual (11.5 %). Esto se debe a que a pesar de que la cantidad de agua de la formulación aumenta, la línea de producción en la prensa térmica es la misma, es decir, todos los tableros de 4 mm de espesor se exponen a una temperatura de 104 °C, de esta manera, independientemente de la humedad que tengan los tableros recién encolados después de la prensa térmica salen con resultados aproximados de contenido de humedad.

En la siguiente tabla se puede apreciar una matriz comparativa de la formulación actual y la nueva formulación en los parámetros de calidad de adhesivo, tableros y costos de producción:

Tabla 42-3: Resumen comparativo de resultados de los adhesivos con resina CR-600 y Uraform P4565.

Tableros tipo II industrial de 4 mm de espesor	Resultados análisis del adhesivo ¹						Resultados análisis de calidad de los tableros ²					Costos de producción	
	Viscosidad		E (g/m ²)	tg (s)	Ph	ρ (g/ml)	TC (%) Delaminación			EF (mg/L)	H (%)	Por m ³ (\$)	Por año (\$)
	v (St)	μ (P)					1 ^{er} ciclo	2 ^o ciclo	Muestra				
Rangos permisibles	12,58 - 14,06	-	-	-	-	-	1 ^{er} ciclo	<5	Muestra conforme	<0,7	<15	-	-
							3 ^{er} ciclo	<15					
Adhesivo con resina Uraform P4565 polvo	12.925	3.0985	214.016	84.667	5.73	1.127	1 ^{er} ciclo	0	Muestra conforme	0.225	12	534,81	1.198.638,38
							3 ^{er} ciclo	0					
Adhesivo con resina CR-600 líquida	12.901	3.2904	214.426	99.667	5.77	1.145	1 ^{er} ciclo	0	Muestra conforme	0.312	12	544,00	1.219.234,40
							3 ^{er} ciclo	10					

Realizado por: Gabriela Miranda, 2019

¹ Resultados comparados con estándares internos de la empresa.

² Resultados comparados con normativa INEN 900:2003 incluyendo enmienda 2:2017

La tercera formulación de adhesivo con resina UF Uraform P4565 en polvo se califica como óptima, debido a que en los análisis de calidad de tableros aprueba y supera los estándares internos de la empresa, normativas nacionales (INEN) e internacionales (ICONTEC). Además, en las pruebas del adhesivo se muestra claramente la semejanza que tiene con la formulación actual permitiendo que la línea de producción en sí no sea alterada más que en la adición de la resina en polvo. Finalmente, en el análisis comparativo de costos evidencia que es un proyecto viable y conveniente para la empresa Arboriente S.A

CONCLUSIONES

- ✓ La calidad de los tableros elaborados con adhesivo de resina UF Uraform P4565 en polvo, mejoró en términos de porcentaje de delaminación y emisión de formaldehído.
- ✓ La formulación óptima de la resina UF en polvo posee una viscosidad de 12.925 St que entra en el rango estándar interno de la empresa (12,58 St - 14,06 St).
- ✓ En el ensayo de los tres ciclos todas las muestras aprueban la normativa NTE INEN 900 con un 0 % de delaminación y superando los estándares internos de la empresa (10 % de delaminación en el 3^{er} ciclo).
- ✓ Las emisiones de formaldehído de la nueva formulación son menores a las de la actual formulación, con valores de 0.225 mg/L y 0.312 mg/L respectivamente.
- ✓ Los resultados obtenidos en los análisis de calidad de tableros con nueva formulación, cumplen las normativas con las que actualmente se rige la empresa Arboriente S.A (normativa ecuatoriana NTE INEN 900 y normativa colombiana NTC 698:).
- ✓ El tiempo de gel del adhesivo con formulación Uraform P4565 en polvo es 84.667 s a 90 °C y es menor en comparación con la formulación actual (99.667 s a 90 °C).
- ✓ La resina Uraform P4565 ahorraría a la empresa un estimado de \$20596.02 en costo total de producción anual de tablero tipo II industrial de 4 mm de espesor.

RECOMENDACIONES

- ✓ Analizar el tiempo de gel y la influencia en los tiempos de prensado y tiempos de producción.
- ✓ Estudiar la adición de úrea a la formulación obtenida para disminuir aún más las emisiones de formaldehído.
- ✓ Las condiciones de elaboración de tableros contrachapados deben ser controladas desde el inicio de la experimentación.
- ✓ Planificar detalladamente la experimentación para disminuir el tiempo de ejecución.

BIBLIOGRAFÍA

Akzonobel. *Información de Producto Resina CR-600.* 9ª ed. Quito: Interquimec S.A, 2015, p. 1.

Alibaba. UF-Resin.[en línea]. Varios países. 2017. [Consulta: 1 diciembre 2018]. Disponible en: www.spanish.alibaba.com/g/uf-resin-powder.html.

ANSI-HPVA HP-1, 2009. *Plywood End Panel.*

Arboriente S.A. *Corte de Tablero 4mm.* 2ª ed. Puyo: 2018, p. 1.

Arboriente S.A. *Determinación de Humedad de los Tableros.* 2ª ed. Puyo: 2017, pp. 6–11.

Arboriente S.A. *Instrucción de Trabajo Ensayo Tres Ciclos de Pegado.* 2ª ed. Puyo: 2017, pp. 7-12

Arboriente S.A. *Procedimiento Ensayo Emisión de Formaldehído por el Método del Desecador.* 2ª ed. Puyo: 2017, pp. 1-15.

Arenas, I. & López, J. *Espectrofotometría de absorción* [en línea] (Tesis). (Maestría) Universidad Autónoma de México, Cuernavaca, México. 2004. p. 1. [Consulta: 1 diciembre 2018]. Disponible en:

http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/met/espectrometria_de_absorcion.pdf

Aróstegui, A. & Acevedo, M. "Evaluación de las Propiedades Físico-Mecánicas y Usos Probables de las Maderas de 20 Especies". *Revista Forestal del Perú* [en línea], 2011, (Perú), 5 (2), pp. 6–8. [Consulta: 1 diciembre 2018]. ISSN 2523-1855. Disponible en:

[http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol05_no1-2_Ene71-Dic74_\(08\)/vol5_art1.pdf](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol05_no1-2_Ene71-Dic74_(08)/vol5_art1.pdf).

Asociación Ecuatoriana de Industriales de la Madera. *Cifras de Comercio Exterior de Productos del Sector de la Transformación de la Madera 2015* [en línea]. Ecuador: 2016. [Consulta: 1 diciembre 2018]. Disponible en:

<http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2016/11/CIFRAS-DE-COMERCIO-EXTERIOR-DE-LOS-PRODUCTOS-DEL-SECTOR-DE-LA-TRANSFORMACIÓN-DE-LA-MADERA.pdf>.

ASTM D 2471, 2000. *Gel Time and Peak Exothermic Temperature of Reacting Thermosetting Resins.*

ASTM D 4212, 1993. *Unidades de Viscosidad, Conversión y Equivalencias.*

Aucapiña, D. *Estudio de la Influencia de la Resina Úrea Formaldehído y del Catalizador Cloruro de Amonio en la Fabricación de Tableros Contrachapados en la Empresa Enchapes Decorativos S.A.* [en línea] (Tesis). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2017. p. 10. [Consulta: 2018-12-01]. Disponible en:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6550/1/96T00381.pdf>.

Borde, M. *Uraform P4565 resin quotation* [en línea] . Point Lisas: 2019. [Consulta: 29 enero 2019]. Disponible en:
<https://outlook.live.com/mail/id/AQQkADAwATM3ZmYAZS1hODcwLWEyYzctMDACLTAwCgAQALfODHe4h9AYr2fEIFZjc8I%3D>

Cajas, M. *Análisis de la Ventaja Competitiva desde la Perspectiva Estratégica y Operativa del Sector Industrial de Madera Contrachapada Ecuatoriano del 2005 al 2012* [en línea] (Tesis). (Maestría) Universidad Politécnica Nacional. Facultad de Ciencias Administrativas. Quito-Ecuador. 2014. p. 31. [Consulta: 2018-12-01]. Disponible en:
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8904/3/CD-5964.pdf>.

Cardona, A. *Desarrollo de un Sistema Adhesivo Proteínico para la Fabricación de Tableros Aglomerados a Densidad Media* [en línea] (Tesis). (Maestría) Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín-Colombia. 2013. pp. 17-21. [Consulta: 2018-12-01]. Disponible en:
<https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1537/DESARROLLO%20DE%20UN%20SISTEMA%20ADHESIVO%20PROTE%20C3%28DNICO%20PARA%20LA%20FABRICACI%20C3%29N%20DE%20TABLEROS%20AGLOMERADOS%20DE%20DENSIDAD%20MEDIA.pdf?sequence=1>

Caribbean Petrochemical Manufacturing Limited. *Uraform P4565.* 1ª ed. Point Lisas-Trinidad y Tobago: 2010. p. 1.

Caribbean Petrochemical Manufacturing Limited. *Uraform P4565 Certificado de Análisis.* 1ª ed. Point Lisas-Trinidad y Tobago: Caribbean Petrochemical Manufacturing Limited, 2010. p. 2.

Caribbean Petrochemical Manufacturing Limited. *Uraform P4565 Guía de Aplicación*. 1ª ed. Point Lisas-Trinidad y Tobago: Caribbean Petrochemical Manufacturing Limited, 2010. p. 1.

Caribbean Petrochemical Manufacturing Limited. *Uraform P4565 Technical Data Sheet*. 1ª ed. Point Lisas-Trinidad y Tobago: Caribbean Petrochemical Manufacturing Limited, 2010. p. 1.

Carmona, R.; et al. "Influencia de la Densidad de la Madera en la Encolabilidad de *Pinus Radiata*". *Revista Ciencias Forestales* [en línea], 1998, (Chile) 12-13(1-2), pp. 55-63. [Consulta: 1 diciembre 2018]. ISSN 0379-3923. Disponible en:
http://revistacienciasforestales.uchile.cl/1997-1998_vol12-13/n1-2a6.pdf.

Confederación Peruana de la Madera. *Compendio de Información Técnica de 32 Especies Forestales* [en línea]. Lima-Perú: 2018. p. 20.[Consulta: 1 diciembre 2018]. Disponible en:
<http://www.infobosques.com/descargas/biblioteca/125.pdf>.

Córdoba, R. "Conceptos Básicos sobre el Secado de la Madera". *Kurú Revista Forestal* [en línea], 2005, (Costa Rica) 2(5), pp. 2–3.[Consulta: 1 diciembre 2018]. ISSN 2215-2504. Disponible en: <http://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/546/472>.

Crúz, Ó. *Tableros contrachapados* [en línea]. México: 2017, p. 24. [Consulta: 1 diciembre 2018]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/154797629.pdf>.

Dunky, M. "Adhesives in the Wood Industry". *ResearchGate* [en línea], 2003, (New York), pp. 7–43. [Consulta: 1 diciembre 2018]. DOI: 10.1201/9780203912225.ch47. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/266866378_Adhesives_in_the_Wood_Industry

Estévez, P. *Desarrollo, Caracterización y Optimización de Resinas Base Úrea-Formol (UF), como Adhesivos para Tableros Aglomerados con Baja Emisión de Formaldehído* [en línea] (tesis). (Doctorado) Universidad de Burgos, Departamento de Química, Burgos, España. 2012. pp. 20-27. [Consulta: 2018-12-01]. Disponible en:
http://riubu.ubu.es/bitstream/10259/196/2/Estévez_Bolívar.pdf.

Geodatos. *Coordenadas geográficas de Puyo, Pastaza, Ecuador* [en línea]. Puyo-Ecuador: Geodatos, 2018. [Consulta: 1 agosto 2018]. Disponible en:
www.geodatos.net/coordenadas/ecuador/pastaza/puyo.

Gordin, S.; et al. "Gel Time and Temperature for Two Thermosetting Resins". *Asee Peer* [en línea], 2004, (Estados Unidos), p. 2. [Consulta: 1 diciembre 2018]. Disponible en: <https://peer.asee.org/gel-time-and-temperature-for-two-thermosetting-resins.pdf>.

Gutiérrez, M. *Informe de Arboriente S.A.* 2ª ed. Puyo- Ecuador: Interno, 2015, pp. 3-25.

ISO 12460-1, 2007. *Determination of Formaldehyde Release. The One Cubic Metre Chamber Method.*

ISO 12460-4, 2008. *Determination of Formaldehyde Release, Desiccator Method.*

ISO 12460-5, 2015. *Determination of Formaldehyde Release, Perforator Method.*

Jaramillo, J. *Aprovechamiento del Bagazo de Caña de Azúcar (Saccharum officinarum L.) en la Fabricación de Prototipos de Tableros Aglomerados en la Provincia de Pastaza* [en línea] (tesis). (Titulación) Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador. 2015. p. 26. [Consulta: 1 diciembre 2018]. Disponible en: https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/81/1/JARAMILLO_PONCE_JENNY_PAOLA.pdf.

Madrid, M. *Tecnología de la Adhesión* [en línea]. España: Universidad de Gran Canaria, 2017. p. 9 [Consulta: 1 diciembre 2018]. Disponible en: https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/7071/7071377/curso_de_adhesivos.pdf

Mahajan, S. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology* [en línea]. Portland- Estados Unidos: Pergamon, 2001. pp. 2-4. [Consulta: 1 diciembre 2018]. Disponible en: www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2001/conne01a.pdf.

Maragaño, L. *Tableros de Contrachapados de Eucalyptus nitens: Efecto de las Diferentes Dosificaciones de Adhesivo en las Propiedades Físico-Mecánicas* [en línea] (Tesis). (Titulación) Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 2005. pp. 4-5. [Consulta: 2018-12-01]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/fifm298t/doc/fifm298t.pdf>.

Merino, A. *Biblioteca Atrium de la Carpintería* [en línea]. Barcelona-España: Oceano-Centrum, 1993, pp. 40-97. [Consulta: 1 diciembre 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/89539807/Biblioteca-Atrium-de-la-Carpinteria-Vol-1>.

NTC 698, 2003. *Madera contrachapada.*

NTE INEN 2 363, 2005. *Tableros de Madera Contrachapada. Calidad de Pegado. Métodos de Ensayo.*

NTE INEN 900, 2003. *Tableros de Madera Contrachapada. Requisitos.*

NTE INEN 900 ENMIENDA 2, 2017. *Tableros de Madera Contrachapada. Requisitos.*

Peralta, N. *La Industria Maderera Nacional, Incidencia Tributaria en su Proceso Productivo y de Comercialización hasta el año 2009* [en línea] (Tesis). (Maestría) Universidad Andina Simón Bolívar Sede Ecuador, Ecuador. 2009. p. 18. [Consulta: 1 diciembre 2018]. Disponible en: <http://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/2695>

Pizzi, A. "Urea-Formaldehyde Adhesives". *ResearchGate* [en línea], 2003, (New York), pp. 2–9. [Consulta: 1 diciembre 2018]. DOI: 10.1201/9780203912225.ch31. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/266266974_Urea-Formaldehyde_Adhesives

Ringena, O. et al. "Estimating the Hydrolytic Durability of Cured Wood Adhesives by Measuring Formaldehyde Liberation and Structural Stability" *Springer-Verlag* [en línea], 2006, (Suiza) 64(321) pp. 1–2. [Consulta: 1 diciembre 2018]. ISSN 0018-3768. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00107-005-0087-3>

Solís, V. *Estudio del Efecto de la Humedad de las Chapas de Sande (Brosimum utile) y Pachaco (Schizolobium parahybum) sobre la Calidad del Pegado y el Contenido de Formaldehído Libre en Tableros Contachapados en la Empresa Enchapes Decorativos S.A.* [en línea] (Tesis). (Titulación) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2013. pp. 4-16. [Consulta: 1 diciembre 2018]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6693?mode=full>.

Vallejos, S. *Estudio de la Reducción de Emisión de Formaldehído en las Resinas de Úrea Formaldehído* [en línea] (Tesis). (Maestría) Universidad de Burgos, Burgos, España, 2010. pp. 5-7. [Consulta: 1 diciembre 2018]. Disponible en: http://riubu.ubu.es/bitstream/10259.1/97/2/Vallejos_Calzada.pdf

Vignote, S. & Martínez, I. *Tecnología de la Madera.* 3ª ed. Madrid-España: Mundi-Prensa, 2006, pp. 241–245. [Consulta: 1 diciembre 2018]. Disponible en: <https://tecno1di.files.wordpress.com/2016/03/madera.pdf>.

Villamil, J. *Manual de mantenimiento para equipo de laboratorio* [en línea]. Washington D.C.- Estados Unidos: Organización Panamericana de la Salud, 2005. p. 149 [Consulta: 1 diciembre 2018]. Disponible en:

http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/libros/LAB_manual-mantenimiento.pdf

Zavala, D. y Acevedo, R. "Transferencia de Calor y su Efecto en el Proceso de Prensado de Tableros Contrachapados". *Revista Chapingo* [en línea], 2004, (México) pp. 44. [Consulta: 1 diciembre 2018]. ISSN 2007-4018. Disponible en:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62910107>.

