

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Facultad de Ciencias Forestales



**“RESISTENCIA A LA LINEA DE COLA DE LOS TABLEROS
CONTRACHAPADOS DE CAPINURI (*Maquira coriacea*) Y
OJE RENACO (*Ficus schultesii*) UTILIZANDO TRES
FORMULACIONES DE COLA Y HARINA DE YUCA COMO
EXTENDEDOR”**

Tesis para optar el Título de

INGENIERO FORESTAL

Yasminka Deyanira Juros Mendoza

Lima – Perú

2009

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por la ex-alumna de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. YASMINKA DEYANIRA JUROS MENDOZA, intitulado “RESISTENCIA A LA LÍNEA DE COLA DE LOS TABLEROS CONTRACHAPADOS DE CAPINURÍ (?)”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de

En consecuencia queda en condición de ser considerada APTA y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 22 de Diciembre de 2009

.....
Ing. Moisés Acevedo Mallque
Presidente

.....
Ing. Julio Canchucaya Rojas
Miembro

.....
Ing. José Carlos Cano Delgado
Miembro

.....
Ing. Leonidas Miguel Castro
Patrocinador

.....

RESUMEN

Se evaluó la resistencia a la humedad y la resistencia de la línea de cola al esfuerzo de tracción paralela al grano de los tableros contrachapados de capinurí y de oje renaco elaborados en base a tres formulaciones de cola: (1) formulación industrial MAILSAC, (2) formulación industrial GEA y (3) formulación básica VENCEDOR.

En la formulación industrial MAILSAC y formulación industrial GEA el extendedor harina de trigo fue reemplazado por harina de yuca bajo los siguientes tratamientos: (T1) 100% harina de yuca, (T2) 75% harina de yuca: 25% harina de trigo y (T3) 50% harina de yuca: 50% harina de trigo. En la formulación básica VENCEDOR se mantuvo constante el peso de los componentes de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante e la resina urea formaldehído y fue llamado tratamiento testigo (T4) 100% harina de trigo.

Los tableros contrachapados de capinurí y de oje renaco elaborados en base a formulación básica VENCEDOR presentaron la mayor calificación promedio en el ensayo físico.

Como resultado del ensayo mecánico se determinó que los tableros contrachapados de capinurí elaborados en base a formulación industrial MAILSAC y formulación básica VENCEDOR no presentan diferencias.

En el ensayo mecánico de tableros contrachapados de oje renaco elaborados en base a formulación industrial GEA y formulación básica VENCEDOR se encontraron diferencias obteniéndose un mayor valor promedio de resistencia de la línea de cola al esfuerzo de tracción paralela al grano cuando se aplicó el tratamiento T3 (50% harina de yuca: 50% harina de trigo) por lo que se recomienda la utilización de dicho tratamiento.

ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN.....	V
ÍNDICE.....	VI
LISTA DE CUADROS.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1 TABLEROS CONTRACHAPADOS	2
2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS.....	3
2.2.1 <i>Maquira coriacea</i> (Karsten) C. C. Berg.....	3
2.2.2 <i>Ficus schultesii</i> Dugand.....	3
2.2.3 <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.....	4
2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA YUCA COMO ADHESIVO	6
2.4 ADHESIVOS.....	6
2.4.1 Caracterización de los adhesivos	7
2.5 ADHESIÓN	8
2.5.1 Adhesión y cohesión: modos de fallo	8
2.5.2 Mecanismos fundamentales de la adhesión.....	11
2.5.3 Condiciones generales para una buena adhesión	13
2.6 PROPIEDADES SUPERFICIALES DE LA MADERA Y SU INFLUENCIA SOBRE EL ENCOLADO	13
2.7 TECNOLOGÍA EN LA FABRICACIÓN DE TABLEROS CONTRACHAPADOS.....	14
2.7.1 Los adhesivos en la industria de los tableros contrachapados.....	14
2.7.2 Encolado	17
2.7.3 Factores que influyen en el encolado.....	19
2.7.4 Conformación de los tableros contrachapados.....	21
2.7.5 Evaluación de tableros contrachapados	22
3. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN	24
3.1.1 Fase de campo.....	24
3.1.2 Fase de laboratorio.....	24
3.2 MATERIA PRIMA E INSUMOS	24
3.3 MATERIALES Y EQUIPOS	28
3.3.1 Materiales.....	28
3.3.2 Equipos	29
3.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	30
3.4.1 Obtención de la harina de yuca.....	30
3.4.2 Determinación del rendimiento de la harina de yuca.....	30
3.4.3 Análisis químico de la harina.....	32
3.4.4 Formulación de las mezclas encolantes.....	34
3.4.5 Ensayo del control de calidad de la resina Vence UF-603	36
3.4.6 Ensayo del control de calidad de la mezcla encolante.....	37
3.4.7 Preparación de los tableros.....	38
3.4.8 Ensayo del control de calidad de los tableros.....	42
3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	44
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46

4.1	RENDIMIENTO DE LA HARINA DE YUCA	46
4.2	CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS HARINAS	46
4.3	EVALUACIÓN DE LAS MEZCLAS ENCOLANTES	47
4.3.1	<i>Viscosidad y pH de las mezclas encolantes utilizando formulación industrial MAILSAC y formulación básica VENCEDOR</i>	47
4.3.2	<i>Viscosidad y pH de las mezclas encolantes utilizando formulación industrial GEA y formulación básica VENCEDOR</i>	50
4.4	EVALUACIÓN DE LOS TABLEROS	54
4.4.1	<i>Ensayo físico</i>	54
4.4.2	<i>Ensayo mecánico</i>	58
5.	CONCLUSIONES	62
6.	RECOMENDACIONES	63
	BIBLIOGRAFÍA	64
	ANEXO 1	68
	NORMA TÉCNICA PERUANA 205.037 HARINAS. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	68
	ANEXO 2	71
	NORMA TÉCNICA PERUANA 205.038 HARINAS. DETERMINACIÓN DE CENIZAS	71
	ANEXO 3	75
	A. VALORES OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LAS HARINAS DE YUCA Y TRIGO	75
	B. VALORES OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CENIZAS EN LAS HARINAS DE YUCA Y TRIGO	76
	C. MEDICIONES DE pH REGISTRADAS PARA LAS HARINAS DE YUCA Y TRIGO	77
	ANEXO 4	78
	NORMA ASTM D 1084-97 STANDARD TEST METHODS FOR VISCOSITY OF ADHESIVES	78
	ANEXO 5	84
	A. VALORES DE LAS LECTURAS DEL VISCOSÍMETRO (DEFLEXIÓN) EN EL ENSAYO DE LAS MEZCLAS ENCOLANTES EN BASE A FORMULACIÓN INDUSTRIAL MAILSAC SEGÚN TRATAMIENTO	84
	B. VALORES DE LAS LECTURAS DEL VISCOSÍMETRO (DEFLEXIÓN) EN EL ENSAYO DE LAS MEZCLAS ENCOLANTES EN BASE A FORMULACIÓN INDUSTRIAL GEA SEGÚN TRATAMIENTO	85
	C. VALORES DE LAS LECTURAS DEL VISCOSÍMETRO (DEFLEXIÓN) EN EL ENSAYO DE LA MEZCLA ENCOLANTE EN BASE A FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR SEGÚN TRATAMIENTO	86
	ANEXO 6	87
	NORMA ASTM E 70-97 STANDARD TEST METHOD FOR pH OF AQUEOUS SOLUTIONS WITH THE GLASS ELECTRODE	87
	ANEXO 7	94
	NORMA TÉCNICA PERUANA 251.042 TABLEROS DE MADERA CONTRACHAPADOS. ENSAYO DE ENCOLADO. ENSAYO FÍSICO	94
	ANEXO 8	100
	ESCALA DE CALIDAD DE LIGADURAS EN LA LÍNEA DE COLA SEGÚN LA NORMA TÉCNICA PERUANA 251.042	100
	ANEXO 9	101
	NORMA ASTM D 906-98 STANDARD TEST METHOD FOR STRENGTH PROPERTIES OF ADHESIVES IN PLYWOOD TYPE CONSTRUCTION IN SHEAR BY TENSION LOADING	101
	ANEXO 10	106
	PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS PARA LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE LOS TABLEROS DE CAPINURÍ SEGÚN TRATAMIENTO Y FORMULACIÓN ENSAYADA	106

ANEXO 11	107
PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS PARA LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE LOS TABLEROS DE OJÉ RENACO SEGÚN TRATAMIENTO Y FORMULACIÓN ENSAYADA	107
ANEXO 12	108
A. VALORES DEL ENSAYO FÍSICO DE LAS PROBETAS ELABORADAS DE CAPINURÍ UTILIZANDO FORMULACIÓN INDUSTRIAL MAILSAC (T1, T2 Y T3) Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR (T4)	108
B. VALORES DEL ENSAYO FÍSICO DE LAS PROBETAS ELABORADAS DE OJÉ RENACO UTILIZANDO FORMULACIÓN INDUSTRIAL GEA (T1, T2 Y T3) Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR (T4)	109
ANEXO 13	110
ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) DE LOS VALORES DEL ENSAYO DE RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE COLA AL ESFUERZO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO DE LOS TABLEROS DE CAPINURÍ SEGÚN TRATAMIENTO Y FORMULACIÓN ENSAYADA.....	110
ANEXO 14	111
ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) Y PRUEBA DE TUKEY DE LOS VALORES DEL ENSAYO DE RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE COLA AL ESFUERZO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO DE LOS TABLEROS DE OJÉ RENACO SEGÚN TRATAMIENTO Y FORMULACIÓN ENSAYADA	111
ANEXO 15	112
A. VALORES DEL ENSAYO MECÁNICO (KG/CM ²) DE LAS PROBETAS ELABORADAS DE CAPINURÍ UTILIZANDO FORMULACIÓN INDUSTRIAL MAILSAC (T1, T2 Y T3) Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR (T4).....	112
B. VALORES DEL ENSAYO MECÁNICO (KG/CM ²) DE LAS PROBETAS ELABORADAS DE OJÉ RENACO UTILIZANDO FORMULACIÓN INDUSTRIAL GEA (T1, T2 Y T3) Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR (T4).....	113

Lista de cuadros

	Página
CUADRO 1 VALORES DE RESISTENCIA A LA HUMEDAD Y A LA TRACCIÓN PARALELA AL GRANO DE TABLEROS CONTRACHAPADOS DE LUPUNA SEGÚN DISTINTAS FUENTES	23
CUADRO 2 COMPONENTES EN LA FORMULACIÓN DE LAS MEZCLAS ENCOLANTES	38
CUADRO 3 ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS HARINAS DE YUCA Y TRIGO	47
CUADRO 4 VARIACIÓN DE LA VISCOSIDAD APARENTE (CP) Y pH EN EL TIEMPO DE LAS MEZCLAS ENCOLANTES SEGÚN TRATAMIENTO UTILIZANDO FORMULACIÓN INDUSTRIAL MAILSAC Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR.....	47
CUADRO 5 VARIACIÓN DE LA VISCOSIDAD APARENTE (CP) Y pH EN EL TIEMPO DE LAS MEZCLAS ENCOLANTES SEGÚN TRATAMIENTO UTILIZANDO FORMULACIÓN INDUSTRIAL GEA Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR.....	51
CUADRO 6 VALORES PROMEDIO DEL ENSAYO FÍSICO DE LOS TABLEROS DE CAPINURÍ UTILIZANDO FORMULACIÓN INDUSTRIAL MAILSAC (T1, T2 Y T3) Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR (T4).....	54
CUADRO 7 VALORES PROMEDIO DEL ENSAYO FÍSICO DE LOS TABLEROS DE OJÉ RENACO UTILIZANDO FORMULACIÓN INDUSTRIAL GEA (T1, T2 Y T3) Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR (T4)	56
CUADRO 8 VALORES PROMEDIO DE RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE COLA AL ESFUERZO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO (KG/CM ²) DE LOS TABLEROS DE CAPINURÍ UTILIZANDO FORMULACIÓN INDUSTRIAL MAILSAC (T1, T2 Y T3) Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR (T4).....	58
CUADRO 9 VALORES PROMEDIO DE RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE COLA AL ESFUERZO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO (KG/CM ²) DE LOS TABLEROS DE OJÉ RENACO UTILIZANDO FORMULACIÓN INDUSTRIAL GEA (T1, T2, Y T3) Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR (T4).....	60

Lista de figuras

	Página
FIGURA 1 <i>MAQUIRA CORIACEA</i> (KARSTEN) C. C. BERG.....	5
FIGURA 2 <i>FICUS SCHULTESII</i> DUGAND.....	5
FIGURA 3 <i>CEIBA PENTANDRA</i> (L.) GAERTN	6
FIGURA 4 FASES DE UNA UNIÓN ADHESIVA	9
FIGURA 5 SISTEMA SÓLIDO-LÍQUIDO-VAPOR EN EQUILIBRIO.....	9
FIGURA 6 ÁNGULOS DE CONTACTO Y MOJABILIDAD	10
FIGURA 7 MODOS DE FALLO DE LAS UNIONES ADHESIVAS	11
FIGURA 8 ÁREA DE COLECCIÓN DE LAS RAÍCES DE YUCA	25
FIGURA 9 DESHIERBE EN EL ÁREA DEL TERRENO DONDE SE ENCONTRABAN LAS RAÍCES DE YUCA.....	25
FIGURA 10 COSECHA DE LAS RAÍCES DE YUCA	26
FIGURA 11 RAÍCES DE YUCA YA COSECHADAS PARA SU POSTERIOR PESAJE.....	26
FIGURA 12 DIAGRAMA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA HARINA DE YUCA	31
FIGURA 13 PESADO DE LOS COMPONENTES PARA LA PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS ENCOLANTES	39
FIGURA 14 PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS ENCOLANTES.....	39
FIGURA 15 APLICACIÓN DE LA MEZCLA ENCOLANTE	40
FIGURA 16 EXTENDIDO DE LA MEZCLA ENCOLANTE.....	40
FIGURA 17 ENSAMBLADO DE LOS TABLEROS	41
FIGURA 18 DISTRIBUCIÓN DE LAS PROBETAS EN EL TABLERO.....	43
FIGURA 19 PRENSA Y PROBETA EN CONDICIONES DE ENSAYO.....	44
FIGURA 20 DIAGRAMA DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LOS TABLEROS CONTRACHAPADOS	45
FIGURA 21 RENDIMIENTOS EN LA ELABORACIÓN DE HARINA DE YUCA.....	46
FIGURA 22 VARIACIÓN DE LA VISCOSIDAD APARENTE (CP) EN EL TIEMPO DE LAS MEZCLAS ENCOLANTES SEGÚN TRATAMIENTO UTILIZANDO FORMULACIÓN INDUSTRIAL MAILSAC Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR	49
FIGURA 23 VARIACIÓN DEL pH EN EL TIEMPO DE LAS MEZCLAS ENCOLANTES SEGÚN TRATAMIENTO UTILIZANDO FORMULACIÓN INDUSTRIAL MAILSAC Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR	50
FIGURA 24 VARIACIÓN DE LA VISCOSIDAD APARENTE (CP) EN EL TIEMPO DE LAS MEZCLAS ENCOLANTES SEGÚN TRATAMIENTO UTILIZANDO FORMULACIÓN INDUSTRIAL GEA Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR	52
FIGURA 25 VARIACIÓN DEL pH EN EL TIEMPO DE LAS MEZCLAS ENCOLANTES SEGÚN TRATAMIENTO UTILIZANDO FORMULACIÓN INDUSTRIAL GEA Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR	53
FIGURA 26 CALIDAD DE LIGADURA 0 EN PROBETA DE ENSAYO FÍSICO DE CAPINURÍ	57
FIGURA 27 CALIDAD DE LIGADURA 0 EN PROBETA DE ENSAYO FÍSICO DE OJÉ RENACO	57

1. INTRODUCCIÓN

En el proceso de fabricación de tableros contrachapados, las operaciones de encolado, ensamblado y prensado son de importancia considerando que demuestran la eficiencia en producción y productividad de la empresa.

La resina más utilizada por las empresas peruanas dedicadas a la fabricación de tableros contrachapados es la urea formaldehído. Por sus características de fraguado rápido en presencia de calor, el fabricante pone a disposición del usuario instrucciones técnicas específicas para su correcta utilización desde su mezcla o formulación con los otros aditivos hasta su aplicación, y las condiciones de pre prensado y prensado de los tableros.

Se ha constatado que cada empresa tiende a modificar estas especificaciones de acuerdo a sus condiciones de trabajo. Tal es el caso de las proporciones de aditivos de la cola que son variados básicamente por una falta de control en el peso de estos. Esto se traduce generalmente en bajo rendimiento de cola por m³ de tablero, incremento de los costos de producción y en muchos casos se afecta la calidad del tablero.

En el presente trabajo de investigación se pretende determinar la resistencia de los tableros elaborados con láminas de capinurí (*Maquira coriacea*) y ojú renaco (*Ficus schultesii*) utilizando tres formulaciones de cola y harina de yuca como extendedor en reemplazo de la harina de trigo en diferentes proporciones.

Los resultados del presente estudio contribuirán a tener un mejor conocimiento de las características de los tableros contrachapados de capinurí y ojú renaco como propuesta a la búsqueda de otras especies en el mercado de contrachapados.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 TABLEROS CONTRACHAPADOS

Houwink y Salomon (1978) señalan que el tablero contrachapado es un conjunto de chapas de madera unidas con adhesivo de tal manera que sus cambios dimensionales debidos a las variaciones de humedad y de temperatura son mínimos en el producto ya terminado.

Para García Esteban *et al* (2002) el tablero contrachapado se construye en base a la superposición de chapas encoladas dispuestas ortogonalmente en capas sucesivas, quedando así definido por la especie o especies que lo integran, la calidad de las chapas y el tipo de encolado.

El Instituto Nacional de Recursos Naturales (2005) señala las siguientes especies más utilizadas en la industria de tableros contrachapados en el Perú: lupuna (*Chorisia sp.*), capinuri (*Clarisia biflora*, *Clarisia nitida*, *Maquira coriacea*), cumala (*Virola sp.*), copaiba (*Copaifera sp.*) loro micuna (*Vismia sp.*), ubos (*Spondias bombin*), caoba (*Swietenia macrophylla*), catahua (*Hura crepitans*), ishpingo (*Amburens cearensis*), huimba (*Ceiba sp.*), oje (*Ficus sp.*), cedro (*Cedrela sp.*), cumalillo (*Iryanthera tessmanni*), aguano cumala (*Virola albidiflora*), capirona (*Calycophyllum spruceanum*), lagarto caspi (*Calophyllum brasiliensi*), oje renaco (*Ficus schultesii*), leche caspi (*Batocarpus arinocenseis*), panguana (*Brosimum utile*), papelillo caspi (*Cariniana decandra*), Pashaco (*Schizolobium sp.*), requia (*Guarea sp.*), utucuro (*Septotoca tessmannii*).

La producción nacional de tableros contrachapados se concentra principalmente en el departamento de Ucayali.

Una empresa importante dedicada a la fabricación de tableros contrachapados de las variedades de lupuna (*Chorisia sp.*), copaiba (*Copaifera sp.*) y cumala (*Virola sp.*) es Industrial Ucayali S.A.C.

Triplay Enchapes S.A.C. es otra de las empresas que se dedican a la fabricación de tableros contrachapados de las variedades de lupuna (*Chorisia integrifolia*), copaiba (*Copaifera sp.*) y capinuri (*Clarisia nitida*).

En la misma línea de fabricación están Madera Industriales y Laminadas S.A.C. con especies como capinurí (*Maquira coriacea*) y lupuna (*Ceiba pentandra*) entre otras empresas que se desarrollan en el Perú.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS

2.2.1 MAQUIRA CORIACEA (KARSTEN) C. C. BERG

La especie *Maquira coriacea* conocida en el Perú como capinurí pertenece a la familia Moraceae. Su hábitat son los bosques de la llanura aluvial inundable de la cuenca del Amazonas, la cuenca del Orinoco y la cuenca del Alto Paraguay. Es un árbol de grandes aletas que alcanza una altura de 45 m. Tiene un tronco cilíndrico de corteza lisa y ramas auto desprendibles conspicuas que alcanzan diámetro de 1,3 m a más. Látex de color crema presente en la madera, corteza y hojas. La madera es de color blanco a marrón amarillento con una densidad básica de 0,47 g/cm³ al 12 por ciento de contenido de humedad; la contracción tangencial es de 6,7 a 9,4 por ciento mientras que la contracción radial está entre 3,4 a 4,2 por ciento. Es de fácil aserrar pero crea una superficie lanosa y el alto contenido de sílice desafila las sierras. Se puede laminar mediante corte rotativo o plano a temperatura ambiente. La madera puede ser secada en dos días con un ligero riesgo de alabeo y rajaduras. Es de baja durabilidad natural y generalmente se usa en la fabricación de tablero contrachapado y en algunos otros productos de madera de poco valor comercial (Nebel, 2000).

2.2.2 FICUS SCHULTESII DUGAND

La especie *Ficus schultesii* conocida en el Perú como ojé renaco pertenece a la familia Moraceae. Crece en terrenos planos no inundables o en sitios con ligeras pendientes. Se encuentra en los departamentos de Huánuco, Loreto, San Martín y Madre de Dios. Es un árbol que alcanza más de 40 m de altura y 150 cm de diámetro; tronco con sección transversal circular; aletas de 4 a 6 m de altura sobre el tronco extendiéndose sobre el suelo 4 a 6 m con 3 a 15 cm de grosor. Copa aparasolada y ampliamente ramificada. La madera es de color crema, olor y sabor no distintivo, brillo moderado a elevado, de grano entrecruzado y textura media a gruesa. Los poros son visibles a simple vista; grandes y muy pocos: menos de 5 poros por mm²; solitarios en mayor proporción y múltiples radiales. Porosidad: difusa (INRENA, 1996).

La madera de *F. schultesii* se sitúa en la categoría media para la resistencia mecánica. En cuanto a propiedades físicas presenta una densidad básica de 0,43 g/cm³, contracción tangencial de 5,56 por ciento, contracción radial de 2,11 por ciento y una contracción volumétrica de 7,55 por ciento. La madera es de fácil aserrar y no presenta tensiones, de trabajabilidad buena a regular. Buen comportamiento al secado y de baja durabilidad natural. La madera aserrada es de buena calidad; se usa para estructuras livianas, machihembrados, carpintería, molduras, mueblería; en la industria de madera laminada, enchapes decorativos y tableros contrachapados.¹

2.2.3 *CEIBA PENTANDRA* (L.) GAERTN

La especie *Ceiba pentandra* conocida en el Perú como lupuna blanca es una árbol que puede alcanzar una altura de más de 50 m, un d.a.p de 2 m o más y una copa extensa; el tallo desarrolla unas espinas robustas y unos contrafuertes prominentes. Crece de manera natural en las áreas tropicales y subhúmedas de América y África. La madera varía de color blanco hasta pardo clara. La madera es muy liviana, con una densidad específica de 0,25 g/cm³. La tasa de secado al aire es moderada, se trabaja a máquina con facilidad pero no satisfactoriamente. Los troncos y maderos son susceptibles al ataque por los insectos y hongos siendo el tratamiento con preservantes fácil. La madera es fácil de pelar para la manufactura de chapas. Las propiedades mecánicas a un contenido de humedad de 12 por ciento incluyen: una resistencia al doblado de 31 MPa, un módulo de elasticidad de 3723 MPa y una resistencia máxima a la compresión de 16 MPa. Los usos para la madera de lupuna blanca incluyen el triplay, material de empaque, capas interiores de laminados, construcción liviana, productos de pulpa y papel, canoas y balsas, implementos agrícolas y lanas (China, s.f.).

¹ <http://www.plywoodperu.com/pag/dmaderas.php?id=9>



Figura 1 *Maquira coriacea* (Karsten) C. C. Berg



Figura 2 *Ficus schultesii* Dugand



Figura 3 *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA YUCA COMO ADHESIVO

Entre los productos principales de la yuca para uso industrial se encuentran la harina y el almidón como componente en la elaboración de adhesivos.

La harina de yuca ha sido empleada como extendedor en la formulación de colas para la fabricación de tableros contrachapados con buenos resultados como lo demuestra Ttito (2007) al señalar que en las mezclas encolantes donde se utilizó harina de yuca como extendedor los tableros contrachapados obtuvieron mayores valores promedio de resistencia mecánica.

Corporación Colombia Internacional (1993) refiere que el almidón de yuca es utilizado en la elaboración de adhesivos para madera prensada y enchapados.

2.4 ADHESIVOS

Arriandiaga (s.f.) define al adhesivo como una sustancia capaz de sujetar dos cuerpos mediante la unión de sus superficies. La junta de unión formada, parecida a un *film* o película, puede ser resistente a la tracción mecánica y a la agresión química y ser estable frente a la acción atmosférica, temperatura y tiempos de uso.

Al respecto, Fox (s.f.) menciona que un adhesivo es un material que permite la unión entre dos superficies o sustratos en el que actúan dos fuerzas esenciales: la adhesión y la cohesión.

Madrid (1997) refiere que el adhesivo es una sustancia que aplicada entre las superficies de dos sustratos o adherentes permite una unión resistente a la separación. Asimismo señala que los adhesivos deben ser fluidos capaces de ser transportados hasta la superficie de los sustratos y copiar su superficie, también deben presentar propiedades mecánicas adecuadas a los requisitos de ensamblaje.

Reina (s.f.) señala que la propiedad más importante del adhesivo es la adherencia, que es la formación de enlaces electrovalentes o covalentes entre el adhesivo y el sustrato. El adhesivo debe tener una elevada fuerza tensil y debe ser capaz de resistir el impacto, la deformación y torsión y tener una alta resistencia a la rotura.

2.4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS ADHESIVOS

A) *CONTENIDO EN SÓLIDOS*

Houwink y Salomon (1978) refieren que el contenido en sólidos es un ensayo útil para el trabajo de control de fabricación ya que se distingue entre el total de sólidos y el contenido real de adhesivo.

El contenido en sólidos es el porcentaje en masa de materia no volátil de un adhesivo, determinada bajo condiciones específicas (Norma UNE PNE-EN 923).²

B) *TIEMPO DE GELIFICACIÓN*

Houwink y Salomon (1978) señalan que el tiempo de gelificación es el tiempo de vida de uso de un adhesivo de resina sintética después de la adición del endurecedor o catalizador.

El tiempo de gelificación es el tiempo que transcurre desde el momento en que el adhesivo está listo para ser aplicado hasta que el adhesivo tiene suficiente consistencia para resistirse a fluir bajo condiciones de ensayo (Norma UNE PNE-EN 923).

² Una Norma Española PNE-EN 13341: 2005

El tiempo de gelificación es el intervalo que se extiende desde la introducción del sistema catalítico en la resina líquida hasta la formación del gel (AEMAC).

C) PH

Houwink y Salomon (1978) mencionan que el valor del pH varía con el adhesivo, siendo no deseable una acidez o alcalinidad extremas. Indica que es un factor importante en cuanto que afecta la estabilidad o la duración de almacenamiento.

D) VISCOSIDAD

La viscosidad indica la movilidad del adhesivo durante la aplicación así como los límites para la aplicación de dicho adhesivo. Asimismo la viscosidad de la mezcla del adhesivo tiene gran influencia en la penetración del adhesivo en la madera y en su fraguado.³

Houwink y Salomon (1978) señalan que la viscosidad es un parámetro fundamental e importante ya que puede ser indicadora de buenas propiedades adhesivas durante el periodo de almacenamiento del adhesivo.

2.5 ADHESIÓN

2.5.1 ADHESIÓN Y COHESIÓN: MODOS DE FALLO

Madrid (1997) señala que el mecanismo de unión entre adhesivo y sustrato depende de:

- 1) La fuerza de unión del adhesivo al sustrato o **adhesión**.
- 2) La fuerza interna del adhesivo o **cohesión**.

Fox (s.f.) refiere que la adhesión es la fuerza de unión que se produce entre el adhesivo y el sustrato, mientras que la cohesión es la resistencia ejercida en el interior del adhesivo. Menciona que la adhesión es la suma de las fuerzas físicas y mecánicas de atracción y adsorción y la cohesión es la fuerza entre las moléculas dentro del propio adhesivo manteniendo el material unido.

Las fases de una unión adhesiva se pueden observar en la Figura 4.

³ http://www.infomadera.net/uploads/articulos/archivo_3347_11672.pdf?PHPSESSID=7c80f7ffaba7141fcf987aca74b27176

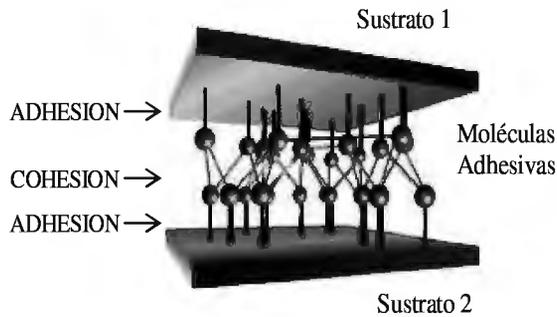
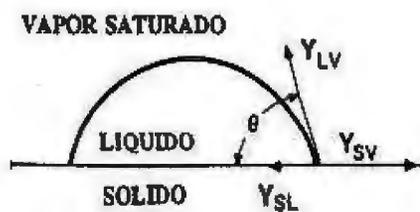


Figura 4 Fases de una unión adhesiva
Fuente: Madrid (1997)

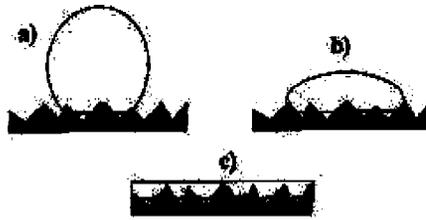
Martín (1997) explica que la adhesión son las interacciones físicas y químicas en la interfase. La interfase es una fase de características diferenciadas entre el adhesivo y el sustrato. Sus propiedades determinan que se produzca una adhesión adecuada.

El mismo autor señala que la condición necesaria aunque no suficiente para que se produzca adhesión es que el sustrato debe ser mojado por el adhesivo. Un líquido moja a un sólido cuando el ángulo de contacto que forma una gota de adhesivo sobre el sólido es menor de 90° , sucede lo contrario cuando el ángulo es mayor de 90° . Asimismo hace referencia que la mojabilidad es aceptable sobre sustratos de energía superficial media.



- $\theta < 90^\circ$: Líquido moja al sólido
- $\theta > 90^\circ$: Líquido no moja al sólido

Figura 5 Sistema sólido-líquido-vapor en equilibrio
Fuente: Martín (1997)



- (a) Mojado deficiente
- (b) Mojado parcial
- (c) Mojado total

Figura 6 Ángulos de contacto y mojabilidad

Fuente: Martín (1997)

Al respecto Madrid (1997) refiere que la adhesión es la fuerza de unión en la interfase de contacto entre dos materiales. Estas fuerzas físicas de atracción y adsorción son las fuerzas de Van der Waals de gran importancia en la unión. El rango de estas fuerzas es considerablemente más bajo si el material adhesivo no está en contacto íntimo con las zonas a unir. Este es el motivo por el que el adhesivo debe penetrar totalmente en la rugosidad superficial y mojar toda la superficie. La resistencia de la fuerza adhesiva depende del grado de mojado (contacto intermolecular) y de la capacidad adhesiva de la superficie.

Madrid (1997) define a la cohesión como la fuerza entre las moléculas dentro del adhesivo manteniendo el material unido. Estas fuerzas incluyen:

- Fuerzas intermoleculares de atracción (Van der Waals)
- Enlaces entre las propias moléculas del polímero.

Houwink y Salomon (1978) señalan que para que las fuerzas intermoleculares entren en juego, el adhesivo debe estar en estrecho contacto con el sustrato.

Para evaluar la adhesividad entre dos sustratos, Madrid (1997) indica que puede hacerse a través de un ensayo de rotura de la unión adhesiva. Señala los siguientes tres posibles modos de fallo de la unión adhesiva:

- 1) Separación por cohesión: cuando se produce la ruptura del adhesivo.

- 2) Separación por adhesión: cuando la separación se produce en la interfase sustrato-adhesivo.
- 3) Ruptura de sustrato: cuando el propio sustrato rompe antes que la unión adhesiva o que la interfase sustrato-adhesivo.

En la Figura 7 se muestran los modos de fallo de las uniones adhesivas.

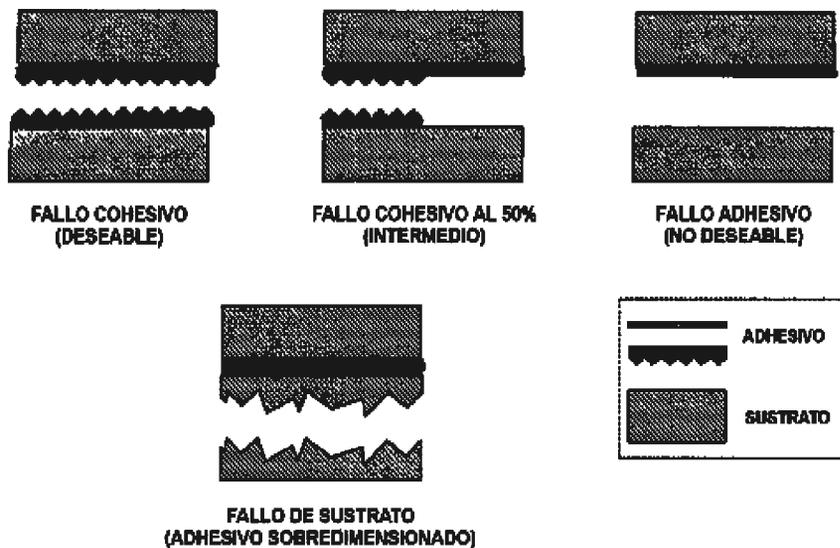


Figura 7 Modos de fallo de las uniones adhesivas

Fuente: Madrid (1997)

En términos generales Madrid (1997) menciona que cuando se diseña una unión se pretende que la rotura no sea en ningún caso adhesiva, es decir, que la separación nunca se produzca en la interfase sustrato-adhesivo.

2.5.2 MECANISMOS FUNDAMENTALES DE LA ADHESIÓN

Fox (s.f.) refiere que la adhesión depende de tres factores:

- 1) Mecánico (rugosidad y acabado superficial)
- 2) Físico (humectación del sustrato)
- 3) Químico (naturaleza y afinidad que existe entre sustrato y adhesivo).

Al respecto el mismo autor menciona lo siguiente:

- La adhesión la produce la migración de las cadenas poliméricas entre las dos superficies en contacto. Si el adhesivo y adherente son polímeros miscibles esto mejora la difusión y por tanto la adhesión.
- La adhesión está causada por la formación de enlaces secundarios (fuerzas de Van der Waals y enlaces de hidrógeno) entre el adhesivo y el sustrato. La adhesión aumentará al mejorar la humectabilidad ya que si se producen muchos enlaces secundarios la fuerza de enlace será mayor.

Martín (1997) indica que los mecanismos o modelos de la adhesión tratan de explicar las causas por las que se produce la adhesión entre dos materiales. Siendo los modelos más aceptados: el modelo mecánico, el modelo de la difusión y el modelo de las capas débiles de ruptura preferente.

- 1) Modelo mecánico: considera que la adhesión se debe al anclaje del adhesivo en los poros y oquedades del sustrato. Favorecen la adhesión: (a) el aumento de la superficie del sustrato debido a las rugosidades, y (b) la penetración del adhesivo en las oquedades del sustrato.
- 2) Modelo de la difusión: explica la auto adhesión entre polímeros idénticos. Como mecanismo de adhesión está la migración de cadenas poliméricas entre dos superficies de dos polímeros en contacto.
- 3) Modelo de las capas débiles de ruptura preferente: el tratamiento superficial de un sustrato demasiado agresivo producirá una capa superficial débil. Siendo el caso, el fallo de la unión no será interfacial sino cohesivo en la capa superficial tratada. Una limpieza inadecuada de la superficie puede reducir el número de puntos de anclaje en la interfase y por tanto deteriorar la adhesión.

2.5.3 CONDICIONES GENERALES PARA UNA BUENA ADHESIÓN

Vargas (1997) menciona las siguientes condiciones generales para una buena adhesión:

- El adhesivo en estado líquido debe tener menos tensión superficial que el sustrato.
- El sustrato debe ser lo suficientemente rugoso, las asperezas superficiales deben ser del orden del micrómetro.
- La viscosidad y condiciones de aplicación del adhesivo deberían ser tales que las asperezas del sustrato sean mojadas completamente.
- Si se espera un medio agresivo debe garantizarse la capacidad de enlaces covalentes ya que estos contribuyen a la estabilidad de átomos combinados.

2.6 PROPIEDADES SUPERFICIALES DE LA MADERA Y SU INFLUENCIA SOBRE EL ENCOLADO

Según Houwink y Salomon (1978) las propiedades de la superficie de la madera comprenden tres grupos: (1) textura, (2) aspectos físico químicos, y (3) el grado de deterioro mecánico de la madera ocasionada por la forma de preparación de la misma.

La textura comprende las características geométricas de la superficie debido a la estructura anatómica, forma de preparación mecánica y a la desviación de una configuración idealmente concebida debido al alveo, a la torsión o a las irregularidades que muestran las superficies lisas y delgadas.

Los aspectos físico químicos se deben a las particularidades de las especies, porosidad, capilaridad, extractivos, contenido de humedad, la condición energética y la composición química de la superficie de la madera.

En la preparación de la madera pueden surgir desgarramientos de las células como resultado del aserrado, cepillado, lijado, entre otros; ocasionando el desprendimiento de las fibras de las superficies de la madera.

González (1997) menciona que al realizar un corte en ángulo respecto a la orientación de la fibra, las cavidades celulares pueden dañarse por el corte mecánico o por la temperatura y presión utilizadas en el mecanismo de las láminas de madera, lo que puede provocar una penetración desigual del adhesivo en la superficie de la misma.

Al respecto Hancock, citado por Córdova (1992) señala que en el proceso del debobinado de las chapas de madera las superficies resultan cortadas, mostrando las paredes de las fibras y exponiendo los lúmenes, ocasionando que algunas de las fibras rasgadas den irregularidades en el espesor de las chapas y esto a su vez hará que se incremente la cantidad de adhesivo a utilizarse.

2.7 TECNOLOGÍA EN LA FABRICACIÓN DE TABLEROS CONTRACHAPADOS

2.7.1 LOS ADHESIVOS EN LA INDUSTRIA DE LOS TABLEROS CONTRACHAPADOS

García Esteban *et al* (2002) señalan que las colas más empleadas para la fabricación de tableros contrachapados son las de urea formaldehído cuando el tablero se destina a interiores y de fenol formaldehído cuando es para exteriores.

El adhesivo más empleado para unir chapas de madera es el que está compuesto de resinas de urea formaldehído.⁴

Industrias Vencedor S.A. (2003) señala que la resina urea formaldehído se utiliza como base para la formulación de colas para la elaboración de tableros contrachapados y otros productos maderables.

A) CARACTERÍSTICAS DE LA RESINA UREA FORMALDEHÍDO

Las resinas urea formaldehído son polímeros pertenecientes al grupo de resinas termofraguantes (polimerizan bajo calor o presión). Se fabrica a partir de la polimerización por condensación entre el concentrado de urea formaldehído y urea obteniendo productos líquidos. Son fácilmente solubles en agua, la disolución se degrada lentamente bajo formación de para

⁴ <http://www.terra.org/articulos/art01205.html>

formaldehído (polímero del formaldehído). Su oxidación da ácido fórmico y en una segunda etapa agua y dióxido de carbono.⁵

En el Perú Industrias Vencedor S.A. (2003) es la empresa fabricante de la resina urea formaldehído Vence UF-603. Al respecto señalan lo siguiente:

“Vence UF-603 es una resina de urea formaldehído en solución acuosa, formulada para uso en adhesivo. El curado es por reacción química, una vez curada es insoluble e infusible y de buena resistencia a la acción del agua. Debe ser almacenada en sus envases originales, en lugares ventilados, bajo sombra y a temperaturas menores de 25°C de lo contrario puede originar la polimerización del producto”.

Especificaciones:

Gravedad específica 25/25°C	1,198 – 1,205
Viscosidad Gardner 25°C	B – C (1)
Tiempo de gelado a 25°C, horas	2,5 – 5,5 (2)
pH 25°C	7,5 – 7,9
Contenido en sólidos (%)	47 – 49
Formaldehído libre (%)	1,2 máx.
Viscosidad cps 25°C	50 – 80 (3)

(1) Viscosidad inicial; esta viscosidad se incrementa con el tiempo y condiciones de almacenamiento.

(2) 200 gramos de resina catalizada con 15 ml de solución de cloruro de amonio al 25%, manteniendo la muestra con un baño de temperatura constante de 25°C.

(3) Brookfield LVF. *3.60. 25°C

⁵ <http://resinasdeurea.com>

B) CARACTERÍSTICAS DEL ADHESIVO

Del Foro Forestal Maderero de bosque y madera (2004) se obtiene la siguiente información para las características del adhesivo:

- Debe ser mojante, es decir, que tenga una tensión superficial muy pequeña.
- La viscosidad debe ser también baja para penetrar por los poros de la madera; pero no excesivamente baja, pues se perdería rápidamente en las maderas a encolar no quedando nada en la superficie.
- Debe ser polar.
- Debe poder convertirse en sólido, ya sea por evaporación del disolvente, por enfriamiento o por reacciones químicas retrasadas.
- Una vez fraguada debe ser muy resistente.

Asimismo señala que la cola ya fraguada presenta buena resistencia a esfuerzos mecánicos y mediana resistencia a la humedad. La elasticidad de la cola no es muy buena pero manejable con cargas.

Para conseguir una buena unión se debe encolar las dos superficies de la madera con un adhesivo que tenga liquidez (buena movilidad) y empezar a prensar cuando el adhesivo empiece a fraguar (pérdida de movilidad). Estas condiciones asegurarán la mejor penetración del adhesivo en la madera.⁶

Houwink y Salomon (1978) refieren que un exceso en la dilución de un adhesivo traerá como consecuencia una unión de escasa resistencia debido a la gran absorción por parte del sustrato; esta absorción es el resultado de una baja viscosidad.

⁶ <http://www.infomadera.net/images/11575.pdf>

La cola debe ser fácilmente extendida sobre el tablero, no líquida para que no penetre demasiado en la madera ni muy viscosa para que sólo quede encima, lo ideal es que la cola penetre un poco en la madera de tal forma que se forme un anclaje cuando es curada.⁷

2.7.2 ENCOLADO

García Esteban *et al* (2002) indican que la aplicación de cola sobre las chapas se realiza con encoladoras de rodillos, siendo el modelo más habitual el de rodillos superpuestos, metálicos o de caucho con movimiento rotatorio inverso cuya ventaja es la aplicación del adhesivo en ambas caras de una sola pasada. Asimismo señala el procedimiento por extrusión, donde la aplicación de cola se da sólo en una de las caras.

Oxiquim S.A. (2005) señala las siguientes formas de aplicación de adhesivo en las plantas de fabricación de tableros contrachapados:

- Rodillos encoladores: rodillos cortos y rodillos largos.
- Línea spray larga.
- Línea spray corta.
- Cortina.
- Espuma.

Houwink y Salomon (1978) refieren que los aplicadores mecánicos a rodillos que tienen uno o más de los denominados rodillos distribuidores, son los más usados en la aplicación de adhesivos en la fabricación de tableros contrachapados, ya que ofrecen una mayor precisión y control en su uso.

A) FORMULACIÓN DEL ADHESIVO

Los adhesivos se seleccionan en función del tipo de composición y del material a unir, preparándose de acuerdo a las especificaciones técnicas.⁸

⁷ Rodríguez, J. 2005. Características del adhesivo (correo electrónico) Lima, PE, Industrias Vencedor S. A.

⁸ <http://liqipib.caib.es/user/info/educa/incual/files/anexos/MAM213.pdf>

García Esteban *et al* (2002) indican que se deben seguir las recomendaciones del fabricante del adhesivo en cuanto a mezcla, uso de cargas, temperatura de la madera, modo de aplicación, tiempos abierto y cerrado, fraguado y temperatura del aire durante el fraguado.

Del Real (1997) señala que las formulaciones adhesivas están diseñadas para lograr que las fuerzas adhesivas sean siempre superiores a las cohesivas.

En el Foro Forestal Maderero de bosque y madera (2004) se señala que las colas de urea formaldehído tienen un tiempo de vida útil de alrededor de cuatro horas, por lo tanto su formulación debe darse en un momento antes de su utilización, mezclando los componentes necesarios.

Industrias Vencedor S.A. (2003), fabricante de la resina urea formaldehído Vence UF-603 recomienda la siguiente formulación básica para la fabricación de tableros contrachapados:

Resina Vence UF-603	100 kg
Harina de trigo	48
Agua	± 24
Cloruro de amonio sólido (máximo)*	1,5
Preservante (según recomendación del fabricante)	

*El catalizador debe disolverse aproximadamente al 20 por ciento utilizando agua de la misma formulación.

Recomienda también utilizar igual cantidad de harina que los sólidos activos presentes en la resina; ya que una mayor cantidad de harina producirá una cola de menor calidad en el pegado y resistencia al agua y una menor cantidad de harina producirá una cola de mejor pegado y de mejor resistencia al agua pero más rígida.

Houwink y Salomon (1978) señalan que para una producción de calidad son necesarios equipos exactos de pesada y medida y mezcladores para contenedores, cargas y otros aditivos.

Industrias Vencedor S.A. (s.f.) en lo referente a catalizador, recomienda que sea volátil, que no deje residuos ácidos permanentes que a la larga destruyen la línea de pegado y que corroen las partes metálicas de los equipos. Señala al cloruro de amonio como el más recomendable.

B) GRAMAJE

Oxiquim S.A. (2005) señala un gramaje de 200 – 240 g/m², dependiendo del tipo de rodillo y del ajuste de la máquina que se utilice, mientras que Industrias Vencedor S.A. (2003) recomienda 200 g/m² de extensión por cara.

2.7.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL ENCOLADO

A) DE LA MADERA

a) Densidad

García Esteban *et al* (2002) refieren que maderas de elevada densidad presentan dificultad en el encolado.

En el Foro Forestal Maderero de bosque y madera (2004) se señala que en especies menos densas existe un mayor volumen de espacio libre que permite la entrada del adhesivo facilitando así una buena adhesión mecánica, a diferencia de las especies de mayor densidad donde se encuentra mayor variación volumétrica al cambiar el contenido de humedad, lo que producirá tensiones que serán soportadas por las uniones encoladas.

Houwink y Salomon (1978) hacen mención que la variable física más importante en la utilización de maderos estructurales y también para el encolado es la densidad de la madera, ya que ésta determina sus propiedades mecánicas y físicas y éstas a su vez, son las determinantes principales de la resistencia final de una junta adhesiva.

b) Humedad

En el Foro Forestal Maderero de bosque y madera (2004) se hace referencia que la madera debe poseer un contenido de humedad que esté bajo el punto de saturación de las fibras para obtener buenas uniones; buenas junturas se dan en gran parte por la absorción de adhesivo por la madera. Al tener la madera un contenido de humedad sobre el punto de saturación de las fibras se va a originar que parte del adhesivo permanezca en la línea de cola, produciéndose

uniones de poca resistencia. En el caso de encolar maderas con contenidos de humedad muy bajos para los requisitos del adhesivo, o bien encolar madera anhidra también se producirán uniones defectuosas debido a:

- Absorción exagerada del adhesivo lo que producirá un fraguado anticipado.
- Fallas del encolado cuando la madera puesta en servicio alcanza su humedad de equilibrio hinchándose.
- Al absorber la madera la humedad del ambiente, el adhesivo puede absorber parte de esta humedad cambiando las propiedades que tenía estando fraguado.

García Esteban *et al* (2002) señalan que la madera debe estar a una humedad dentro de los límites óptimos para el encolado.

Al respecto Houwink y Salomon (1978) indican que para obtener resultados óptimos de encolado, la madera debe contener una cantidad definida de humedad ya que al aplicar el adhesivo se está introduciendo una cantidad de agua adicional en la madera.

Zavala, citado por Loza De La Cruz (2004) indica que el contenido de humedad de la chapa generalmente varía entre tres a siete por ciento como límites aceptables para ser encoladas.

B) DEL ADHESIVO

a) Tiempo de reunión

En el Foro Forestal Maderero de los bosques y madera (2004) se define al tiempo de reunión como el intervalo que existe entre el esparcido del adhesivo en la madera y la aplicación de las condiciones de fraguado. Si el tiempo de reunión excede los límites máximos y mínimos permitidos por el adhesivo, éste no será capaz de formar una buena unión.

b) Presión

Chow, citado por Barbieri (2002) señala que la presión es importante para asegurar la buena transferencia del adhesivo sobre la superficie de la chapa y mantener un buen contacto entre las láminas durante el fraguado de la cola.

Para García Esteban *et al* (2002) tanto el tiempo de prensado como la temperatura a utilizar son factores que dependen de la especie, tipo de cola y el espesor del tablero. La prensa de platos calientes es donde se aporta presión y temperatura durante el proceso de fraguado de la cola.

c) Temperatura

En el Foro Forestal Maderero de bosque y madera (2004) se señala lo siguiente: el efecto de aplicar temperatura se traduce en la disminución de la tensión superficial y de la viscosidad, lo cual facilita la penetración del adhesivo en la madera.

2.7.4 CONFORMACIÓN DE LOS TABLEROS CONTRACHAPADOS

El prensado constituye una etapa clave en el proceso de el boración de tableros contrachapados ya que se consolida el producto y se definen sus propiedades físico mecánicas.⁹

García Esteban *et al* (2002) mencionan que es en la etapa de prensado donde se aporta presión y temperatura para el fraguado de la cola, la cual se lleva a cabo en una prensa multipiso también denominada de platos calientes. Tanto la especie, tipo de cola y espesor del tablero son parámetros que van a determinar el tiempo y temperatura a utilizarse en el prensado.

Industrias Vencedor S.A. (2003) indica que no sólo es importante de la calidad de la resina y la formulación de la cola, sino las siguientes condiciones de prensado:

Humedad de la madera	8 – 10%
Extendido	200 g/m ²
Presión	6 – 10 kg/cm ²
Temperatura	110 - 130°C
Tiempo de prensado (4mm)	2 – 3 minutos
Distribución uniforme del calor en los platos	
Nivelación de los platos	

Houwink y Salomon (1978) refieren que un prensado previo o pre prensado en la fabricación de tableros contrachapados genera ciertas ventajas: mejor transferencia del adhesivo, menor

⁹ <http://www.fondef.cl/bases/fondef/PROYECTO/00/I/D00I1167.HTML>

riesgo en el pre curado y mayor flexibilidad de operación entre el extendedor de cola y de la prensa caliente.

2.7.5 EVALUACIÓN DE TABLEROS CONTRACHAPADOS

Según Houwink y Salomon (1978) el criterio de un buen empalme de madera es que el ensayo rompa por la madera antes que por la película adhesiva (rotura cohesiva) o por la interfase (rotura adhesiva). El porcentaje de fallos en la madera, con relación a la rotura cohesiva adhesiva, es una medida de la calidad de unión.

Martín (1997) indica que para evaluar si una unión adhesiva es adecuada se deben considerar tanto la resistencia a la separación como el modo de fallo, realizados a través de ensayos diseñados a la aplicación esperada en la unión adhesiva.

Blomquist citado por Loza De La Cruz (2004) refiere que es probable que una madera falle antes que la línea de unión si se ha utilizado un buen adhesivo. La cantidad de falla en la madera es estimada en porcentaje y reconocida al mismo tiempo con la carga de falla, criterio importante de la calidad de unión.

Medina mencionado por Canchucaja (2001) señala que el encolado de un tablero será mejor cuando la rotura se produce a través de la madera y no a través del plano de encolado.

Al respecto Watkins citado por Loza De La Cruz (2004) señala que el motivo por el cual puede fallar una cola de unión perfecta puede ser una chapa de mala calidad, cola que ha sido mal extendida o las condiciones de prensado no han sido las adecuadas. La evaluación de la calidad de los tableros se basa en la falla de la madera; si el área rota es toda la madera o está cubierta con fibras de madera completamente, se tendrá una falla en la madera al 100 por ciento.

En el Cuadro 1 se muestran los valores de resistencia a la humedad y de resistencia de la línea de cola al esfuerzo de tracción paralela al grano encontrados por Córdova (1992), Paredes (1995), Duda (1996), Santos (2007) y Ttito (2007) en base a trabajos realizados sobre evaluación de extendedores para tableros contrachapados de lupuna (*Chorisia integrifolia*) utilizando formulación básica VENCEDOR reemplazando la harina de trigo como usual extendedor por otros tipos de harina según tratamientos.

Cuadro 1 Valores de resistencia a la humedad y a la tracción paralela al grano de tableros contrachapados de lupuna según distintas fuentes

<i>Cita</i>	<i>Espesor tablero (mm)</i>	<i>Presión (kg/cm²)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Tiempo (min.)</i>	<i>Resistencia a la humedad (Calificación)</i>	<i>Resistencia a la tracción paralela (kg/cm²)</i>
Córdova	4	10	120	3	4	10,56
Paredes	7	7,4	125	4	5	15,75
Duda	4	6	125	4	4	15,43
Santos	7	6	125	4	6	15,39
Tito	4	6	125	2	0	15,05

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

3.1.1 FASE DE CAMPO

El acopio de láminas para la elaboración de tableros contrachapados así como la colección de muestras de raíces de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) para la elaboración de la harina se realizaron en la ciudad de Pucallpa, Región Ucayali.

3.1.2 FASE DE LABORATORIO

Se realizó en la Planta de Alimentos Balanceados del Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos de la Facultad de Zootecnia, Laboratorio de Mecánica de Suelos del Departamento de Construcciones Rurales de la Facultad de Ingeniería Agrícola y en el Laboratorio de Anatomía de la Madera, Laboratorio de Paneles y en el Laboratorio de Tecnología de la Madera pertenecientes al Departamento de Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2 MATERIA PRIMA E INSUMOS

Para elaborar la harina se utilizaron raíces de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) de la zona de producción situada en el Anexo Experimental Campo Verde, Estación Experimental Pucallpa-Proyecto GIS perteneciente al Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria (INIEA), distrito de Campo Verde, Provincia de Coronel Portillo, Región Ucayali. En la Figura 8 se muestra la ubicación del área de colección. El criterio de selección para la colección de las raíces de yuca se basó principalmente en el rendimiento (t/ha) del cultivo. Es así que se seleccionó la variedad de yuca “señorita tres mesinas” identificada en campo cuyo rendimiento es de 40,1 t/ha según información brindada por la Estación Experimental Pucallpa.



Figura 8 Área de colección de las raíces de yuca¹⁰

En las Figuras 9, 10 y 11 se muestran las acciones que se siguieron para la cosecha de la variedad de yuca “señorita tres mesinas” en el Anexo Experimental Campo Verde.



Figura 9 Deshierbe en el área del terreno donde se encontraban las raíces de yuca

¹⁰ Google Earth



Figura 10 Cosecha de las raíces de yuca



Figura 11 Raíces de yuca ya cosechadas para su posterior pesaje

Las láminas de madera para la conformación de los tableros fueron de capinurí (*Maquira coriacea* Karsten) y lupuna (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn) producidas por la empresa Maderas Industriales y Laminadas SAC. (MAILSAC) y de oje renaco (*Ficus schultesii* Dugand) producidas por la empresa Grupo Empresarial Amazónico del Perú S.A. (GEA), obtenidas por corte rotativo y secadas a un contenido de humedad en un rango de 9 a 12 por ciento. Ambas empresas ubicadas en la ciudad de Pucallpa, departamento de Ucayali.

Asimismo se tomaron muestras de tableros de capinurí y de oje renaco, producidos bajo condiciones de manufactura industrial.

La harina de trigo utilizada como extendedor en las formulaciones de cola así como el agua químicamente pura fue adquirida en locales comerciales.

La solución de cloruro de amonio (NH_4Cl) se preparó al 25 por ciento en condiciones de laboratorio.

La resina Vence UF-603 con un 49 por ciento de sólidos usada en la fabricación del adhesivo fue proporcionada por Industrias Vencedor S.A., ubicada en la ciudad de Lima.

A continuación se detalla la cantidad total de materia prima e insumos utilizados:

- Láminas de capinurí (*Maquira coriacea* Karsten) de 600 x 600 x 1,5 mm: 24 u.
- Láminas de lupuna (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn) de 600 x 600 x 1,5 mm: 12
- Láminas de oje renaco (*Ficus schultesii* Dugand) de 600 x 600 x 1,5 mm: 36
- Tableros contrachapados de capinurí de 600 x 600 x 1,5 mm: 3
- Tableros contrachapados de oje renaco de 600 x 600 x 1,5 mm: 3
- Resina urea formaldehído (Vence UF-603): 2,13 kg
- Harina de trigo: 0,72
- Harina de yuca: 1,1

- Agua: 1,80 l
- Cloruro de amonio: 0,22

3.3 MATERIALES Y EQUIPOS

3.3.1 MATERIALES

- Termo higrómetro digital
- Termómetro de mercurio (0-100°C)
- Pie de rey digital
- Cronómetro
- Mallas de tamizar ASTM E N° 50; 100 mesh
- Espátula de metal
- Pinzas
- Desecador de vidrio
- Crisol de vidrio con tapa
- Crisol de porcelana
- Pinzas de extensión para crisol
- Probeta
- Beaker
- Escobilla
- Varilla de agitación
- Pizeta

- Erlenmeyer
- Matraz aforado
- Cinta métrica
- Bolsas plásticas
- Papel toalla
- Baldes de plástico
- Útiles de escritorio

3.3.2 EQUIPOS

- Balanza electrónica
- Balanza analítica OHAUS
- Molino de discos Pallmann
- Estufa eléctrica
- Mufla
- Agitador mecánico PROLABO
- Potenciómetro digital HANNA HI 98128
- Viscosímetro BROOKFIELD RVF
- Prensa de platos calientes ORMA MACHINE
- Prensa universal de ensayos mecánicos TINIUS OLSEN
- Sierra circular
- Sierra de cinta

- Cámara digital
- Computadora

3.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.4.1 OBTENCIÓN DE LA HARINA DE YUCA

La harina de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) se obtuvo según el proceso de elaboración descrito en la Figura 12. Las raíces se pelaron en forma manual, se lavaron para eliminar cualquier impureza adherida, se cortaron en trozos pequeños de aproximadamente 2,5 x 2,5 x 2,5 cm y se deshidrataron en una estufa eléctrica a la temperatura de 40°C durante 24 horas. Los trozos secos fueron procesados en un molino de discos Pallmann hasta obtener harina, la cual se pasó a través de malla 50 (297 µm) y 100 (150 µm). Las muestras de harina se transfirieron a bolsas plásticas y se almacenaron a temperatura ambiente.

3.4.2 DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA HARINA DE YUCA

Para el rendimiento de la harina de yuca se utilizó la siguiente expresión:

$$Rh = \left[\frac{\text{Peso de la harina}}{\text{Peso de la yuca fresca}} \right] \left[\frac{100 - \%Hf}{100 - \%Hyf} \right] 100$$

Donde:

Rh = Rendimiento harinero en porcentaje

Hh = Humedad de la harina

Hyf = Humedad de la yuca fresca

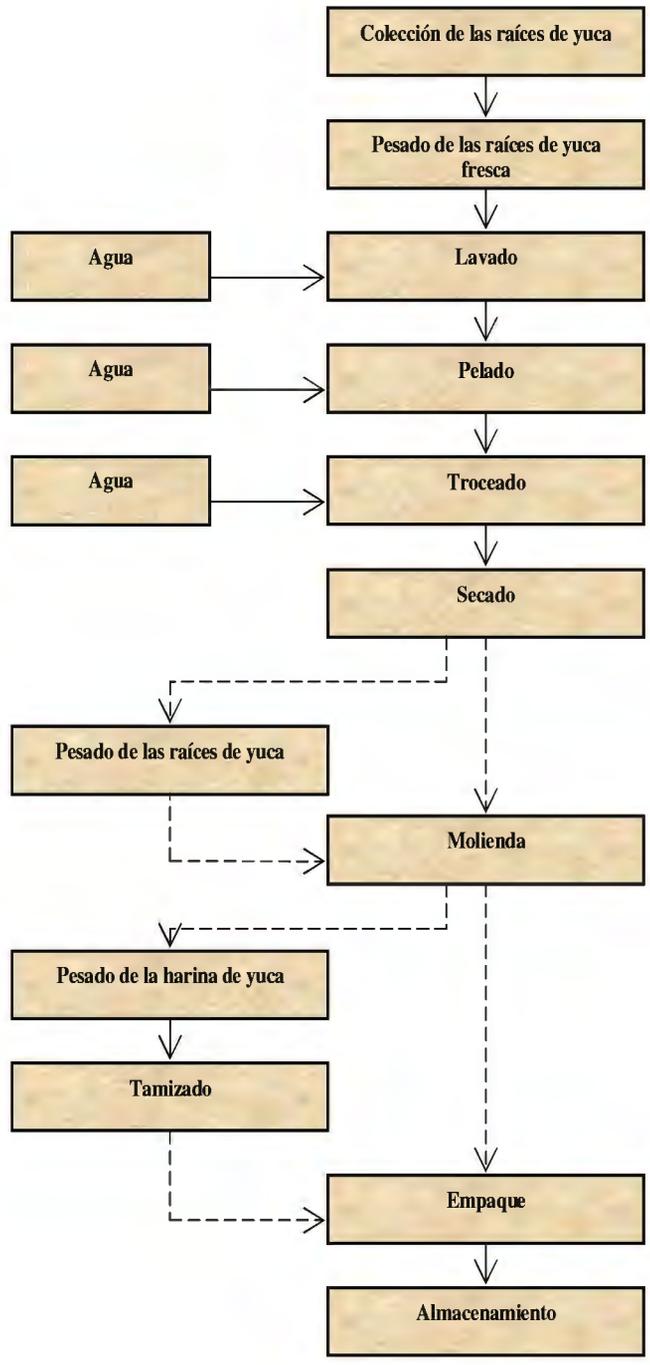


Figura 12 Diagrama del proceso de fabricación de la harina de yuca

3.4.3 ANÁLISIS QUÍMICO DE LA HARINA

A) *CONTENIDO DE HUMEDAD*

Se determinó según la Norma Técnica Peruana 205.037: 1975 Harinas. Determinación del Contenido de Humedad (Anexo1), según el siguiente procedimiento:

Se pesaron 5 g aproximadamente de muestra de harina en un crisol previamente tarado. Se prepararon tres muestras para la harina de yuca y tres muestras para la harina de trigo. Se colocaron en la estufa eléctrica los seis crisoles semitapados que contenían las muestras de harina. La estufa eléctrica se reguló a 130°C. Las muestras se dejaron desecar durante un periodo de dos horas. Se tapó el crisol, se extrajeron las muestras con ayuda de pinzas de extensión y se colocaron en un desecador de vidrio para su enfriamiento. Posteriormente se peso cada muestra en una balanza de precisión. Con los valores obtenidos se procedió al cálculo del contenido de humedad de cada muestra de harina según la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{(P1 - P2)}{m} \times 100$$

Donde:

CH = Contenido de humedad expresado en porcentaje

P1 = Peso del crisol mas la porción de muestra sin desecar

P2 = Peso del crisol mas la porción de muestra desecada

m = Peso de la porción de muestra

Una vez obtenido el CH de cada muestra de crisol de harina se procedió a sacar el CH promedio para la harina de yuca y harina de trigo.

B) *CENIZAS*

Se determinó según la Norma Técnica Peruana 205.038: 1975 Harinas. Determinación de Cenizas (Anexo 2), según el siguiente procedimiento:

Se pesaron aproximadamente 4 g de muestra de harina en un una cápsula de porcelana previamente tarada. Se prepararon un total de tres muestras para la harina de yuca y tres muestras para la harina de trigo. Se colocaron en la mufla eléctrica a 700°C durante un periodo de dos horas. Con la ayuda de pinzas se extrajeron las muestras y se colocaron en un desecador de vidrio para su enfriamiento. Posteriormente se procedió a pesar cada muestra. Con los valores obtenidos se calculó el porcentaje de cenizas de cada muestra de harina según la siguiente fórmula calculada en base a 15 por ciento de humedad.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(P_1 - P_0) \times 100}{P} \left[\frac{85}{100 - H} \right]$$

Donde:

P1 = Peso del crisol mas las cenizas

P0 = Peso del crisol

P = Peso inicial de la porción de muestra

H = Humedad de la muestra

Una vez calculado el C de cada muestra de harina se procedió a sacar el C promedio para la harina de yuca y para la harina de trigo.

C) PH

Se determinó según el AACC Method 02-52 Hydrogen – Ion Activity (pH) – Electrometric Method, según el siguiente procedimiento:

Se pesaron 15 g de muestra de harina de yuca en un erlenmeyer. Se le agregó 100 ml de agua destilada. Durante 30 minutos se agitó la muestra usando un agitador mecánico. Posteriormente se realizaron tres repeticiones de medición de pH con un potenciómetro digital calibrado. Hechas las lecturas de pH se calculó el valor promedio de dichas mediciones. El mismo procedimiento se realizó para obtener el pH de la muestra de la harina de trigo.

En el Anexo 3A, 3B y 3C se muestran los datos originales registrados para la caracterización química de las harinas de yuca y de trigo.

3.4.4 FORMULACIÓN DE LAS MEZCLAS ENCOLANTES

Se prepararon las mezclas encolantes en base a tres tipos de formulaciones: (a) formulación industrial MAILSAC, (b) formulación industrial GEA y (c) formulación básica VENCEDOR.

En la formulación industrial MAILSAC y en la formulación industrial GEA, el extendedor harina de trigo fue reemplazado por harina de yuca bajo los siguientes tratamientos:

- (T1) 100% harina de yuca
- (T2) 75% harina de yuca:25% harina de trigo
- (T3) 50% harina de yuca:50% harina de trigo

Se mantuvieron constantes las proporciones de resina, agua y catalizador en lo que respecta a cada formulación.

Asimismo se preparó mezcla encolante teniendo como base la formulación básica VENCEDOR, en la cual todos los componentes se mantuvieron constantes llamándole tratamiento testigo:

- (T4) 100% harina de trigo

A) FORMULACIÓN INDUSTRIAL MAILSAC

Esta formulación es la siguiente:

Vence UF-603	24,6 %
Harina de trigo	37,4
Agua	37,4
Cloruro de amonio	0,6
TOTAL	100

Con esta formulación la cantidad de mezcla encolante que se utilizó en los tableros elaborados de capinurí, considerando un gramaje de 230 g/m², una superficie a encolar de 0,72 m² y un margen de seguridad del 10 por ciento fue la siguiente:

Vence UF-603	44,81 g
Harina *	68,13
Agua	68,13
Cloruro de amonio	1,10

* Harina de trigo y/o harina de yuca según tratamiento propuesto (T1, T2 y T3)

B) FORMULACIÓN INDUSTRIAL GEA

Esta formulación es la siguiente:

Vence UF-603	41,6 %
Harina de trigo	26
Agua	31,2
Cloruro de amonio	1,2
TOTAL	100

Con esta formulación la cantidad de mezcla encolante que se utilizó en los tableros elaborados de ojú renaco, considerando un gramaje de 230 g/m², una superficie a encolar de 0,72 m² y un margen de seguridad del 10 por ciento fue la siguiente:

Vence UF-603	75,78 g
Harina *	47,4
Agua	56,84
Cloruro de amonio	2,19

* Harina de trigo y/o harina de yuca según tratamiento propuesto (T1, T2 y T3)

C) FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR

Esta formulación es la siguiente:

Vence UF-603	53,5 %
Harina de trigo	26,7
Agua	18,7
Cloruro de amonio	1,1
TOTAL	100

Con esta formulación la cantidad de mezcla encolante que se utilizó en los tableros testigo (T4) de capinurí y de ojé renaco, teniendo en cuenta las consideraciones anteriormente mencionadas de gramaje, superficie y margen de seguridad fue la siguiente:

Vence UF-603	97,40 g
Harina de trigo	48,64
Agua	34,10
Cloruro de amonio	2

3.4.5 ENSAYO DEL CONTROL DE CALIDAD DE LA RESINA VENCE UF-603

- Contenido en sólidos: Norma ASTM D 1490-01 Standard Test Method for Nonvolatile Content of Urea Formaldehyde Resin Solutions.
- Viscosidad: Norma ASTM D 1084-97 Standard Test Method for Viscosity of Adhesives.
- pH: Norma ASTM 70-97 Standard Test Method for pH of Aqueous Solutions With the Glass Electrode.

Los resultados de estos análisis fueron proporcionados por el fabricante de la resina Vence UF-603 (Industrias Vencedor S.A.). Ver punto A de 2.7.1.

3.4.6 ENSAYO DEL CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA ENCOLANTE

A) *VISCOSIDAD*

Se controló la viscosidad de cada una de las mezclas encolantes según la norma ASTM D 1084– 97 Standard Test Method for Viscosity of Adhesives (Anexo 4).

Para la determinación de la viscosidad aparente se empleó el viscosímetro rotacional Brookfield, modelo RVF. Se preparó cada mezcla encolante según lo descrito en el punto 3.4.4 la cual se mantuvo en agitación durante cinco minutos. Al finalizar el tiempo se transvasó la mitad de la mezcla en un vaso de vidrio de 100 ml. Para realizar la medición de la viscosidad fue necesario ensayar y elegir tanto las revoluciones por minuto (r.p.m.) y la aguja del equipo que mostraran lecturas intermedias entre 0 y 100 para que la medición sea más exacta.

Entonces, para determinar la viscosidad aparente de las mezclas encolantes utilizando la formulación industrial MAILSAC, formulación industrial GEA y la formulación básica VENCEDOR se emplearon las agujas #5, #3 y #4 respectivamente, a una velocidad de 10 r.p.m. y a una temperatura de 21°C. Las mediciones de viscosidad se realizaron cada 10 minutos durante dos horas.

Utilizando la tabla de factores del equipo, se multiplicaron las lecturas encontradas (deflexión) por el factor dependiente de la velocidad y de la aguja escogida, hallándose la viscosidad en centipoises. En el Anexo 5A, 5B y 5C se muestran los datos originales de las lecturas encontradas en el viscosímetro (deflexión) y su conversión a centipoises según formulación ensayada.

B) *PH*

A cada mezcla encolante se le midió el pH de acuerdo a la norma ASTM E 70 – 97 Standard Test Method for pH of Aqueous Solutions With the Glass Electrode (Anexo 6). Las mediciones se hicieron cada 10 minutos durante dos horas utilizando un pH metro digital calibrado. Se realizaron de manera conjunta con las mediciones de viscosidad.

3.4.7 PREPARACIÓN DE LOS TABLEROS

Se prepararon tableros contrachapados usando láminas de capinurí (*Maquira coriaceae* Karsten), lupuna (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn) y oje renaco (*Ficus schultesii* Dugand) con contenidos de humedad entre 9 a 12 por ciento y espesor de 1,5 mm con dimensiones de 60 x 60 cm, resultando un espesor nominal de 4,5 mm. Se realizó un previo lijado a las láminas de madera para obtener una homogeneidad en la superficie de la misma.

La preparación de la mezcla encolante se hizo en base a tres formulaciones: (a) formulación industrial MAILSAC, (b) formulación industrial GEA y (c) formulación básica VENCEDOR. En el Cuadro 2 se muestran las cantidades de cada componente utilizadas en las mezclas encolantes según tratamiento y formulación.

Cuadro 2 Componentes en la formulación de las mezclas encolantes

FORMULACIÓN	TRATAMIENTO	COMPONENTES EN LA MEZCLA ENCOLANTE (g)				
		Vence UF-603	Harina de yuca	Harina de trigo	Agua	Cloruro de amonio
MAILSAC	T1	44,81	68,13	0	68,13	1,10
	T2	44,81	51,10	17,10	68,13	1,10
	T3	44,81	34,10	34,10	68,13	1,10
GEA	T1	75,78	47,40	0	56,84	2,19
	T2	75,78	35,55	11,85	56,84	2,19
	T3	75,78	23,70	23,70	56,84	2,19
VENCEDOR	T4	97,40	0	48,64	34,10	2

En las Figuras 13, 14, 15, 16 y 17 se muestran las operaciones que se realizaron durante la preparación de los tableros.

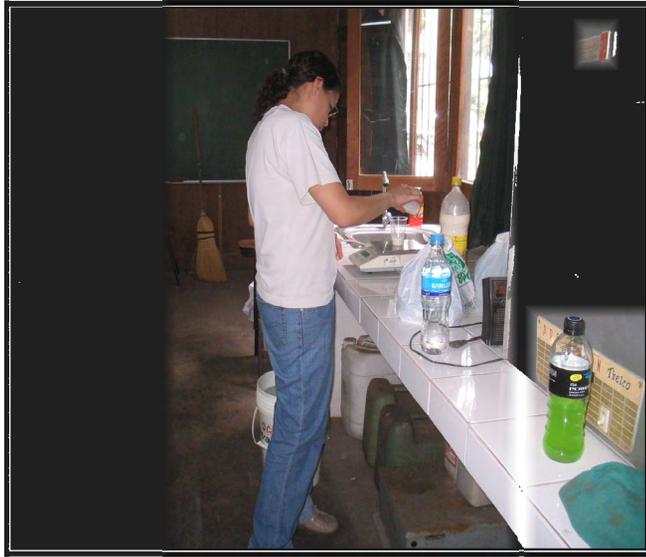


Figura 13 Pesado de los componentes para la preparación de las mezclas encolantes



Figura 14 Preparación de las mezclas encolantes



Figura 15 Aplicación de la mezcla encolante



Figura 16 Extendido de la mezcla encolante



Figura 17 Ensamblado de los tableros

El prensado se realizó en una prensa de platos calientes ORMA MACHINE. Las condiciones fueron:

Presión específica: 6 kg/cm²

Temperatura: 125 °C

Tiempo: 2 minutos

Se fabricaron nueve tableros de capinurí en base a la formulación industrial MAILSAC y a los tratamientos T1, T2, y T3 y tres tableros en base a la formulación básica VENCEDOR y al tratamiento T4.

Asimismo se fabricaron nueve tableros de ojú renaco en base a la formulación industrial GEA y a los tratamientos T1, T2 y T3, y tres tableros en base a la formulación básica VENCEDOR y al tratamiento T4.

Los tableros fabricados fueron acondicionados a temperatura ambiente en posición horizontal durante 24 horas para garantizar el curado del adhesivo utilizado.

Para la prueba a nivel industrial se utilizaron tres tableros por conformación elaborados por las empresas MAILSAC y GEA.

3.4.8 ENSAYO DEL CONTROL DE CALIDAD DE LOS TABLEROS

En la Figura 18 se muestra la distribución de las probetas del ensayo físico y del ensayo mecánico en el tablero contrachapado.

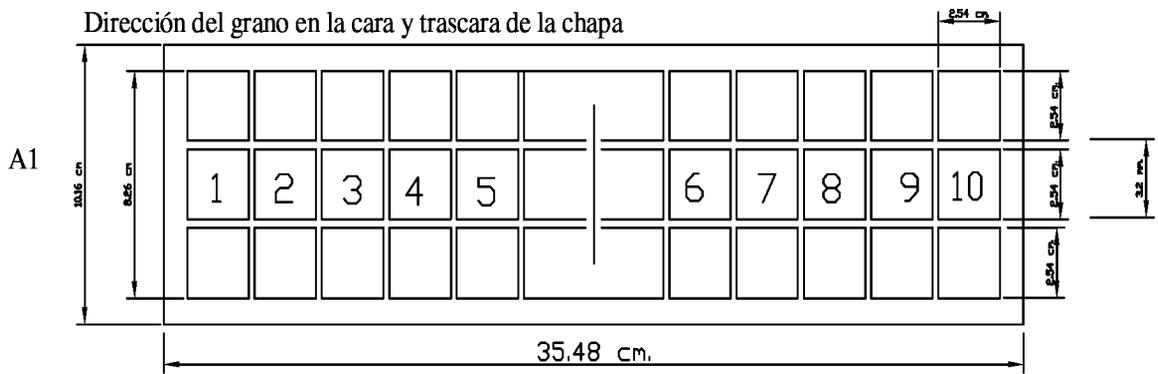
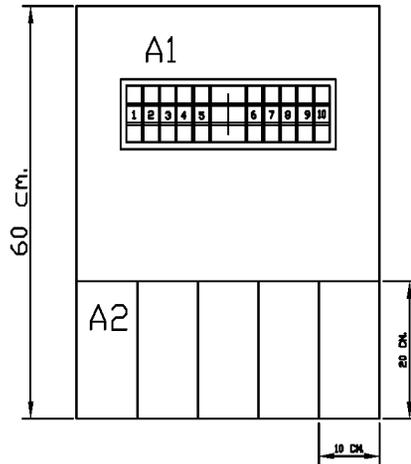
A) ENSAYO FÍSICO

Se evaluó la resistencia de los tableros a la humedad de acuerdo a la Norma Técnica Peruana 251.042: 1979 Tableros de Madera Contrachapados. Ensayo de encolado. Ensayo físico (Anexo 7). Este ensayo consistió en la inmersión de las probetas en agua a temperatura ambiente ($20 \pm 5^\circ\text{C}$) durante 24 horas. Con la ayuda de una palanqueta o espátula de metal se trató de separar las láminas de madera por la línea de cola. Cuando las láminas se separaron completamente por la línea de cola sin desgarrar la madera se le dio un puntaje de cero (0). A diferencia, cuando las láminas se separaron desgarrando la madera sin abrirse la línea de cola se le dio un puntaje de diez (10). En el Anexo 8 se presenta la escala de calidad de ligaduras en la línea de cola según la norma.

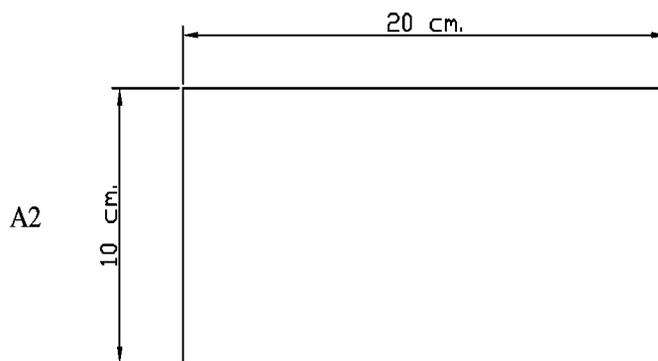
B) ENSAYO MECÁNICO

Se evaluó la resistencia de la línea de cola al esfuerzo de tracción paralela al grano de acuerdo a la norma ASTM D 906 – 98 Standard Test Method for Strength Properties of Adhesives in Plywood Type Construction in Shear by Tension Loading (Anexo 9). Se prepararon probetas de 2,54 x 8,26 cm las cuales fueron ensayadas en la prensa universal de ensayos mecánicos Tinius Olsen como se muestra en las Figura 19. Se seleccionó una velocidad de prensa de 0,0204 pulg/min adecuada al ensayo según la norma que establece que se deberá mantener un rango de carga entre 600 a 1000 lb/min. Se registró la carga máxima aplicada en libras y su posterior conversión a kilogramo y se calculó la resistencia de la línea de cola utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Resistencia de la línea de cola al esfuerzo de tracción paralela al grano} = \frac{\text{Carga aplicada (kg)}}{\text{Área de ensayo (cm}^2\text{)}}$$



A1: Probetas para el ensayo mecánico (tracción paralela a las fibras)



A2: Probetas para el ensayo físico (prueba de inmersión a $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas)

Figura 18 Distribución de las probetas en el tablero



Figura 19 Prensa y probeta en condiciones de ensayo

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para evaluar la resistencia de la línea de cola al esfuerzo de tracción paralela al grano se aplicó un Análisis de Varianza (ANVA) para un Diseño Completamente al Azar (DCA) para establecer si hubo diferencias significativas entre las medias de los tratamientos.

Donde se encontró diferencias significativas entre las medias de los tratamientos se realizó la prueba de Tukey. El nivel de confianza utilizado fue del 95% ($\alpha=0,05$).

Para evaluar la resistencia de los tableros a la humedad con lo cuatro tratamientos propuestos se aplicó la prueba de Kruskal – Wallis (comparación de medianas entre tratamientos), alternativa no paramétrica, ya que las condiciones de homocedasticidad y normalidad necesarias para la aplicación de la prueba paramétrica ANVA no eran cumplidas.

En la Figura 20 se muestra el diagrama del proceso de fabricación que se siguió en la elaboración de los tableros contrachapados.

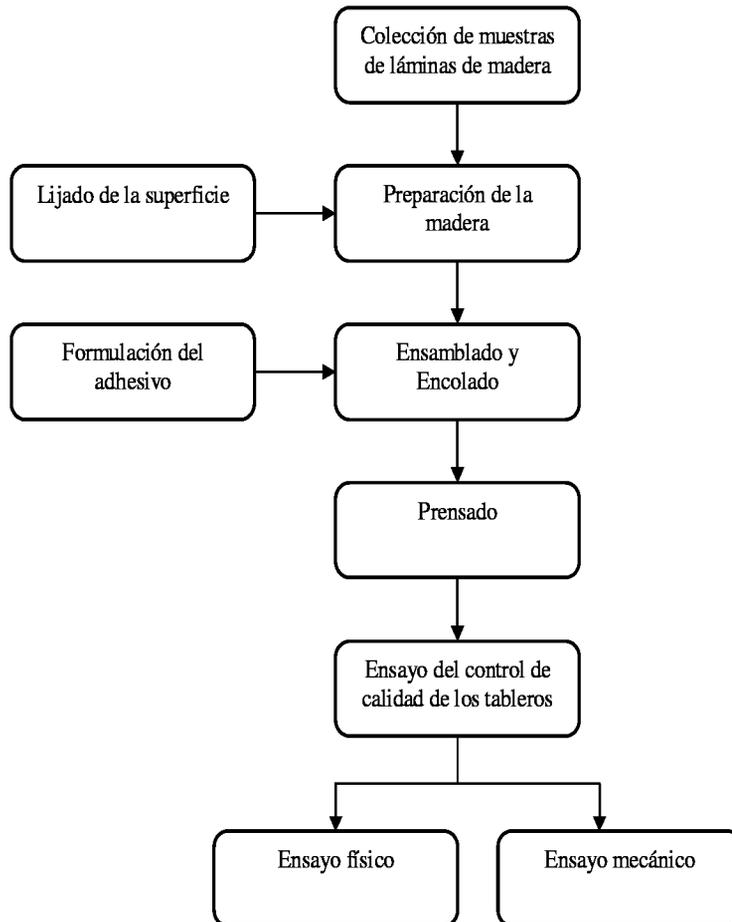


Figura 20 Diagrama del proceso de elaboración de los tableros contrachapados

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RENDIMIENTO DE LA HARINA DE YUCA

Se obtuvo 2,9 kg de harina a partir de 14,2 kg de raíces de yuca fresca, lo que significa un rendimiento del 41 por ciento.

En la Figura 21 se muestran los rendimientos de los componentes de las raíces de yuca que se generaron al elaborar como producto final harina.

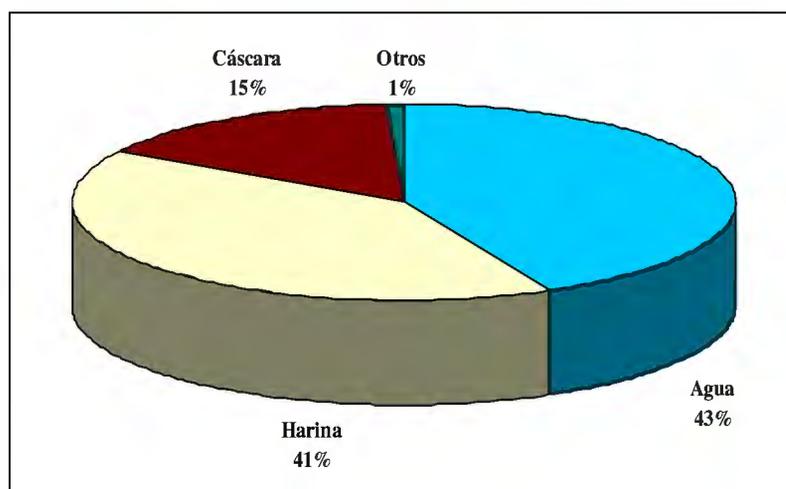


Figura 21 Rendimientos en la elaboración de harina de yuca

4.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS HARINAS

El Cuadro 3 muestra los valores promedios de las tres mediciones correspondientes al análisis químico de la harina de yuca y de la harina de trigo. Tanto el contenido de humedad como el pH presentaron poca variación entre las harinas. Se aprecia una diferencia significativa en el porcentaje de cenizas en la harina de yuca, esto indica que posee una mayor cantidad de elementos minerales que la harina de trigo. Los valores de pH de la harina de yuca variedad “señorita tres mesinas” y la harina de trigo están considerados como ligeramente ácidos. Acevedo, citado por Córdova (1992) señala que los valores ligeramente ácidos de partículas favorecen el fraguado de la resina urea formaldehído.

Cuadro 3 Análisis químico de las harinas de yuca y trigo

<i>Material</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>Cenizas (%)</i>	<i>pH</i>
Harina de yuca	12	2,9	6,29
Harina de trigo	13	0,4	5,94

4.3 EVALUACIÓN DE LAS MEZCLAS ENCOLANTES

4.3.1 VISCOSIDAD Y PH DE LAS MEZCLAS ENCOLANTES UTILIZANDO FORMULACIÓN INDUSTRIAL MAILSAC Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR

El Cuadro 4 presenta los valores de viscosidad aparente y pH obtenidos para cada mezcla encolante según tratamiento durante 120 minutos, utilizando formulación industrial MAILSAC y formulación básica VENCEDOR.

Cuadro 4 Variación de la viscosidad aparente (cP) y pH en el tiempo de las mezclas encolantes según tratamiento utilizando formulación industrial MAILSAC y formulación básica VENCEDOR

<i>Tiempo (min.)</i>	<i>Mezclas encolantes</i>							
	<i>Formulación industrial MAILSAC</i>						<i>Formulación básica VENCEDOR</i>	
	<i>T1</i>		<i>T2</i>		<i>T3</i>		<i>T4</i>	
	<i>Viscosidad</i>	<i>pH</i>	<i>Viscosidad</i>	<i>pH</i>	<i>Viscosidad</i>	<i>pH</i>	<i>Viscosidad</i>	<i>pH</i>
10	16 000	6,09	22 800	6,02	17 000	6,01	7 800	5,33
20	13 800	5,94	18 200	5,90	16 400	5,86	8 100	5,15
30	12 200	5,86	14 400	5,84	16 200	5,78	8 400	5,06
40	11 400	5,81	12 400	5,79	16 000	5,73	8 800	5,01
50	10 600	5,77	11 400	5,76	16 000	5,70	9 200	4,95
60	10 000	5,73	10 800	5,73	15 800	5,66	9 600	4,91
70	9 400	5,71	10 200	5,71	15 800	5,64	10 100	4,88
80	9 000	5,69	9 600	5,68	15 600	5,62	10 600	4,85
90	8 600	5,67	9 400	5,67	15 400	5,60	11 100	4,82
100	8 400	5,65	9 000	5,65	15 200	5,59	11 600	4,79
110	8 200	5,64	8 600	5,64	15 200	5,57	12 200	4,77
120	7 800	5,61	8 400	5,63	15 000	5,55	12 800	4,75

Estadísticamente se determinó que los coeficientes de correlación r de las curvas viscosimétricas T1, T2 y T3 se aproximan a -1, lo que indica que la correlación tiende a ser lineal inversa (mayores valores del tiempo indican menores valores de viscosidad) y en la curva viscosimétrica T4 se aproxima a 1 lo que indica una tendencia lineal directa (mayores valores del tiempo significan mayores valores de viscosidad). Una baja viscosidad del adhesivo dará como resultado una alta absorción por parte del sustrato lo que podría traer como consecuencia una unión de baja resistencia y a su vez una viscosidad muy alta impediría que el adhesivo penetre, quedándose solo por encima del sustrato ocasionando una posible unión de baja resistencia.

Se obtuvieron las siguientes ecuaciones de regresión es` adas para la viscosidad en cada mezcla encolante según tratamiento:

$$T1: \text{Viscosidad} = 14691 - 65,24 \text{ Tiempo}$$

$$T2: \text{Viscosidad} = 19000 - 106,2 \text{ Tiempo}$$

$$T3: \text{Viscosidad} = 16800 - 15,38 \text{ Tiempo}$$

$$T4: \text{Viscosidad} = 7059 + 45,63 \text{ Tiempo}$$

La variación de la viscosidad en el tiempo de las mezclas encolantes 100% harina de yuca (T1), 75% harina de yuca:25% harina de trigo (T2), 50% harina de yuca:50% harina de trigo (T3) y 100% harina de trigo (T4) se muestran en la Figura 22. La curva viscosimétrica de la mezcla encolante T4 presenta valores crecientes en comparación a las curvas de las mezclas encolantes T1, T2 y T3 en las cuales se aprecia una disminución de todos los valores de viscosidad al aumentar el tiempo. Se observa que al incrementar la proporción de harina de trigo en las mezclas encolantes se reduce considerablemente la disminución de la viscosidad. La harina de yuca induce un descenso en la viscosidad final del adhesivo en comparación con la harina de trigo como lo señala Bonilla (s.f.), lo cual explicaría el comportamiento de la mezcla encolante 100% harina de yuca (T1) que es la que muestra una mayor disminución.

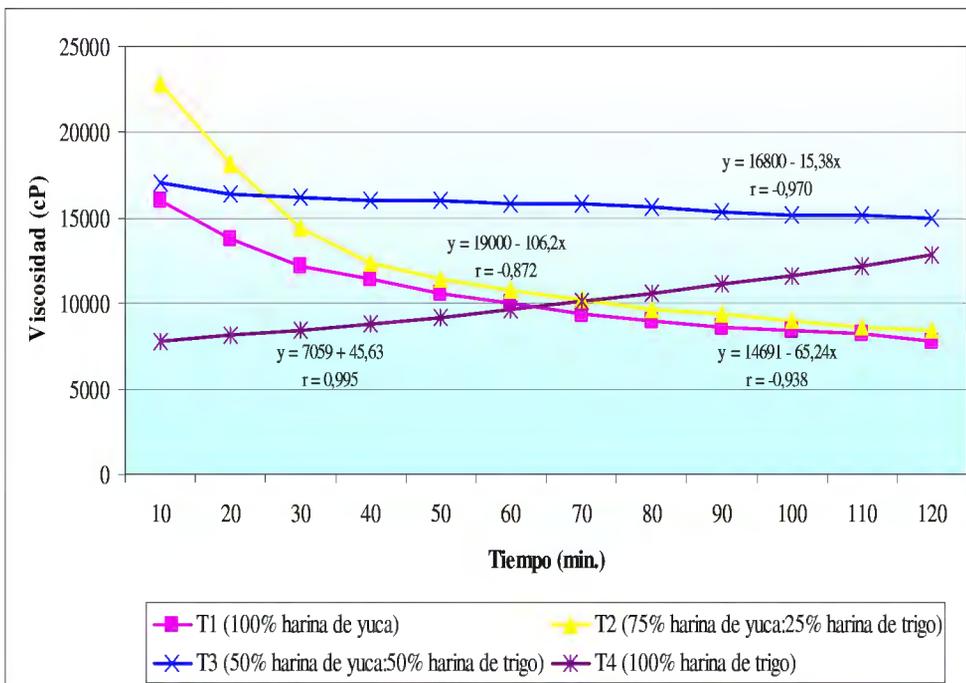


Figura 22 Variación de la viscosidad aparente (cP) en el tiempo de las mezclas encolantes según tratamiento utilizando formulación industrial MAILSAC y formulación básica VENCEDOR

En el análisis estadístico se muestra que también los valores de las curvas de pH de las mezclas encolantes según tratamiento en relación al tiempo presentan coeficientes de correlación cercanos a **-1** lo que indica una tendencia lineal inversa.

Se obtuvieron las siguientes ecuaciones de regresión estimadas para el pH en cada mezcla encolante según tratamiento:

T1: $\text{pH} = 5,999 - 0,003622 \text{ Tiempo}$

T2: $\text{pH} = 5,952 - 0,003084 \text{ Tiempo}$

T3: $\text{pH} = 5,914 - 0,003427 \text{ Tiempo}$

T4: $\text{pH} = 5,232 - 0,004517 \text{ Tiempo}$

En la Figura 23 se observa una disminución de todos los valores de pH al aumentar el tiempo, es decir, se incrementa el grado de acidez de cada mezcla encolante. La curva de pH de la mezcla encolante 100% harina de trigo (T4) presenta una mayor acidez y por lo tanto el tiempo de gelación será menor.

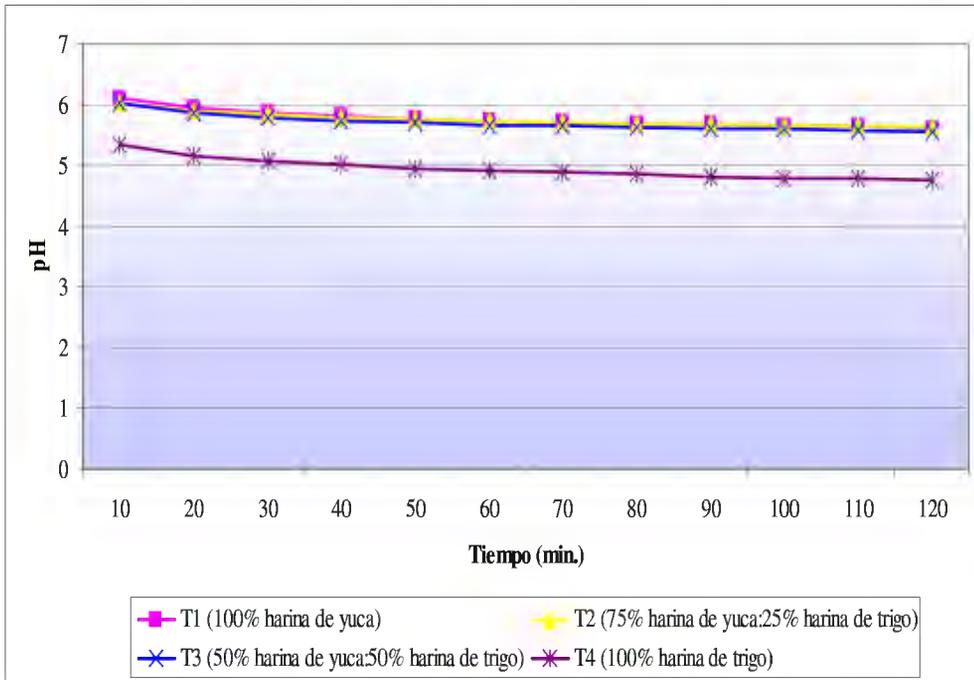


Figura 23 Variación del pH en el tiempo de las mezclas encolantes según tratamiento utilizando formulación industrial MAILSAC y formulación básica VENCEDOR

4.3.2 VISCOSIDAD Y PH DE LAS MEZCLAS ENCOLANTES UTILIZANDO

FORMULACIÓN INDUSTRIAL GEA Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR

En el Cuadro 5 se presentan los valores de viscosidad aparente y pH obtenidos para cada una de las mezclas encolantes durante 120 minutos utilizando formulación industrial GEA y formulación básica VENCEDOR.

Cuadro 5 Variación de la viscosidad aparente (cP) y pH en el tiempo de las mezclas encolantes según tratamiento utilizando formulación industrial GEA y formulación básica VENCEDOR

Tiempo (min.)	Mezclas encolantes							
	Formulación industrial GEA						Formulación básica VENCEDOR	
	T1		T2		T3		T4	
	Viscosidad	pH	Viscosidad	pH	Viscosidad	pH	Viscosidad	pH
10	5 800	5,57	4 100	5,66	3 650	5,55	7 800	5,33
20	5 850	5,45	4 000	5,48	3 650	5,40	8 100	5,15
30	5 900	5,39	3 800	5,40	3 700	5,32	8 400	5,06
40	5 800	5,34	3 600	5,35	3 750	5,27	8 800	5,01
50	5 750	5,30	3 500	5,32	3 800	5,23	9 200	4,95
60	5 700	5,27	3 400	5,29	3 850	5,20	9 600	4,91
70	5 600	5,25	3 350	5,26	3 850	5,18	10 100	4,88
80	5 550	5,23	3 300	5,24	3 900	5,15	10 600	4,85
90	5 500	5,21	3 250	5,22	4 000	5,13	11 100	4,82
100	5 400	5,19	3 250	5,21	4 050	5,12	11 600	4,79
110	5 350	5,18	3 250	5,19	4 200	5,10	12 200	4,77
120	5 300	5,17	3 250	5,17	4 300	5,08	12 800	4,75

Estadísticamente se determinó que los coeficientes de correlación r de las curvas viscosimétricas de las mezclas encolantes 100% harina de yuca (T1) y 75% harina de yuca:25% harina de trigo (T2) en relación al tiempo presentan valores cercanos a -1, lo que indica la alta correlación entre ambas variables presentando una tendencia lineal inversa (mayores valores de tiempo significan menores valores de viscosidad). Las curvas de las mezclas encolantes 50% harina de yuca:50% harina de trigo (T3) y 100% harina de trigo (T4) tienen un r cercano a 1, lo que señala también una alta correlación entre ambas variables pero con una tendencia lineal directa (mayores valores del tiempo significan mayores valores de viscosidad).

Se obtuvieron las siguientes ecuaciones de regresión estimadas para la viscosidad en cada mezcla encolante según tratamiento:

T1: Viscosidad = 5982 – 5,940 Tiempo

T2: Viscosidad = 4012 – 7,815 Tiempo

T3: Viscosidad = 3526 – 5,629 Tiempo

T4: Viscosidad = 7059 + 45,63 Tiempo

En la Figura 24 se observa una disminución de los valores de viscosidad al aumentar el tiempo para las mezclas encolantes 100% harina de yuca (T1) y 75% harina de yuca:25% harina de trigo (T2). El incremento de la viscosidad se aprecia en las curvas viscosimétricas de las mezclas encolantes 50% harina de yuca:50% harina de trigo (T3) y 100% harina de trigo (T4); quedando así demostrado que a mayor proporción de harina de trigo en mezcla encolante se incrementan los valores de viscosidad.

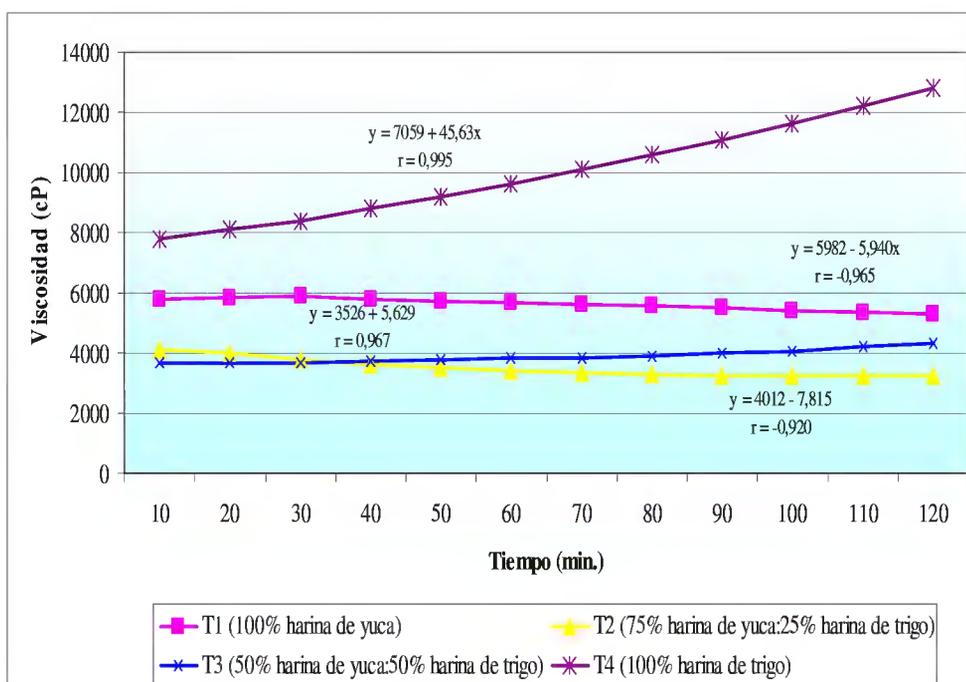


Figura 24 Variación de la viscosidad aparente (cP) en el tiempo de las mezclas encolantes según tratamiento utilizando formulación industrial GEA y formulación básica VENCEDOR

En el análisis estadístico se muestra que también los valores de las curvas de pH de las mezclas encolantes según tratamiento en relación al tiempo presentan coeficientes de correlación cercanos a **-1** lo que indica una tendencia lineal inversa.

Se obtuvieron las siguientes líneas de regresión estimadas para el pH en cada mezcla encolante según tratamiento:

T1: $\text{pH} = 5,503 - 0,003185 \text{ Tiempo}$

T2: $\text{pH} = 5,549 - 0,003584 \text{ Tiempo}$

T3: $\text{pH} = 5,460 - 0,003577 \text{ Tiempo}$

T4: $\text{pH} = 5,232 - 0,004517 \text{ Tiempo}$

La disminución de los valores de pH al aumentar el tiempo para las mezclas encolantes se observa en la Figura 25. La curva de la mezcla encolante 100% harina de trigo (T4) es la que presenta mayor acidez y por lo tanto el tiempo de gelación de la cola será menor.

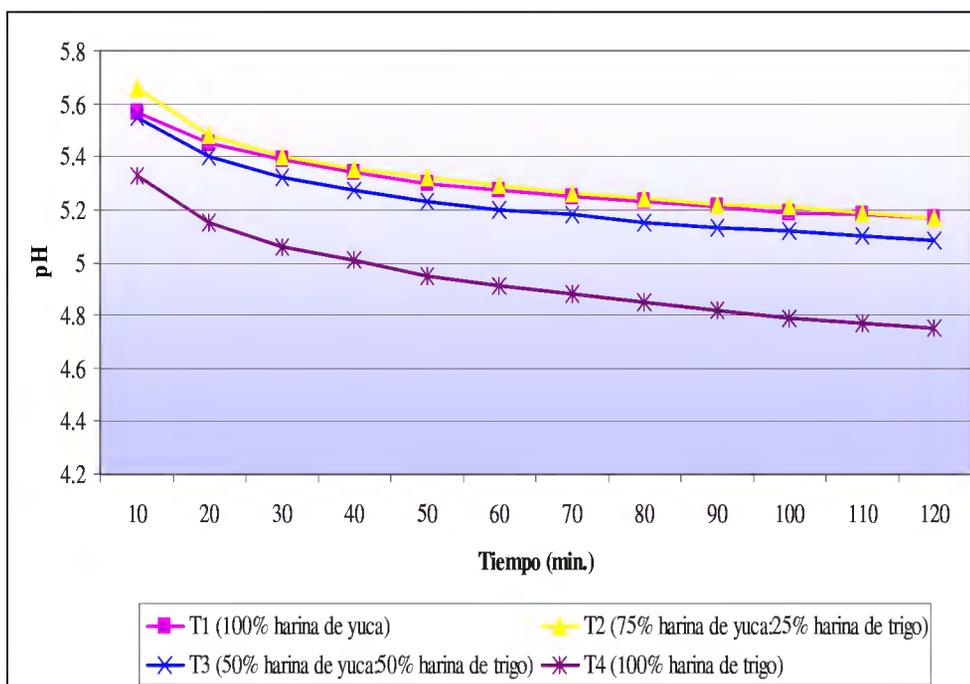


Figura 25 Variación del pH en el tiempo de las mezclas encolantes según tratamiento utilizando formulación industrial GEA y formulación básica VENCEDOR

4.4 EVALUACIÓN DE LOS TABLEROS

4.4.1 ENSAYO FÍSICO

A) ENSAYO FÍSICO DE LOS TABLEROS DE CAPINURÍ ELABORADOS EN BASE A FORMULACIÓN INDUSTRIAL MAILSAC Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR

En el Cuadro 6 se muestra la calificación promedio del encolado de los tableros elaborados de capinurí en base a formulación industrial MAILSAC (T1, T2 y T3) y formulación básica VENCEDOR (T4). Los tableros que han sido elaborados en base a formulación básica VENCEDOR y utilizando como extendedor solo harina de trigo (T4) son los que presentan un mayor valor de resistencia a la humedad. Este valor es superior a los obtenidos por Córdova (1992), Duda (1996) y Paredes (1995) con promedios de resistencia a la humedad de 4 y 5 e igual a los que reportaron Santos (2007) y Ttito (2007) con un valor de 6. En los tableros elaborados en base a formulación industrial MAILSAC y diferentes proporciones de extendedores no se obtuvieron encolados satisfactorios.

Cuadro 6 Valores promedio del ensayo físico de los tableros de capinurí utilizando formulación industrial MAILSAC (T1, T2 y T3) y formulación básica VENCEDOR (T4)

FORMULACIÓN	TRATAMIENTO	RESISTENCIA A LA HUMEDAD			PROMEDIO
		Tablero 1	Tablero 2	Tablero 3	
MAILSAC	T1	0	0	0	0
	T2	1	1	1	1
	T3	3	0	0	1
VENCEDOR	T4	8	8	3	6

En el análisis de viscosidad se demostró que la curva viscosimétrica de la mezcla encolante utilizando 100% harina de trigo (T4) era la que presentaba un incremento de los valores en relación al tiempo comparada con las otras tres mezclas encolantes ensayadas (T1, T2 y T3). La viscosidad de un adhesivo define la situación del fraguado. Esto indica que hubo una buena adherencia entre el adhesivo y la superficie de la madera y que existió una correlación entre la cantidad de los componentes que se emplearon en la mezcla encolante 100% harina de trigo utilizando formulación básica VENCEDOR.

Al realizar el ensayo físico de los tableros industriales de capinurí elaborados en base a formulación industrial MAILSAC donde solo se utilizó harina de trigo como extendedor, se obtuvo un promedio de resistencia a la humedad de valor 4. Este valor ha resultado ser menor con respecto al que se obtuvo con la mezcla encolante 100% harina de trigo utilizando formulación básica VENCEDOR, pero está dentro del rango de encolado aceptable según la norma utilizada.

Para analizar la información generada del ensayo de resistencia a la humedad de los tableros con sus respectivos tratamientos y para poder definir su similitud o diferencia se realizó la Prueba de Kruskal-Wallis para los tableros elaborados de capinurí en base a la formulación industrial MAILSAC (T1, T2 y T3) y formulación básica VENCEDOR (T4). En el Anexo 10 se muestran los valores obtenidos a partir del desarrollo de dicha prueba para la comparación de resultados entre los tratamientos. Se observa que al menos uno de los tratamientos tiene la mediana de los valores de resistencia a la humedad diferente a las demás ($p < 0,05$) y que el mayor valor corresponde al tratamiento T4.

B) ENSAYO FÍSICO DE LOS TABLEROS DE OJÉ RENACO ELABORADOS EN BASE A FORMULACIÓN INDUSTRIAL GEA Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR

En el Cuadro 7 se muestra la calificación promedio del encolado de los tableros elaborados de ojú renaco en base a formulación industrial GEA (T1, T2 y T3) y formulación básica VENCEDOR (T4). Los tableros que han sido elaborados en base a la formulación básica VENCEDOR (T4) son los que presentan un mayor valor de resistencia a la humedad, considerándose un encolado aceptable para este tipo de tablero. Este valor es igual a los obtenidos por Córdova (1992) y Duda (1996) con un promedio de 4 e inferior a los que reportan Paredes (1995), Santos (2007) y Ttito (2007) con promedios de valor de resistencia a la humedad de 5 y 6. En los tableros elaborados en base a formulación industrial GEA y diferentes proporciones de extendedores según tratamiento (T1, T2 y T3) no se obtuvieron encolados satisfactorios.

Cuadro 7 Valores promedio del ensayo físico de los tableros de ojú renaco utilizando formulación industrial GEA (T1, T2 y T3) y formulación básica VENCEDOR (T4)

FORMULACIÓN	TRATAMIENTO	RESISTENCIA A LA HUMEDAD			PROMEDIO
		Tablero 1	Tablero 2	Tablero 3	
GEA	T1	0	0	1	0
	T2	0	0	0	0
	T3	0	0	1	0
VENCEDOR	T4	2	3	6	4

En el análisis de viscosidad se demostró que la curva viscosimétrica de la mezcla encolante utilizando 100% harina de trigo (T4) era la que presentaba un incremento de los valores en relación al tiempo comparada con las otras tres mezclas encolantes ensayadas (T1, T2 y T3).

Un adhesivo debe tener una viscosidad adecuada, requiere entre sus características no ser líquida para que no penetre demasiado en la madera ni muy viscosa para que solo quede encima de la madera.

Si se observan los resultados promedio de resistencia a la humedad de los tableros de ojú renaco ensayados es claro que donde se utilizó harina de yuca como extendedor en reemplazo de la harina de trigo y que fueron preparados en base a una formulación diferente a la que recomienda VENCEDOR, los resultados no fueron satisfactorios.

Para analizar la información generada del ensayo de resistencia a la humedad de los tableros con sus respectivos tratamientos y para poder definir su similitud o diferencia se realizó la Prueba de Kruskal-Wallis para los tableros elaborados de ojú renaco en base a la formulación industrial GEA (T1, T2 y T3) y formulación básica VENCEDOR (T4). En el Anexo 11 se muestran los valores obtenidos a partir del desarrollo de dicha prueba para la comparación de resultados entre los tratamientos. Se observa que al menos uno de los tratamientos tiene la mediana de los valores de resistencia a la humedad diferente a las demás ($p < 0,05$) y que el mayor valor corresponde al tratamiento T4.

En el Anexo 12A y 12B se muestran los valores originales del ensayo físico de las probetas elaboradas de capinurí y de ojú renaco según tratamiento y formulación ensayada.

En las Figuras 26 y 27 se muestran las calificaciones de encolado que se obtuvieron en algunas de las probetas de los tableros ensayados.



Figura 26 Calidad de ligadura 0 en probeta de ensayo físico de capinurí



Figura 27 Calidad de ligadura 0 en probeta de ensayo físico de ojé renaco

4.4.2 ENSAYO MECÁNICO

A) ENSAYO MECÁNICO DE LOS TABLEROS DE CAPINURÍ ELABORADOS EN BASE A FORMULACIÓN INDUSTRIAL MAILSAC Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR

En el Cuadro 8 se presentan los valores promedio de resistencia de la línea de cola al esfuerzo de tracción paralela al grano y la calificación de la falla obtenidos para los ensayos de las probetas de los tableros contrachapados de capinurí elaborados en base a formulación industrial MAILSAC y formulación básica VENCEDOR utilizando diferentes proporciones de extendedor según tratamiento. Se observa que los valores promedio de resistencia de los tableros varían desde 15,62 a 17,59 kg/cm². Estos valores se encuentran dentro del rango aceptado para tableros de uso interior.

Cuadro 8 Valores promedio de resistencia de la línea de cola al esfuerzo de tracción paralela al grano (kg/cm²) de los tableros de capinurí utilizando formulación industrial MAILSAC (T1, T2 y T3) y formulación básica VENCEDOR (T4)

FORMULACIÓN	TRATAMIENTO	PROMEDIO DE RESISTENCIA DEL TABLERO (kg/cm ²)			PROMEDIO (kg/cm ²)	CALIFICACIÓN DE LA FALLA
		Tablero 1	Tablero 2	Tablero 3		
MAILSAC	T1	13,39	21,26	17,58	17,40	10
	T2	19,41	14	18,54	17,52	10
	T3	18,97	9,55	18,33	15,62	10
VENCEDOR	T4	16,53	13,95	22,28	17,59	10

A excepción de los tableros en base al tratamiento T3 no se presentan grandes diferencias entre los valores de resistencia de la línea de cola al esfuerzo de tracción paralela al grano entre los tres tratamientos restantes T1, T2 y T4. Esto quiere decir que las fuerzas que se desarrollaron dentro de los propios adhesivos y la unión de estos y la madera fueron satisfactorias. Prueba de ello también es el resultado de la calificación de la falla con un resultado de 10 lo que indica que la falla ha ocurrido en la madera y no en el adhesivo.

Sin embargo el tratamiento T4 obtuvo un mayor valor promedio de resistencia a la tracción paralela (17,59 kg/cm²). Este valor es superior a los obtenidos por Córdova (1992) de 10,56

kg/cm²; Duda (1996) de 15,43 kg/cm²; Paredes (1995) de 15,75 kg/cm²; Santos (2007) de 15,39 kg/cm² y Ttito (2007) de 15,05 kg/cm² en trabajos similares realizados.

Kollman citado por Ttito (2007) señala que una acidez o alcalinidad fuerte reducen la resistencia de la unión en los tableros. Asimismo menciona que existe una correlación lineal positiva entre la humectabilidad y la resistencia de la unión de las colas de urea formaldehído lo que a su vez se relaciona con la viscosidad de las mezclas. Esta información podría explicar por qué el tratamiento T3 (15,62 kg/cm²) ha presentado una menor resistencia en comparación con los tratamientos T1 (17,4 kg/cm²), T2 (17,52 kg/cm²) y T4 (17,59 kg/cm²); ya que dicha mezcla encolante presenta una mayor viscosidad lo que indicaría que la humectabilidad es menor y por consecuencia podría presentar una menor adhesión del adhesivo a la madera.

Al realizar el ensayo mecánico de los tableros industriales de capinurí elaborados en base a formulación industrial MAILSAC en los cuales solo se utilizó harina de trigo como extendedor se obtuvo un promedio de resistencia de la línea de cola al esfuerzo de tracción paralela al grano de 9,25 kg/cm². Este valor es claramente menor a los que se reportan en el análisis hecho durante el presente estudio y que se puede observar en el Cuadro 8.

Para determinar la similitud o diferencia entre los resultados promedio obtenidos para la resistencia de la línea de cola al esfuerzo de tracción paralela al grano de los tableros de capinurí elaborados en base a formulación industrial MAILSAC y formulación básica VENCEDOR y sus respectivos tratamientos se realizó el Análisis de Varianza (ANVA), dichos resultados se muestran en el Anexo 13.

El Análisis de Varianza demuestra que no existen diferencias significativas ($Pr > F = 0,2114 > 0,05$) entre las medias de los tratamientos al evaluar la resistencia de la línea de cola al esfuerzo de tracción paralela al grano de los tableros contrachapados de capinurí elaborados en base a formulación industrial MAILSAC y formulación básica VENCEDOR utilizando diferentes proporciones de extendedor según tratamiento. Esto quiere decir que es posible fabricar este tipo de tablero contrachapado en base a cualquiera de las dos formulaciones con sus respectivos tratamientos.

**B) ENSAYO MECÁNICO DE LOS TABLEROS DE OJÉ RENACO ELABORADOS EN BASE
A FORMULACIÓN INDUSTRIAL GEA Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR**

El Cuadro 9 muestra los valores promedio de resistencia de la línea de cola al esfuerzo de tracción paralela al grano que se obtuvieron de las probetas ensayadas de los tableros contrachapados de ojé renaco elaborados en base a formulación industrial GEA y formulación básica VENCEDOR utilizando diferentes proporciones de extendedor según tratamiento. Se observa que los valores promedio de resistencia de los tableros varían desde 14,65 a 18,33 kg/cm², encontrándose estos valores dentro del rango aceptado para tableros de uso interior.

Cuadro 9 Valores promedio de resistencia de la línea de cola al esfuerzo de tracción paralela al grano (kg/cm²) de los tableros de ojé renaco utilizando formulación industrial GEA (T1, T2, y T3) y formulación básica VENCEDOR (T4)

FORMULACIÓN	TRATAMIENTO	PROMEDIO DE RESISTENCIA DEL TABLERO (kg/cm ²)			PROMEDIO (kg/cm ²)	CALIFICACIÓN DE LA FALLA
		Tablero 1	Tablero 2	Tablero 3		
GEA	T1	13,56	17,66	12,29	14,50	9
	T2	13,41	14,28	16,40	14,69	10
	T3	20,43	17,23	17,35	18,33	10
VENCEDOR	T4	13,61	19,74	14,47	15,94	10

Los tableros elaborados en base a T3 (18,33 kg/cm²) dieron como resultado un mayor valor de resistencia de la línea de cola al esfuerzo de tracción paralela al grano en comparación a los tres tratamientos restantes T1, T2 y T4. Este valor promedio de resistencia es superior a los obtenidos por Córdova (1992) de 10,56 kg/cm²; Duda (1996) de 15,43 kg/cm²; Paredes (1995) de 15,75 kg/cm²; Santos (2007) de 15,39 kg/cm² y Ttito (2007) de 15,05 kg/cm² en trabajos similares realizados.

Las calificaciones de falla no presentan diferencias, esto quiere decir que las fuerzas que se desarrollaron dentro de los propios adhesivos y la unión de estos y la madera fueron satisfactorias. Kollman citado por Ttito (2007) menciona que existe una correlación lineal positiva entre humectabilidad y la resistencia de la unión en colas de urea formaldehído, lo que se relaciona a su vez con la viscosidad de las mezclas. Esto explicaría por qué los tableros ensayados en base al tratamiento T3 resultaron con un mayor valor promedio de resistencia ya

que es la que presenta una menor viscosidad por consiguiente su humectabilidad será un tanto mayor que las otras mezclas encolantes ensayadas.

En el ensayo mecánico de los tableros industriales de oje renaco elaborados en base a formulación industrial GEA y utilizando 100 por ciento harina de trigo como extendedor se obtuvo un valor promedio de resistencia de la línea de cola al esfuerzo de tracción paralela al grano de 14,14 kg/cm². Este valor es similar a los que se obtuvo con los tratamientos T1 y T2 e inferior a los tratamientos T3 y T4.

Para determinar la similitud o diferencia entre los resultados promedio obtenidos para la resistencia de la línea de cola al esfuerzo de tracción paralela al grano de los tableros de oje renaco elaborados en base a formulación industrial GEA y formulación básica VENCEDOR y sus respectivos tratamientos se realizó el Análisis de Varianza. El Análisis de Varianza demostró que hubo diferencias altamente significativas ($Pr > F = 0,0004 < 0,05$) entre las medias de los tratamientos al evaluar la resistencia de la línea de cola al esfuerzo de tracción paralela al grano de los tableros contrachapados de oje renaco elaborados en base a formulación industrial GEA y formulación básica VENCEDOR utilizando diferentes proporciones de extendedor según tratamiento. La prueba de Tukey demuestra que existen diferencias significativas entre las medias de los valores de resistencia a la tracción paralela al grano entre los tratamientos T3 (50% harina de yuca: 50% harina de trigo) y T2 (75% harina de yuca: 25% harina de trigo) y entre los tratamientos T3 y T1 (100% harina de yuca). Los resultados se muestran en el Anexo 14.

En el Anexo 15A y 15B se muestran los valores originales del ensayo mecánico de las probetas elaboradas de capinurí y de oje renaco según tratamiento y formulación ensayada.

5. CONCLUSIONES

- La harina de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) de la variedad “señorita tres mesinas” puede ser utilizada como extendedor en reemplazo de la harina de trigo en la formulación de adhesivos para la fabricación de tableros contrachapados de capinurí y de ojé renaco.
- La viscosidad de las mezclas encolantes no provocan problemas de extendido sobre las superficies de las chapas. Los rangos de viscosidad alcanzados en las formulaciones permiten la manejabilidad de la cola en las superficies de la madera.
- A medida que se incrementa la proporción de harina de yuca como extendedor disminuye la resistencia a la humedad de los tableros contrachapados de capinurí y de ojé renaco.
- Los valores de resistencia de la línea de cola al esfuerzo de tracción paralela al grano aumentan cuando se incorpora en un 100 y 75 por ciento harina de yuca como extendedor en los tableros contrachapados de capinurí.
- Los valores de resistencia de la línea de cola al esfuerzo de tracción paralela al grano disminuyen cuando se incorpora en un 100 y 75 por ciento harina de yuca como extendedor en los tableros contrachapados de ojé renaco.

6. RECOMENDACIONES

- Estudiar las propiedades del almidón de yuca como posible componente en la formulación de colas para tableros contrachapados de madera.
- Cuantificar la influencia del cloruro de amonio (NH_4Cl) en el curado de las resinas urea formaldehído.
- Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de harina de yuca en la ciudad de Pucallpa.

BIBLIOGRAFÍA

- AEMAC (Asociación Española de Materiales Compuestos). s.f. Glosario de términos (en línea). Consultado 6 jul. 2008. Disponible en <http://www.aemac.org/html/glosario.htm>
- Arriandiaga, MV. s. f. Adhesivos sintéticos: riesgo higiénico de resinas y otros componentes (en línea). ES. Consultado 5 mar. 2009. Disponible en [http://ge-iic.com/files/fichas%20productos/Riesgo de resinas y otros componentes.pdf](http://ge-iic.com/files/fichas%20productos/Riesgo_de_resinas_y_otros_componentes.pdf)
- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). 1997a. Designation: D 1084
_____. 1997b. Designation: E 70
_____. 1998. Designation: D 906
- Barbieri Briceño, RW. 2002. Determinación de los tiempos óptimos de prensado en tableros enchapados de ishpingo (*Amburana cearensis*) y carapacho (*Micrandra spruceana*) Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 102 p.
- Bonilla, AM. s.f. Estudio de la viabilidad técnica, económica y comercial de la obtención de adhesivos para uso en la industria de cartón corrugado, a partir de almidón de yuca extraído por vía seca (en línea). VE. Consultado 5 ago. 2008. Disponible en http://www.sian.info.ve/porcinos/eventos/clayuca0102/ana.htm#_ftn1
- Canchucaya Rojas, JC. 2001. Influencia de la presión específica en el prensado de tableros contrachapados de lupuna (*Chorisia integrifolia*). Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 66p.
- Córdova Quintana, RM. 1992. Harina de madera como carga en la formulación de colas para tableros contrachapados. Tesis Mag. Sc. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 94p.
- Corporación Colombia Internacional. 1993. Yuca productos derivados: Oportunidades de exportación para la región andina. 24p.
- China Rivera, JD. s.f. *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn (en línea). Consultado 19 ago. 2008. Disponible en <http://www.fs.fed.us/global/iitf/Ceibapentandra.pdf>

- Del Real, JC. 1997. Tecnología de la Adhesión (Propiedades de los adhesivos y los selladores después del curado) (en línea) Universidad Pontificia Comillas de Madrid. Consultado 5 mar. 2009. Disponible en <http://www.scribd.com/doc/14494450/tecnad>
- Duda Marín, OA. 1996. Uso de la harina de yuca (*Manihot sp.*) en la formulación de cola para tableros contrachapados. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 90p.
- Foro Forestal Maderero de bosque y madera. 2004. Adhesivos (en línea). Consultado 4 jul. 2008. Disponible en <http://www.ffmpeg.cl/viewtopic.php?t=4>
- Fox, CW. s.f. Adhesivos en dispersión acuosa para el etiquetado de botellas de PET: Propiedades, características y especificaciones (en línea). Consultado 5 mar. 2009. Disponible en <http://www.tecnicomadhesivos.com.ar/manuales/AdhesivoEnvasesPET.pdf>
- García Esteban, L; Guindeo, A; Peraza, C; De Palacios, P. 2002. La madera y su tecnología. Madrid, ES, Ediciones Mundi Prensa. 322p.
- González Díaz, R. 1997. Tecnología de la Adhesión (Tecnologías relacionadas con los adhesivos y los selladores) (en línea) EUITA de España. Consultado 5 mar. 2009. Disponible en <http://www.scribd.com/doc/14494450/tecnad>
- Houwink, R; Salomon, G. 1978. Adherencia y Adhesivos. Bilbao, ES, Ediciones Urmo. v. 2, 360p.
- INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, PE). 1975a. Norma Técnica Peruana 205.037. Lima. 2p.
- _____. 1975b. Norma Técnica Peruana 205.038. Lima. 3p.
- _____. 1979. Norma Técnica Peruana 251.042. Lima. 5p.
- Industrias Vencedor S. A. s.f. Curado de Resinas VENCE UF. Lima, PE. Departamento Técnico. 1p.
- _____. 2003. Especificación técnica: VENCE UF-603. Lima, PE. División Química. 3p.
- INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales, PE). 1996. Utilización Industrial de Nuevas Especies Forestales en el Perú. Lima, PE. 326-329 p.

- _____. 2005. Perú Forestal en Números. Ministerio de Agricultura Dirección General Forestal. 134p.
- Loza De la Cruz, RM. 2004. Influencia del extendido de cola en la resistencia de tableros contrachapados de lupuna (*Chorisia integrifolia*). Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 55p.
- Madrid Vega, M. 1997. Tecnología de la Adhesión (en línea). Loctite España. Consultado 5 mar. 2009. Disponible en <http://www.scribd.com/doc/14494450/tecnad>
- Martín Martínez, JM. 1997. Tecnología de la Adhesión (Propiedades de los adhesivos y los selladores antes del curado) (en línea), Loctite España. Consultado 5 mar. 2009. Disponible en <http://www.scribd.com/doc/14494450/tecnad>
- Nebel, G. 2000. Árbol de la llanura aluvial amazónica *Maquira coriacea* (Karsten) C.C. Berg: Aspectos de ecología y manejo (en línea), Folia Amazónica 11 (1-2): 9-10. Consultado 19 ago. 2008. Disponible en http://www.siforestal.org.pe/Archivo/Arbol_Llanura_aluvial.pdf
- Oxiquim S.A. 2005. Sistemas de Aplicación de Adhesivo en Plantas de Tableros Contrachapados (en línea). CL. Consultado 11 nov. 2008. Disponible en www.cormabiobio.cl/encuentro2005/Presentaciones/tablerosychapas/alfredoconstabel.ppt
- Paredes Angulo, AR. 1995. Harina de plátano como extendedor en la formulación de cola para tableros contrachapados. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 114p.
- Reina, MJ. s.f. Fibras químicas (en línea). Divulgación 100tífica. Consultado 27 jul. 2008. Disponible en <http://perso.wanadoo.es/jjreina/divulgacion/100tifica/articulo/fibras/fibras.htm>
- Santos Arenas, N. 2007. Harina de pituca (*Colocasia esculenta* Schott) como extendedor en la formulación de cola para tableros contrachapados. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 66p.

- Ttito Clavo, A. 2007. Aptitud de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) de la Región San Martín como extendedor en la formulación de tableros contrachapados. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 63p.
- Vargas Tao, AO. 1997. Colas animales (en línea). Universidad del Tolima Programa de Ingeniería Agroindustrial, Ibaque, CO. Consultado 26 jul. 2008. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos13/animal/animal.shtml>

ANEXO 1

NORMA TÉCNICA PERUANA 205.037 HARINAS. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

(Página siguiente)

PERU NORMA TÉCNICA NACIONAL	<u>HARINAS</u> Determinación del Contenido de Humedad	IINTEC 205.037 Junio, 1975
<p>1. <u>OBJETO</u></p> <p>1.1 La presente Norma establece el método de ensayo para determinar el contenido de humedad de las harinas a emplearse en la elaboración de productos alimenticios.</p> <p>1.2 La presente Norma es aplicable a las harinas de cereales, leguminosas de grano, tubérculos y raíces alimenticios.</p> <p>2. <u>PRINCIPIO DEL MÉTODO</u></p> <p>2.1 Se basa en la determinación del contenido de agua de la muestra, por diferencias entre su peso inicial y el peso de ella, una vez desecada en la estufa.</p> <p>3. <u>APARATOS</u></p> <p>3.1 Balanza analítica, con sensibilidad de 0,1 mg .</p> <p>3.2 Estufa con termostato, con capacidad de alcanzar temperaturas de $130^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$.</p> <p>3.3 Crisoles de aluminio con tapa.</p> <p>3.4 Desecador a base de Silicagol, Cloruro de calcio u otro deshidratante.</p> <p>4. <u>PREPARACION DE LA MUESTRA Y ESPECIMEN</u></p> <p>4.1 Se pesan 5,000 g de la muestra de harina en un crisol de aluminio previamente tarado.</p> <p>5. <u>PROCEDIMIENTO</u></p> <p>5.1 Se coloca en la estufa, sellado, el crisol que contiene la porción de muestra pesada.</p>		
R.D. N° 212-75 IINTEC DG/DN del 75-06-23 2 páginas.		
C.D.U.: 664.641		REPRODUCCION PROHIBIDA

- 5.1.1 Se regula la estufa para que alcance una temperatura de $130^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$.
- 5.1.2 Se deja desecar por una hora, contada a partir del momento que la estufa alcanza los 130°C .
- 5.2 Se tapa el crisol, se extrae de la estufa y se pone a enfriar en el desecador, hasta que llegue a la temperatura ambiente.
- 5.3 Se pesa.

6. EXPRESION DE RESULTADOS

- 6.1 El contenido de humedad se expresa en %.
- 6.2 El % de humedad se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ humedad} = \frac{(P_1 - P_2) 100}{m},$$

donde:

- P_1 = Peso del crisol más la porción de muestra sin desecar.
- P_2 = Peso del crisol más la porción de muestra desecada.
- m = Peso de la porción de muestra.

7. INFORME

- 7.1 En el informe del ensayo se debe mencionar el método usado y los resultados obtenidos. Se debe también indicar cualquier detalle operativo no proporcionado en esta Norma o cualquier detalle opcional, como también cualquier circunstancia que pudiera haber influido en los resultados.
- 7.2 En el informe se deben incluir todos los detalles necesarios para la completa identificación de la muestra.

ANEXO 2

NORMA TÉCNICA PERUANA 205.038 HARINAS. DETERMINACIÓN DE CENIZAS

(Página siguiente)

HARINAS. Determinación de cenizas

1. OBJETO

1.1 La presente Norma establece el método de ensayo para determinar las cenizas en las harinas a emplearse en la elaboración de productos alimenticios.

1.2 La presente Norma es aplicable a las harinas de cereales, leguminosas de grano, raíces y tubérculos, alimenticios.

2. PRINCIPIO DEL MÉTODO

2.1 Se basa en la incineración de una parte exactamente pesada de la muestra, para determinar su contenido mineral.

3. APARATOS

3.1 Balanza analítica con sensibilidad de 0,1 mg .

3.2 Horno-mufla eléctrico, con termoregulador.

3.3 Crisoles de platino, vitreosil o porcelana.

3.4 Desecadores a base de silicagel, cloruro de calcio u otro deshidratante.

4. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA Y ESPECÍMEN

4.1 Se pesan 3 g a 5 g de la muestra de harina en un crisol previamente tarado.

5. PROCEDIMIENTO

5.1 Se coloca el crisol que contiene la porción de muestra en el horno – mufla.

5.1.1 Se regula el horno-mufla para que alcance una temperatura de 600 °C .

5.1.2 Se quema la porción de muestra con el horno-mufla parcialmente cerrado, hasta que la combustión sea completa.

5.1.3 Se cierra el horno-mufla y se incinera la porción de muestra hasta la obtención de cenizas.

5.1.4 El tiempo de incineración debe de ser de 2 horas mínimo, contadas desde el momento que se alcanza los 600 °C .

5.2 Se extrae el crisol y se pone a enfriar en el desecador.

5.3 Una vez enfriada hasta temperatura ambiente, se pesa.

6. EXPRESIÓN DE RESULTADOS

6.1 El contenido de ceniza de la muestra se expresa en %, referido a su peso inicial.

6.2 El % de cenizas se obtiene aplicando la fórmula siguiente, calculada en base a 15 % de humedad:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{(P_1 - P_0) 100}{P} \times \frac{85}{100 - H}$$

Donde:

- P_1 = Peso del crisol más las cenizas;
- P_0 = Peso del crisol;
- P = Peso inicial de la porción de muestra;
- H = Humedad de la muestra (%).

7. INFORME

7.1 En el informe del ensayo se debe mencionar el método usado y los resultados obtenidos. También se debe indicar cualquier detalle operativo no proporcionado en esta NTP o cualquier detalle opcional, como también cualquier circunstancia que pudiera haber influido en los resultados.

7.2 En el informe se deben incluir los detalles necesarios para la completa identificación de la muestra.

ANEXO 3

A. VALORES OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LAS HARINAS DE YUCA Y TRIGO

Peso (g)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Crisol	13,2950	13,6041	22,0311
Harina de yuca	5,7876	5,1389	5,1162
Crisol + harina de yuca (P1)	19,0826	18,743	27,1473
Estufa eléctrica 130°C (dos horas)			
Crisol + harina de yuca (P2)	18,3989	18,14	26,5418

Peso (g)	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
Crisol	15,2672	14,0084	18,9588
Harina de yuca	3,8024	3,9339	4,0827
Crisol + harina de yuca (P1)	19,0696	17,9423	22,9875
Estufa eléctrica 130°C (dos horas)			
Crisol + harina de yuca (P2)	18,5831	17,4403	22,4729

**B. VALORES OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CENIZAS EN LAS
HARINAS DE YUCA Y TRIGO**

<i>Peso (g)</i>	<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 2</i>	<i>Muestra 3</i>
Cápsula de porcelana	16,8715	22,2789	23,0778
Harina de yuca	4,0778	4,0772	4,0483
Mufla eléctrica 700°C (dos horas)			
Cápsula de porcelana + cenizas	16,9828	22,3997	23,0708
Cenizas	0,1113	0,1208	0,1218

<i>Peso (g)</i>	<i>Muestra 4</i>	<i>Muestra 5</i>	<i>Muestra 6</i>
Cápsula de porcelana	44,3155	21,5368	25,8875
Harina de trigo	4,0984	4,0386	4,0387
Mufla eléctrica 700°C (dos horas)			
Cápsula de porcelana + cenizas	44,3326	21,5533	25,9044
Cenizas	0,0171	0,0165	0,0169

C. MEDICIONES DE PH REGISTRADAS PARA LAS HARINAS DE YUCA Y TRIGO

	<i>Harina de yuca</i>	<i>Harina de trigo</i>
Peso de la harina (g)	16,1573	15,6595
Agua destilada (ml)	100	100
Agitador mecánico (30 minutos)		
Medición 1	6,21	5,94
Medición 2	6,21	5,94
Medición 3	6,21	5,94

ANEXO 4

NORMA ASTM D 1084-97 STANDARD TEST METHODS FOR VISCOSITY OF ADHESIVES

(Página siguiente)



Designation: D 1084 - 97

Standard Test Methods for Viscosity of Adhesives¹

This standard is based under the fiscal designation D 1084. Its number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript number (2) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense. Those test methods require labeled 4023 or Redwood Test Method Standard No. 170g.

1. Scope

1.1 These test methods cover the determination⁴ of the viscosity of free-flowing adhesives.

1.1.1 The limitation of this test method to self-leveling adhesives eliminates thixotropic and plastic materials whose viscosity is a function of the rate of stirring and previous history of the adhesive.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are for information only.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

D 88 Test Method for Seybold Viscosity²

D 115 Test Methods for Varnishes Used for Electrical Insulation³

D 562 Test Method for Consistency of Paints Using the Stormer Viscometer⁴

D 907 Terminology of Adhesives⁵

D 1200 Test Method for Viscosity by Ford Viscosity Cup⁴

D 1545 Test Method for Viscosity of Transparent Liquids by Bubble Time Method⁶

D 1601 Test Method for Dilute Solution Viscosity of Polyene Polymers⁷

D 2556 Test Method for Apparent Viscosity of Adhesives Having Shear-Rate-Dependent Flow Properties⁵

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Many terms in these test methods are

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D-14 on Adhesives and on the direct responsibility of Subcommittee D14.10 on Working Properties.

Current edition approved March 10, 1997. Published May 1998. Originally published as D 1084 - 90. Last previous edition D 1084 - 88.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.04.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 10.01.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.05.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 06.03.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

Copyright © ASTM, 100 Bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19380-2900. United States.

defined in Terminology D 907.

3.1.1 *viscosity, η* —of a liquid, the resistance to flow expressed as the ratio of the applied stress to the resulting rate of shearing strain (see Newtonian behavior, and thixotropy). (Compare consistency.)

3.2 *Definition of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *viscosity*—the ratio of shear stress to shear rate. The viscosity of a liquid is a measure of the internal friction of the liquid in motion. The unit of dynamic viscosity is the poise, which is expressed as dyne-seconds per square centimeter. For a Newtonian liquid, the viscosity is constant at all shear rates. For a non-Newtonian liquid, viscosity will vary depending on shear rate.

4. Significance and Use

4.1 Several test methods are noted for viscosity determination of Newtonian and near Newtonian flow characteristics. (For adhesives not fitting into this category, Test Method D 2556 should be considered.) Four test methods are covered as follows:

4.1.1 *Method A* is applicable only to adhesives that will deliver 50 mL in a steady uninterrupted stream from one of the cups described in Section 5.

4.1.2 *Method B* is intended for measuring the viscosity of adhesives covering a range from 0.05 Pa · s to 200 Pa · s (50 to 200 000 cP) and is limited to materials that have or approach Newtonian flow characteristics.

4.1.3 *Method C* is intended primarily as a control method for determining the viscosity of adhesives that have or approach Newtonian flow characteristics.

4.1.4 *Method D* is intended primarily as a control method for determining the viscosity of materials that have an equivalent viscosity no greater than approximately 3000 cP and is limited to materials that have or approach Newtonian flow characteristics.

TEST METHOD A

5. Apparatus

5.1 The apparatus (Fig. 1) consists of a set of four viscosity cups so designed as to deliver 50 mL of the sample in from 30 to 100 s at a temperature of $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 0.9^\circ\text{F}$).

5.1.1 Four consistency cups constitute a set as follows:

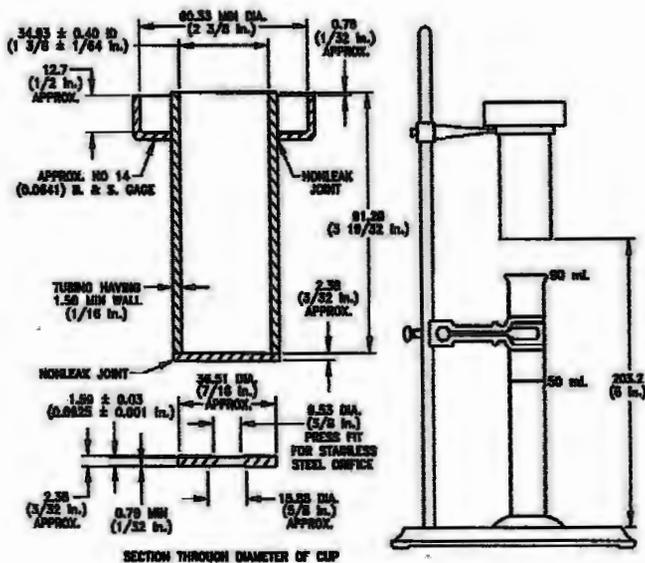


FIG. 1 Consistency Cups and Apparatus Assembly (Test Method A)

	Diameter of Orifice, in.
First cup	0.07 ± 0.0001
Second cup	0.10 ± 0.0001
Third cup	0.15 ± 0.0001
Fourth cup	0.25 ± 0.0001

5.1.2 Cups made of brass or bronze. Orifice disks made of 18 % Chromium, 8 % Nickel stainless steel. The diameter of the Orifice pressed in the cup shall be stamped on the cup

5.1.3 Fractional dimensions subject to permissible variations of ±0.01 in., unless otherwise specified.

6. Procedure

6.1 Bring the sample to be tested and the viscosity cup to a temperature of 23 ± 0.5°C (73.4 ± 0.9°F) (preferably in a constant-temperature room). Then mount the consistency cup in the clamp provided for the purpose and place the receiving cylinder in position. With the outlet of the cup closed by means of the finger, pour the sample into the cup until it is filled to overflowing. Strike off the excess with a straightedge, and then remove the finger from over the outlet and allow the sample to flow into the receiving cylinder. Determine the number of seconds from the time the finger is removed from the orifice until the top of the meniscus reaches to 50-mL mark on the cylinder by a stop watch and record as the viscosity of the material.

7. Report

7.1 Report the following:

7.1.1 Complete identification of the adhesive tested, including type, source, manufacturer's code numbers, form, date of test, date of manufacture, etc.,

7.1.2 Conditioning procedure used for samples prior to testing.

7.1.3 Number of tests made, and

7.1.4 Average consistency in seconds and the number of the viscosity cups used.

TEST METHOD B

8. Apparatus

8.1 *Viscometer*—The apparatus consists of a Brookfield synchroelectric viscosimeter,¹ or an equivalent instrument. A series of spindles with various sized disks is provided with each instrument covering a standard range of viscosities. Scored, warped, or otherwise damaged spindles are not to be used. The calibration sleeve will be used when the values are to be reported in actual centipoise. This spindle guard ensures uniform edge effects. By mutual agreement, the instrument may be used without the calibration sleeve, but the values obtained must be reported in apparent centipoises. Use a standard container and take care to center the spindle in the container. A complete description of the container must be included in the report.

8.2 *Thermometer*—A precision thermometer with graduations not greater than 0.2°C (0.36°F) divisions.

9. Calibration

9.1 When used for referee purposes, calibrate the instrument

¹Manufactured by the Brookfield Engineering Laboratories, Shington, MA.

by measuring the viscosity of a standard oil,⁹ using the same spindle and speed of rotation employed to measure the sample. If the viscosity of the oil as read by the instrument differs by more than 2% and less than 20% from the certified viscosity of the oil, calculate the viscosity of the unknown by means of the appropriate correction factor. Investigate a difference of more than 20%, and determine a calibration curve using at least two standard oils with viscosities on either side of the sample for the instrument.

10. Procedure

10.1 *Conditioning*—Bring the sample of the adhesive and the instrument to a temperature of $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$ (73.4°F) (preferably in a constant-temperature room), and maintain the sample uniformly at this standard temperature throughout the test. Protect adhesives containing volatile solvents from evaporation during conditioning. If special conditioning methods are necessary, such as the use of a circulating water bath, report in 11.1.5.

10.2 *Adjustment*—Select a spindle suitable to the viscosity range of the material and firmly fit it into the shaft extension which comes down through the center of the dial casing.

10.3 *Determination*—Insert the spindle perpendicularly into the material to be tested until immersed to the depth indicated by the groove cut into the shaft. Press down the clutch lever and start the motor by snapping the toggle switch. Then release the lever and allow rotation to continue until the pointer has reached the position where it is stationary in relation to the rotating dial. Again press down the clutch lever and snap the switch off. If the pointer is not in view when the dial has come to rest, the motor should be started again and allowed to run until the pointer reaches the vision plate, keeping the clutch lever depressed. Take the reading at the pointer. A check reading can also be made by restarting the motor before releasing the clutch. If the pointer makes a complete turn of the dial, this indicates that the viscosity is too great for the capacity of the spindle used. A slower speed of rotation or a spindle with a greater range should be used. If the pointer moves less than 20% of the way around the dial, this indicates that the viscosity is too low for accurate measurement with the spindle or rate of rotation used. A faster speed of rotation or a spindle with a lower range should be used. Make a minimum of three readings. Some instruments have two concentric scales, and great care should be taken to read the pointer on the correct scale as specified by the manufacturer for the spindle used.

11. Report

11.1 Report the following:

11.1.1 Complete identification of the adhesive tested, including type, source, manufacturer's code numbers, form, date of test, date of manufacture, etc.,

11.1.2 Name and model number of the instrument used,

11.1.3 Number of the spindle used, and specify use of spindle guard,

11.1.4 Speed used,

11.1.5 Conditioning procedure employed, including details of the container and time elapsed between various operations

used in the preparation of the adhesive mix,

11.1.6 Temperature of the sample at the conclusion of the test,

11.1.7 Number of tests made, and

11.1.8 Viscosity in actual or apparent centipoises, together with the range of the observation in centipoises.

TEST METHOD C

12. Apparatus

12.1 *Viscometer*—A Stormer viscosimeter with double flag paddle-type rotor as specified in Test Method D 562, or an equivalent apparatus, in good repair and a spindle that spins freely when started without the paddle.

12.2 *Containers*—Round friction-top metal cans having a capacity of 1 qt (0.9 L). Nonstandard containers may be used by mutual agreement, when necessary to prevent corrosion or other deleterious effects of metal cans.

12.3 *Thermometer*—A precision thermometer with graduations not greater than 0.2°C (0.36°F) divisions.

12.4 *Timer*—A stop watch or suitable timer measuring to 0.2 s.

13. Procedure

13.1 *Conditioning*—Bring the containers holding the samples to be tested and the paddle to be used to a temperature of $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$ (73.4°F) (preferably in a constant-temperature room), and maintain the sample uniformly at this standard temperature throughout the test. Protect adhesives containing volatile solvents from evaporation during conditioning. If special conditioning methods are necessary, such as the use of a circulating water bath, report this in 14.1.2.

13.2 *Adjustment*—Prepare the instrument for use by raising the weight to the top by winding up the cord with the ratchet provided for that purpose. Set the revolution counter at 10 revolutions below the zero mark. Use a falling weight of such magnitude that a minimum time of 20 s is required for 100 revolutions of the paddle when the test is conducted as specified in 13.2. Choose the weight from the series 50, 100, 200, 500, and 1000 g. Fasten the paddle securely on the shaft, place the container on the platform, and raise until the surface of the adhesive just reaches the mark on the stem of the paddle. This ensures uniform depth of immersion of the paddle.

13.3 *Determination*—Release the brake on the large cog wheel, and start the timing device when the needle on the revolution counter passes the zero mark. Note the time for 100 revolutions accurately to the closest 0.2 s. Make a minimum of three determinations.

14. Report

14.1 Report the following:

14.1.1 Complete identification of the adhesive tested, including type, source, manufacturer's code numbers, form, date of test, date of manufacture, etc.,

14.1.2 Conditioning procedure employed, including time elapsed between various operations used in the preparation of the adhesive mix,

14.1.3 Details of nonstandard containers, if used,

14.1.4 Temperature of the sample at the conclusion of the test,

⁹ Available from the Cannon Instrument Co., Box 16, State College, PA 16801.

- 14.1.5 Weight used,
- 14.1.6 Number of tests made, and
- 14.1.7 Average viscosity in seconds for 100 revolutions, together with the range of the observations.

TEST METHOD D

15. Apparatus

15.1 The apparatus (Fig. 2) consists of a set of five Zahn viscosity cups¹⁰ so designed as to allow a sample to flow through the calibrated orifice in approximately 1 min or less, best results being obtained when the flow time is between 20 and 40 s.

15.1.1 Five viscosity cups constitute a set as follows:

	Diameter of Orifice	
	in. $+0.0003$ -0.0002	mm $+0.0076$ -0.0081
First cup	0.0788	2.002
Second cup	0.1082	2.748
Third cup	0.1487	3.777
Fourth cup	0.1884	4.277
Fifth cup	0.2072	5.263

15.1.2 Cups shall be made of stainless steel, 0.050 in. (1.27 mm) thick. The number of the cup shall be stamped on a plate on the cup.

¹⁰ Available from Ford W. Gardner Co., Waukegan, Illinois, U.S.A.

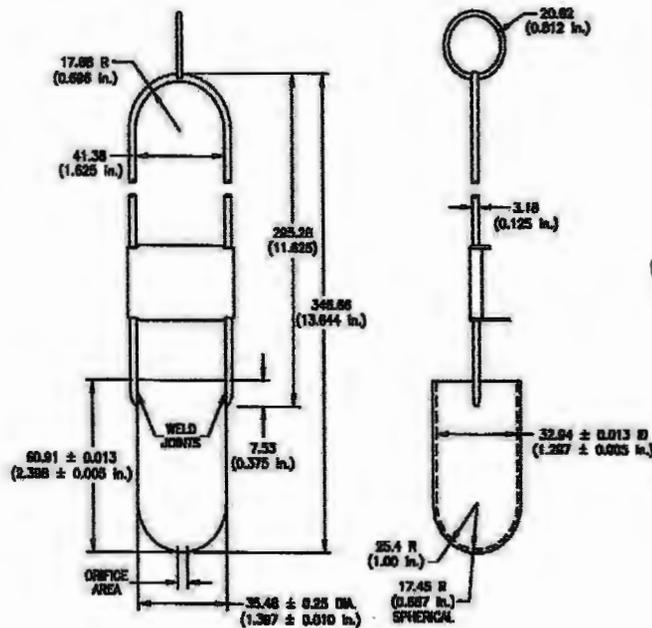
15.2 The following figures are given only for the purpose of selecting the proper viscometer. They are not intended for use in converting centipoises to Zahn seconds.

Orifice Size, in. (mm)	Range Pa · s	Range, cP	Range, Zahn's
0.0788 (2.002)	0.02 to 0.065	(20 to 65)	40 to 85
0.1082 (2.748)	0.03 to 0.170	(30 to 170)	20 to 70
0.1487 (3.777)	0.120 to 0.950	(170 to 950)	25 to 60
0.1884 (4.277)	0.200 to 0.900	(200 to 900)	25 to 65
0.2072 (5.263)	0.250 to 1.200	(250 to 1200)	15 to 60
	(and above)	(and above)	

16. Procedure

16.1 *Conditioning*—Bring the sample of the adhesive and the cup to a temperature of $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 0.9^\circ\text{F}$), preferably in a constant-temperature room, and maintain the sample uniformly at this standard temperature throughout the test. Other temperatures of test are optional. Protect adhesives containing volatile solvents from evaporation during conditioning. If special conditioning methods are necessary, such as the use of a circulating water bath, they shall be specified in 17.1.2.

16.2 *Determination*—Hold the viscometer in a vertical position (by means of a small ring at the end of the handle) and completely immerse the cup into the sample being tested. Lift the viscometer out of the sample (Note 1). Determine by means of a stop watch the number of seconds from the time the top edge of the viscometer cup breaks the surface until the steady flow from the orifice first breaks, and record this time as the consistency of the material. Record the temperature of the



All dimensions are in mm
FIG. 2 Viscosity Cups (Test Method D)

D 1084

sample and the number of the cup.

Note 1—Time of removal must be rapid. Unless build-up of adhesive on the side of the cup occurs, the time of removal should be about 1 s.

17. Report

17.1 Report the following:

17.1.1 Complete identification of the adhesive tested, including type, source, manufacturer's code numbers, form, date of test, date of manufacture, etc.,

17.1.2 Conditioning procedure employed for samples prior to testing,

17.1.3 Number of tests made, and

17.1.4 Average viscosity in seconds and the number of the viscosity cup used.

PRECISION AND BIAS

18. Precision and Bias

18.1 At the present time there is no basis for a statement of precision and bias concerning the reproducibility of results among laboratories.

19. Keywords

19.1 adhesive; viscosity

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. REFERENCE VISCOSITY METHODS

X1.1 Reference viscosity methods giving equipment used are shown on the following table:

Test Method for	Refer to	Equipment Used
Viscosity of Transparent Liquids by Bubble Time Method	D 1646	Gardner-Holdt tubes
Saybolt Viscosity	D 88	Saybolt viscometer
Dilute Solution Viscosity of Ethylene Polymers	D 1601	Modified Ubbelohde viscometer
Viscosity of Paints, Varnishes, and Lacquers by Ford Viscosity Cup	D 1200	Ford cup
Varnishes Used for Electrical Insulation	D 115	MacMichael viscometer

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

ANEXO 5

A. VALORES DE LAS LECTURAS DEL VISCOSÍMETRO (DEFLEXIÓN) EN EL ENSAYO DE LAS MEZCLAS ENCOLANTES EN BASE A FORMULACIÓN INDUSTRIAL MAILSAC SEGÚN TRATAMIENTO

Tiempo (min.)	Mezclas encolantes					
	T1		T2		T3	
	Deflexión	Viscosidad (cP)	Deflexión	Viscosidad (cP)	Deflexión	Viscosidad (cP)
10	40	16 000	57	22 800	42,5	17 000
20	34,5	13 800	45,5	18 200	41	16 400
30	30,5	12 200	36	14 400	40,5	16 200
40	28,5	11 400	31	12 400	40	16 000
50	26,5	10 600	28,5	11 400	40	16 000
60	25	10 000	27	10 800	39,5	15 800
70	23,5	9 400	25,5	10 200	39,5	15 800
80	22,5	9 000	24	9 600	39	15 600
90	21,5	8 600	23,5	9 400	38,5	15 400
100	21	8 400	22,5	9 000	38	15 200
110	20,5	8 200	21,5	8 600	38	15 200
120	19,5	7 800	21	8 400	37,5	15 000

Brookfield RVF. #5. 10 r.p.m. 21°C

Factor de conversión=400

**B. VALORES DE LAS LECTURAS DEL VISCOSÍMETRO (DEFLEXIÓN) EN EL
ENSAYO DE LAS MEZCLAS ENCOLANTES EN BASE A FORMULACIÓN
INDUSTRIAL GEA SEGÚN TRATAMIENTO**

Tiempo (min.)	Mezclas encolantes					
	T1		T2		T3	
	Deflexión	Viscosidad (cP)	Deflexión	Viscosidad (cP)	Deflexión	Viscosidad (cP)
10	58	5 800	41	4 100	36,5	3 650
20	58,5	5 850	40	4 000	36,5	3 650
30	59	5 900	38	3 800	37	3 700
40	58	5 800	36	3 600	37,5	3 750
50	57,5	5 750	35	3 500	38	3 800
60	57	5 700	34	3 400	38,5	3 850
70	56	5 600	33,5	3 350	38,5	3 850
80	55,5	5 550	33	3 300	39	3 900
90	55	5 500	32,5	3 250	40	4 000
100	54	5 400	32,5	3 250	40,5	4 050
110	53,5	5 350	32,5	3 250	42	4 200
120	53	5 300	32,5	3 250	43	4 300

Brookfield RVF. #3. 10 r.p.m. 21°C

Factor de conversión=100

**C. VALORES DE LAS LECTURAS DEL VISCOSÍMETRO (DEFLEXIÓN) EN EL
ENSAYO DE LA MEZCLA ENCOLANTE EN BASE A FORMULACIÓN BÁSICA
VENCEDOR SEGÚN TRATAMIENTO**

Tiempo (min.)	Mezcla encolante	
	T4	
	Deflexión	Viscosidad (cP)
10	24,5	9 800
20	25	10 000
30	25,5	10 200
40	25,5	10 200
50	25,5	10 200
60	26	10 400
70	26	10 400
80	26,5	10 600
90	26,5	10 600
100	27	10 800
110	27	10 800
120	27,5	11 000

Brookfield RVF. #4. 10 r.p.m. 21°C

Factor de conversión=200

ANEXO 6

NORMA ASTM E 70-97 STANDARD TEST METHOD FOR PH OF AQUEOUS SOLUTIONS WITH THE GLASS ELECTRODE

(Página siguiente)



Standard Test Method for pH of Aqueous Solutions With the Glass Electrode¹

This standard is issued under the fixed designation E 70; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method specifies the apparatus and procedures for the electrometric measurement of pH values of aqueous solutions with the glass electrode. It does not deal with the manner in which the solutions are prepared. pH measurements of good precision can be made in aqueous solutions containing high concentrations of electrolytes or water-soluble organic compounds, or both. It should be understood, however, that pH measurements in such solutions are only a semiquantitative indication of hydrogen ion concentration or activity. The measured pH will yield an accurate result for these quantities only when the composition of the medium matches approximately that of the standard reference solutions. In general, this test method will not give an accurate measure of hydrogen ion activity unless the pH lies between 2 and 12 and the concentration of neither electrolytes nor nonelectrolytes exceeds 0.1 M.

1.2 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 1193 Specification for Reagent Water²
- E 180 Practice for Determining the Precision of ASTM Methods for Analysis and Testing of Industrial Chemicals³
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁴

3. Terminology

3.1 Definition:

3.1.1 *pH*—defined formally as the negative logarithm to the base 10 of the conventional hydrogen ion activity. See Appendix X1.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 For the purpose of this test method, the term "meter" shall apply to the instrument used for the measurement of potential (either in millivolts or in terms of pH units), the term "electrodes" to the glass electrode and the reference electrode, and the term "assembly" to the combination of the meter and the electrodes. The performance of the meter shall be differentiated from that of the electrodes.

4. Significance and Use

4.1 pH is, within the limits described in 1.1, an accurate measurement of the hydrogen ion concentration and thus is widely used for the characterization of aqueous solutions.

4.2 pH measurement is one of the main process control variables in the chemical industry and has a prominent place in pollution control.

5. Apparatus

5.1 *pH meters*—Many excellent pH meters are available from commercial sources. To some extent, the choice of meter will depend on the desired precision of measurement. The meter may operate on a null-detection principle or may utilize digital readout or a direct deflection meter with a large scale. Power may be supplied by batteries or a-c operation may be provided. The maximum grid current drawn from the glass electrode during measurement shall not exceed 2×10^{-12} A. Automatic or manual adjustment shall allow for changes in $F/(RT \ln 10)$ when the temperature of the assembly is altered. For referee work, or in case of dispute, meters capable of discriminating changes of pH to 0.01 unit (0.6 mV) or less shall be used.

5.2 Reference Electrodes and Glass Electrodes:

5.2.1 The saturated calomel electrode and the 3.5 M calomel electrode are suitable as reference electrodes in pH assemblies (Note 1). If the saturated electrode is used, a few crystals of solid potassium chloride shall be present in the chamber surrounding the electrode element at each temperature. The design of the electrode shall permit a fresh liquid junction between the solution of potassium chloride and the buffer or test solution to be formed for each test and shall allow traces of solution to be readily removed by washing.

Note 1 Other reference electrodes of constant potential may be used, provided no difficulty is experienced in standardizing the assembly as described in Section 8.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E-15 on Industrial Chemicals and is the direct responsibility of Subcommittee E15.23 on Physical Properties.

Current edition approved Sept. 10, 1997. Published May 1998. Originally published as E 70 - 52 T. Last previous edition E 70 - 90.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.05.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

5.2.2 The silver-silver chloride electrode also is used widely as a reference electrode.

5.2.3 Commercial glass electrodes are designed for certain specific ranges of pH and temperature; consequently, the pH and temperature of the test solutions shall be considered in selecting the glass electrode for use. The pH response shall conform with the requirements set forth in Section 7. The leads shall be shielded from the effects of body capacitance.

5.2.4 If the assembly is in intermittent use, the ends of the electrodes shall be immersed in distilled water between measurements. The high-alkalinity type of glass electrode shall be stored in the borax buffer solution. For prolonged storage, glass electrodes may be allowed to become dry, and reference electrodes shall be capped to prevent undue evaporation.

Note 2—New glass electrodes and those that have been stored dry shall be conditioned as recommended by the manufacturer. Requirements for the physical dimensions and shape of the electrodes and the composition of the internal reference solution are not considered part of this test method.

6. Reagents and Materials

6.1 The pH(S) of six recommended standard solutions at several temperatures is listed in Table 1. The buffer solutions shall be prepared from highly purified materials sold specifically as pH standards (Note 3). Potassium hydrogen phthalate and the two phosphate salts shall be dried at 110°C for 1 h before use, but borax and sodium bicarbonate shall not be heated above room temperature. Potassium dihydrogen citrate shall be dried for 1 h at 80°C, and sodium carbonate shall be ignited for 1 h at 270°C before use. The standard solutions shall be prepared as described in 6.4-6.9. They shall be preserved in bottles of chemically resistant glass or polyethylene and shall be replaced at an age of 6 weeks, or earlier if a visible change should occur in the solution.

Note 3—Six of the buffer salts can be obtained in the form of standard reference materials from the National Bureau of Standards. These materials are numbered as follows:

Buffer Salt	SRM No.
Potassium hydrogen phthalate	185
Potassium dihydrogen phosphate	184
Dipotassium hydrogen phosphate	183
Borax	187
Sodium bicarbonate	181
Sodium carbonate	182

The pH(S) values may vary slightly from one lot to another; consequently, the values given on the SRM certificate should be used in preference to those given in Table 2, if slight differences exist.

6.2 Commercial standard buffers are available. For the most exact measurements, the value of the commercial buffer should be verified using one of the recommended standard buffers in Table 1.

6.3 **Distilled Water**—The conductivity of the distilled water shall not exceed $2 \times 10^{-6} \text{ s} \cdot \text{cm}^{-1}$. For the preparation of the citrate, phthalate, and phosphate solutions, the water need not be freed of dissolved carbon dioxide. The water used for the borax standard and the carbonate standard shall be boiled for 15 min or purged with air free of carbon dioxide and shall be protected with a soda-lime tube or equivalent (Note 4) while cooling and in storage. The pH of the carbon dioxide-free water shall be between 6.6 and 7.5 at 25°C. The temperature of the water used to prepare the standards shall be within 2°C of 25°C. The amounts of the buffer salts given in 5.3 through 5.8 are weights in air near sea level determined with brass weights.

Note 4—The water used for preparing the standard buffer solutions shall be Types I or II reagent water in accordance with Specification D 1193. Precautions shall be taken to prevent contamination of the distilled water with traces of the material used for protection against carbon dioxide.

6.4 **Citrate, Standard Solution A (molality = 0.05; pH(S) = 3.776 at 25°C)**—Dissolve 11.41 g of potassium dihydrogen citrate in distilled water and dilute to 1 L.

6.5 **Phthalate, Standard Solution B (molality = 0.05; pH(S) = 4.008 at 25°C)**—Dissolve 10.12 g of potassium hydrogen phthalate in distilled water and dilute to 1 L.

6.6 **Phosphate, Standard Equimolar Solution C (molality of**

TABLE 1 pH(S) of Standard Solutions^{A,B}

Temperature, °C	A	B	C	D	E	F
0	3.863	4.003	6.984	7.534	8.484	10.317
10	3.820	3.998	6.993	7.472	8.332	10.170
20	3.788	4.002	6.991	7.429	8.225	10.062
25	3.776	4.006	6.995	7.413	8.180	10.012
30	3.765	4.015	6.993	7.400	8.139	9.966
35	3.759	4.024	6.944	7.389	8.102	9.925
40	3.753	4.035	6.936	7.380	8.068	9.889
50	3.749	4.060	6.933	7.367	8.041	9.828
60	— ^C	4.091	6.936	— ^C	8.982	— ^C
70	— ^C	4.128	6.945	— ^C	8.921	— ^C
80	— ^C	4.164	6.959	— ^C	8.865	— ^C
90	— ^C	4.205	6.977	— ^C	8.810	— ^C

^A The compositions of the standard solutions are:

A—KH₂Citrate, $m = 0.05 \text{ mol kg}^{-1}$

B—KH phthalate, $m = 0.05 \text{ mol kg}^{-1}$

C—KH₂PO₄, $m = 0.025 \text{ mol kg}^{-1}$; Na₂HPO₄, $m = 0.025 \text{ mol kg}^{-1}$

D—KH₂PO₄, $m = 0.008895 \text{ mol kg}^{-1}$; Na₂HPO₄, $m = 0.03043 \text{ mol kg}^{-1}$

E—Na₂B₄O₇, $m = 0.01 \text{ mol kg}^{-1}$

F—NaHCO₃, $m = 0.025 \text{ mol kg}^{-1}$; Na₂CO₃, $m = 0.025 \text{ mol kg}^{-1}$

where m denotes molality.

^B For a discussion of the manner in which these pH(S) values were assigned, see Chapter 4 of the book by Bates, R. G., *Determination of pH, Theory and Practice*, John Wiley and Sons, Second edition, New York, 1973.

TABLE 2 Bias of pH Measurements

Nominal pH	Hydrogen Electrode	Glass Electrode	Difference
3.7	3.715	3.73	+0.015
6.5	6.519	6.53	+0.011
8.2	8.174	8.18	+0.006
8.4	8.478	8.45	-0.028

each phosphate salt = 0.025; pH(S) = 6.865 at 25°C—Dissolve 3.388 g of potassium dihydrogen phosphate and 3.533 g of disodium hydrogen phosphate in distilled water and dilute to 1 L.

6.7 Phosphate, Standard Solution D (1 + 3) (molality of $KH_2PO_4 = 0.008695$, molality of $Na_2HPO_4 = 0.03043$); pH(S) = 7.413 at 25°C—Dissolve 1.179 g of potassium dihydrogen phosphate and 4.302 g of disodium hydrogen phosphate in distilled water and dilute to 1 L.

6.8 Borax, Standard Solution E (molality = 0.01; pH(S) = 9.180 at 25°C)—Dissolve 3.80 g of sodium tetraborate decahydrate (borax) in distilled water and dilute to 1 L.

6.9 Carbonate, Standard Solution F (molality of each carbonate salt = 0.025; pH(S) = 10.012 at 25°C)—Dissolve 2.092 g of sodium bicarbonate and 2.640 g of sodium carbonate in distilled water and dilute to 1 L.

7. Performance Tests of Meter and Electrodes

Note 5—Except for measurements of the highest precision, it will usually be unnecessary to perform the tests described in this section. In the usual pH measurement, the stability of the meter, the accuracy of the scale reading, and the pH response of the glass electrode over the range of the measurements are verified by checking the assembly with a series of standard buffer solutions.

7.1 Assembly—The assembly shall be judged to be performing satisfactorily if it furnishes, within acceptable limits of accuracy, the correct pH values for the standard buffer solutions listed in Table 2. When the electrodes are immersed in a buffer solution, the measured potential difference shall be substantially constant, and the cause of any instability shall be determined.

7.2 Meter—The meter shall be brought to electrical balance in accordance with the manufacturer's instructions. The performance shall then be tested by applying a known variable potential through a resistance of approximately 200 M Ω to the terminals of the meter, the high-resistance lead being connected to the terminal corresponding to the glass electrode. The source of potential may be a precision-type potentiometer with a range of 1100 mV or more and a limit of error not greater than 0.1 mV. The 200-M Ω resistor shall be properly shielded to avoid capacity pickup. Commencing with a value of zero, the applied potential shall be increased in increments of 100 mV, and the readings of the dial of the meter at balance shall be noted. The process shall be extended to cover the entire range of the meter. In no case shall the difference between the applied voltage and that indicated by the meter differ by more than 1 mV per increment of applied voltage.

Note 6—If the cumulative error at the end of the scale exceeds ± 3 mV, a calibration curve for the meter shall be constructed and corrections applied to each measurement of electromotive force or pH. Differences of electromotive force (volts) are converted to corresponding differences of pH by multiplying by $F/RT \ln 10$ (Table X1.1). Inasmuch as the meter

is made to read correctly at the pH of the standard, the calibration correction to be applied to a pH measurement is the difference between the scale corrections at the pH of the standard and that of the unknown, with due regard for sign.

7.3 Glass Electrodes—The difference of potential between the glass electrode and the standard hydrogen gas electrode shall be measured when both electrodes are immersed in the same portion of various buffer solutions over the pH range in which the glass electrode is to be used. For these comparisons the cell shall be placed in a water bath thermostatically controlled to $\pm 0.1^\circ\text{C}$ near 25°C . The solutions used for this test shall be those listed in Section 6. The standards of pH 9.18 and below (at 25°C) shall be used to test electrodes of the general-purpose type. The borax and carbonate standards shall be used to test the high-alkalinity type of electrode. These buffer solutions shall be supplemented by a 0.1 M carbonate-free solution of sodium hydroxide, the pH of which is approximately 12.8 at 25°C . The difference of potential between the general-purpose glass electrode and the hydrogen electrode shall be independent, within ± 1 mV, of pH changes in the range from 3.8 to 9.18 pH. The difference of potential between the hydrogen electrode and a glass electrode of the high-alkalinity type shall be the same, within $+3$ mV, at pH 12.8 as at pH 9.18.

8. Calibration and Standardization

8.1 Turn on the instrument, allow to warm up thoroughly, and bring to electrical balance in accordance with the manufacturer's instructions. Wash the glass and reference electrodes and the sample cup three times with distilled water. Allow the water to drain from the electrodes, but the sample cup may be dried gently with clean absorbent tissue. Note the temperature of the test (unknown) solution and adjust the temperature dial of the meter to the proper setting.

8.2 Select two standard solutions (Note 7) to bracket the anticipated pH, if possible, and warm or cool these standards as necessary to match within 2°C the temperature of the unknown. Fill the sample cup with the first standard and immerse the electrodes. Set the dial of the meter to the pH(S) value of the standard at the appropriate temperature as read from Table 2 or interpolated in the data therein (see Note 3). Engage the operating button and rotate the standardizing knob or asymmetry potential knob until the meter is brought to balance. In direct-reading meters engage the operating-button, or turn the range switch to the proper position, and rotate the asymmetry potential knob until the reading of the dial corresponds to the known pH of the standardizing buffer solution. Fill the sample cup repeatedly with additional portions of the standard solution until the instrument remains in balance with ± 0.02 pH unit for two successive portions without a change in the position of the asymmetry potential knob. If the temperature of the electrodes differs appreciably from that of the solutions, use several portions of solution and immerse the electrodes deeply to assure that both electrodes and standard are at the desired temperature. In order to reduce the effects of thermal and electrical hysteresis, keep the temperature of electrodes, standard solutions, and wash water as close to that of the unknowns as possible.

8.2.1 Wash the electrodes and sample cup three times with

distilled water. Place the second standard in the sample cup, adjust the instrument to the new balance point, and read the pH from the dial. Do not change the setting of the asymmetry potential knob. Use additional portions of the second standard until successive readings of the pH agree within 0.02 unit. Judge the assembly to be operating satisfactorily if the reading obtained for the second standard agrees with the assigned pH(S) of that standard within 0.02 pH unit. When the meter is equipped with a slope control, use this control to correct small errors in the response of the glass electrode by adjusting the reading for the second standard to the known pH value. Discard used portions of the standard buffer solutions.

Note 7—Always calibrate the assembly with two buffer solutions to check the response of the electrode at different pH values and to detect a faulty glass electrode or incorrect temperature compensation. The presence of a faulty electrode is indicated by failure to obtain a reasonably correct value for the pH of the second standard solution when the meter has been standardized with the first. A cracked electrode will often yield pH values that are essentially the same for both standards. If an electrode gives an incorrect value or has a sluggish response, it may be dirty. Follow the manufacturer's instructions for cleaning.

8.3 If the anticipated pH of the test solution is less than 3.8, use the phthalate solution for the initial standardization and the citrate solution as the second standard. If the anticipated pH of the test solution is greater than 10.0, use an electrode designed for use at high alkalinities and observe the manufacturer's instructions. Use the borax solution for initial standardization of the assembly. The second standard shall be the carbonate solution. Judge the assembly to be operating satisfactorily if the reading obtained for the carbonate solution agrees with the assigned pH of this standard (Note 8) within 0.03 unit. When the meter is equipped with a slope control use this control to adjust the reading for the second standard (citrate solution or carbonate solution) to the known pH value.

Note 8—The change of pH(S) with change of temperature is large for the borax and carbonate standards. Hence, note the temperature of these standards to the nearest 1°C and use to obtain pH(S) by interpolation in the data of Table 1.

8.4 If only an occasional pH determination is made, standardize the assembly each time it is used. In a long series of measurements, supplement initial and final standardizations by a check at intervals of 1 h, or longer if little or no change is found between successive standardizations.

9. Procedure

9.1 pH of Test Solutions:

9.1.1 After the meter has been standardized with two standard solutions (Section 8), wash and dry the electrodes and the sample cup as described in 8.1. Fill the cup with a portion of the test solution, and obtain a preliminary value for pH. In the case of well-buffered test solutions, one to three portions will usually be sufficient to yield pH values reproducible to ± 0.02 unit and that show drifts of less than ± 0.01 unit in 1 or 2 min.

9.1.2 Measure the pH of water samples and slightly buffered solutions that are in equilibrium with the air as described in 9.1, except measure the pH of successive portions of water or test solutions, with vigorous agitation, until the observed results for two successive portions agree within 0.1 unit. Six or more

portions may be necessary. The flow cell may also be used (see 9.2). If the water sample or the slightly buffered test solution is not in equilibrium with the carbon dioxide of the atmosphere, measure with external electrodes in a wide-mouth flask that has been flushed with carbon dioxide-free air, and protect the contents of the flask from exposure to air during the measurement.

9.2 pH of Flowing Streams:

9.2.1 Flow cells and electrode units for immersion in flow channels are an important feature of industrial pH control. In conjunction with electronic recorders and recorder-controllers, they provide the continuous measurements necessary for fully automatic regulation of pH. The flow cell is particularly advantageous for the determination of the pH of water or of sparingly buffered solutions. Simple dip measurements without agitation are subject to appreciable errors due to inadequate washing of the electrodes, solubility of the glass, and absorption of carbon dioxide during the measurement. A rapid flow of solution past the electrode maintains a clean glass interface, retards the tendency for fine solids to collect at the surface, minimizes errors resulting from solubility of the glass, and protects the sample from atmospheric contaminants.

9.2.2 *Flow Cell*—The flow unit may be of metal, glass, rubber, or plastic. If metal pipe connections are employed, they shall all be of the same metal. The volume of the unit shall be small, to permit a high rate of flow. If the cell is not provided with a resistance thermometer for automatic temperature compensation (or if it is used in conjunction with a meter not equipped to utilize this feature), arrangements for monitoring the temperature of the solutions shall be provided. The unit and the leads shall be free from the effects of body capacitance.

9.2.3 *Standardization and pH Determination*—If the assembly is in continuous use, standardize it daily in accordance with the instructions given in Section 8. Use two standards in order to check the proper functioning of the electrodes. For a precision greater than ± 0.1 pH unit below pH 9, the temperature of the standard should be within 2°C of that of the flowing solution. For the measurement of pH, carefully observe the instructions furnished by the manufacturer of the meter or recorder.

9.2.4 *pH of Water and Slightly Buffered Solutions*—Maintain a flow rate sufficient to change the solution in the cell five times per minute. Do not read the pH of water or of a slightly buffered solution until the flow of water or test solution has been continued for at least 15 min following immersion of the electrodes in the standard buffer solution, or until a drift of less than 0.1 pH unit in 2 min is observed. If the pH of the flowing solution is changing, the glass electrode measurement may lag considerably behind the true pH.

10. Report

10.1 Report the pH to 0.01 unit and the temperature of the test solution to the nearest 1°C.

11. Precision and Bias

11.1 The following criteria should be used for judging the acceptability of results obtained using separate glass and calomel electrodes (Notes 9 and 10):

11.1.1 *Repeatability (Single Analyst)*—The standard deviation for a single determination has been estimated to be 0.006 pH unit at 106 dF. The 95 % limit for the difference between two such runs is 0.02 pH unit.

11.1.2 *Laboratory Precision (Within-Laboratory, Between-Days Variability), Formerly Called Repeatability*—The standard deviation of results, each the average of duplicates, obtained by the same analyst on different days, has been estimated to be 0.022 pH unit at 53 dF. The 95 % limit for the difference between two such averages is 0.06 pH unit.

11.1.3 *Reproducibility (Multilaboratory)*—The standard deviation of results, each the average of duplicates, obtained by analysts in different laboratories, has been estimated to be 0.040 pH unit at 12 dF. The 95 % limit for the difference between two such averages is 0.11 pH unit.

Note 9—The above precision estimates are based on an interlaboratory study performed in 1973 on four buffer solutions having pH values of approximately 3.7, 6.5, 8.2, and 8.4. Fourteen laboratories analyzed each solution in duplicate and replicated the analysis on another day for a total of 224 determinations. A variety of commercial meters equipped with glass and calomel electrodes were used in this study.⁵ Practice E 180 was used in developing these precision estimates.

11.2 *Bias*—The pH values of the buffer solutions, as determined using a hydrogen electrode at 25°C, are compared with the average values obtained using this test method in Table 2.

⁵ Supporting data are available from ASTM Headquarters, Request RR-E15-100A.

11.3 The following limited interlaboratory study by ten laboratories in one company suggests that the precision obtainable with new combination electrodes is comparable to that in the 1973 study using separate electrodes.

11.3.1 In 1994 a standard buffer solution of pH 4.63 was sent each laboratory which measured the pH once per day for three days. Each laboratory made the measurements using both a new and an old electrode. The results were analyzed using the techniques in Practice E 691. Because of the design, no estimates for repeatability are possible. The estimates for Laboratory Precision and Repeatability are given in Table 3.

Note 10—These estimates of precision apply to optimum conditions, namely for pH measurements of well-buffered aqueous solutions. The precision attainable in measurements of the pH of water and other poorly buffered solutions will, in general, be of a considerably lower order.

12. Keywords

aqueous solution; buffer; combination electrode; glass electrode; pH; pH meter; reference electrode

TABLE 3 Precision Using Combination Electrodes

	New Electrodes	Old Electrode
Laboratory precision		
Standard deviation	0.020	0.033
Degrees of freedom	20	18
95 % range	0.08	0.04
Reproducibility		
Standard deviation	0.037	0.033
Degrees of freedom	8	8
95 % range	0.10	0.09

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. MISCELLANEOUS NOTES

X1.1 The pH of an aqueous solution is derived from E_p , the electromotive force (emf) of the cell:

reference electrode || solution || glass electrode

where:

the double vertical line represents a liquid junction when the electrodes are immersed in the solution, and

E_p , the electromotive force obtained when the electrodes are immersed in a standard solution, whose assigned pH is designated pH(S), by the following equation (Note X1.1):

$$\text{pH} = \text{pH}(S) + \frac{(E - E_p)F}{2.303RT} \quad (\text{X1.1})$$

where:

F = Faraday, 96 487 C \times mol⁻¹,

R = gas constant, 8.314 J \times K⁻¹ \times mol⁻¹, and

T = absolute temperature, (°C + 273.15).

Note X1.1—Values of F/RT in 10 are given in Table X1.1.

TABLE X1.1 Values of F/RT in 10

Temperature, °C	F/RT in 10, V ⁻¹
0	18.451
5	18.120
10	17.800
15	17.491
20	17.192
25	16.904
30	16.625
35	16.356
40	16.095
45	15.841
50	15.596
55	15.359
60	15.128

X1.2 For additional information on the concepts of pH and its measurement see the book by R. G. Bates.⁶

⁶Bates, R.G., *Determination of pH, Theory and Practice*, Second Edition, John Wiley and Sons, New York, NY, 1973.

 E 70

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19380.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19380-2969, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (<http://www.astm.org>).

ANEXO 7

**NORMA TÉCNICA PERUANA 251.042 TABLEROS DE MADERA
CONTRACHAPADOS. ENSAYO DE ENCOLADO. ENSAYO FÍSICO**

(Página siguiente)

1. NORMAS A CONSULTAR

- 1.1 ITINTEC ²⁵¹⁻⁰⁴¹ 10-93-994 Tableros de madera contrachapados. Ensayo de encolado. Toma de muestras. Clasificación.



02 SET. 1987

2. OBJETO

2.1 La presente Norma tiene por objeto establecer el modo de efectuar los ensayos físicos a los tableros de madera contrachapados.

3. DEFINICIONES

3.1 Interior (I)

Es el tablero de madera contrachapado cuya resistencia al encolamiento permite soportar una humedad relativa del aire normal.

3.2 Semiexterior (SE)

Es el tablero de madera contrachapado resistente contra la humedad alta del ambiente y con ligero contacto momentáneo al agua. No resistente a la lluvia.

3.3 Exterior (E)

Es el tablero de madera contrachapado cuyo encolamiento es resistente contra los efectos al agua en la intemperie pero limitado a excesivos cambios climáticos.

3.4 Exterior resistencia al agua hirviendo (RAH)

Es el tablero de madera contrachapado cuyo encolamiento es resistente sin limitaciones contra todas las condiciones climáticas incluyendo climas tropicales y usos marino.

4. APARATOS

4.1 Palanqueta

Es un aparato que en esencia consta de una lámina con filo curvo y un mango, tal como se muestra en la figura 1.

4.2 Chaveta

Es un aparato constituido por una hoja o lámina de acero redondo y cortante en su extremo provisto de un mango de madera o de metal, tal como se muestra en la figura 2.

4.3 Recipiente de agua

4.4 Autoclave

4.5 Termómetro

5. METODO

5.1 El fundamento del método consiste en someter las probetas a la acción del agua caliente o del vapor de agua, comprobando la persistencia del encolado después del ensayo y/o con la palanqueta o chaveta.

6. CONDICIONES DE ENSAYO

6.1 Según la clasificación del tablero, las condiciones a las que se someterán las probetas serán dadas según Tabla 1.

TABLA 1

TIPO DEL TABLERO	CLASE DE ENSAYO
Interior (I)	24 h en agua a $20^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$
Semiesterior (SE)	3 h en agua a $67^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$
Exterior (E)	6 h en agua hirviendo
Exterior resistente al agua hirviendo (RAH)	12 h en vapor a 2 kgf/cm ² * de presión, o bien 72 h en agua hirviendo

* 1 kg/f = 9,806 N (newton)
 1 N = 0,10198 kgf

7. METODOS DE ENSAYO

7.1 Ensayo en agua

Las probetas obtenidas como se indica en la Norma ITINTEC 10:03-004 Tableros de madera contrachapados. Ensayo de encolado. Toma de muestras. Clasificación, se sumergirán en agua a la temperatura y durante el tiempo indicado. Véase la Tabla 1.

7.2 Ensayo en vapor

Las probetas obtenidas como se indica en la Norma ITINTEC 10:03-004 Tableros de madera contrachapados. Ensayo de encolado. Toma de muestras. Clasificación, se introducirán en un autoclave donde se producirá vapor en las condiciones indicadas o en un recipiente de agua hirviendo durante 72 horas. Véase la Tabla 1.

8. CONTROL MECANICO

8.1 Procedimiento operativo

Después de realizado el ensayo y ya secadas las probetas, se controla rompiendo la junta por medio de la palanqueta o chaveta, seguidamente se coloca la probeta sobre una superficie plana y provista de un tope. Se apoya sobre la probeta el filo de la palanqueta o chaveta en dirección de la fibra de la cara vista. Se empuja primero hacia abajo, de manera que el filo atraviese la chapa y después hacia adelante para que siga el plano de encolado. Para facilitar la operación se dá a la palanqueta un ligero movimiento lateral.

Cuando el filo ha penetrado de 2 cm a 5 cm se levanta la chapa haciendo palanca con la palanqueta o chaveta. La operación puede repetirse en sitios distintos de la chapa exterior.

Una vez rota la primera junta, se rompen las restantes. En el tablero de tres hojas se da la vuelta a la probeta y se hace el ensayo en la otra cara. En los tableros de varias hojas deberán eliminarse las chapas exteriores completamente con el objeto de que sean accesibles las juntas interiores.

8.2 Examen de la superficie de rotura

A continuación se examina la superficie de rotura, comparándola con los testigos, iluminando adecuadamente la superficie, aunque no es necesaria luz especial.

Cuando la palanqueta o chaveta atraviesa la superficie de encolado, cortando la chapa contigua, se desecha el ensayo.

8.3 Escala de calificación

8.3.1 Calificación máxima, Número 10

Se atribuye cuando las chapas se separan por rotura de la madera, permaneciendo el plano de encolado totalmente recubierto por fibras de madera adheridas.

8.3.2 Calificación mínima, Número 0

Se atribuye cuando las chapas se separan por rotura del plano de encolado, que no conserva fibras de madera adheridas.

8.3.3 Calificaciones intermedias, Números 2, 4, 6 y 8

Pueden usarse los números 1, 3, 5, 7 y 9. Se atribuyen en todos los casos intermedios de los dos anteriores, es decir, cuando permanezca mayor o menor cantidad de fibras adheridas, a la cola.

8.4 Calificación del encolado

Examinando el estado de la junta rota y comparándola con una colección de testigos (véase 7.5) se atribuye un número a la junta de la forma siguiente:

8.4.1 Se obtiene la media aritmética de los números atribuidos a todas las probetas de la muestra, redondeándola hasta el número entero más próximo.

8.4.2 Dicha media aritmética define la calidad de los tableros ensayados.

8.4.3 ~~El resultado se redondea al número entero superior~~

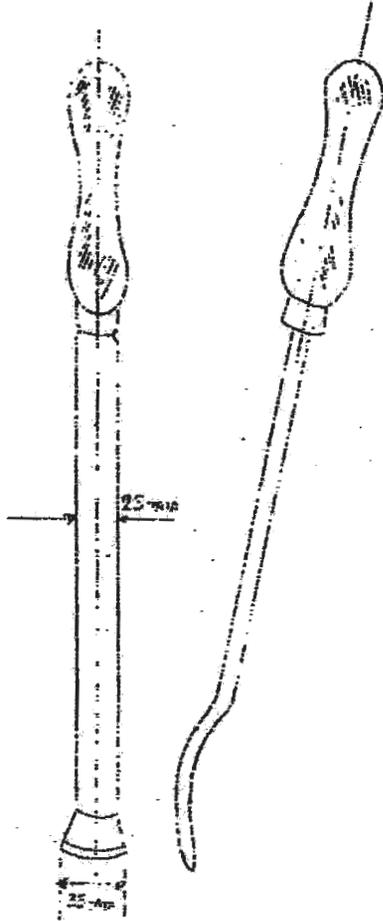


FIGURA 1



FIGURA 2

ANEXO 8

ESCALA DE CALIDAD DE LIGADURAS EN LA LÍNEA DE COLA SEGÚN LA NORMA TÉCNICA PERUANA 251.042

Calidad	Adherencia de las fibras de madera (%)
0	0 - 10
2	20 - 30
4	40 - 50
6	60 - 70
8	80 - 90
10	90 - 100

ANEXO 9

**NORMA ASTM D 906-98 STANDARD TEST METHOD FOR STRENGTH
PROPERTIES OF ADHESIVES IN PLYWOOD TYPE CONSTRUCTION IN SHEAR
BY TENSION LOADING**

(Página siguiente)



Standard Test Method for Strength Properties of Adhesives in Plywood Type Construction in Shear by Tension Loading¹

This standard is issued under the fixed designation D 906; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

INTRODUCTION

The accuracy of the results of strength tests of adhesive bonds will depend on the conditions under which the bonding process is carried out. Unless otherwise agreed upon between the manufacturer and the purchaser, the bonding conditions shall be prescribed by the manufacturer of the adhesive. In order to ensure that complete information is available to the individual conducting the tests, the manufacturer of the adhesive shall furnish numerical values and other specific information for each of the following variables:

- (1) The moisture content of the wood at the time of bonding.
- (2) Complete mixing directions for the adhesive.
- (3) Conditions for application of the adhesive including the rate of spread or thickness of film, number of coats to be applied, whether more than one coat is required.
- (4) Assembly conditions before application of pressure, including the room temperature, length of time, and whether open or closed assembly is to be used.
- (5) Curing conditions, including the amount of pressure to be applied, the length of time under pressure and the temperature of the assembly when under pressure. It should be stated whether this temperature is that of the bond line, or of the atmosphere at which the assembly is to be maintained.
- (6) Conditioning procedure before testing, unless a standard procedure is specified, including the length of time, temperature, and relative humidity.

A range may be prescribed for any variable by the manufacturer of the adhesive if it can be assumed by the test operator that any arbitrarily chosen value within such a range or any combination of such values for several variables will be acceptable to both the manufacturer and the purchaser of the adhesive.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the comparative shear strengths of adhesives in plywood-type construction, when tested on a standard specimen and under specified conditions of preparation, conditioning, and testing. This test method is intended to be applied only to adhesives used in bonding wood to wood.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are provided for information purposes only.

1.3 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appro-

priate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 143 Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber²
- D 907 Terminology of Adhesives³

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Many terms in this test method are defined in Terminology D 907.

3.1.1 *plywood, n*—a panel generally flat built up of layers of veneer called plies, united under pressure by an adhesive to create a panel with the bond between the plies as strong as, or

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-14 on Adhesives and is the direct responsibility of Subcommittee D14.30 on Wood Adhesives.

Current edition approved April 10, 1998. Published March 1999. Originally published as D 906 - 47 T. Last previous edition D 906 - 94a.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.10.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.06.

stronger than, the wood, and that has the following characteristics: (1) is constructed of an odd number of layers with grain of adjacent layers perpendicular, (2) with a layer consisting of either a single ply or two or more plies laminated with parallel grain direction, and (3) with outer layers and all odd numbered layers generally having the grain direction oriented parallel to the long dimension of the panel.

3.1.1.1 Discussion—Generally, the grain of one or more plies is approximately at right angles to the other plies, and almost always an odd number of plies are used.

3.1.2 shear, *n*—in an adhesively bonded joint, stress, strain or failure resulting from applied forces that tend to cause adjacent planes of a body to slide parallel in opposite directions.

4. Significance and Use

4.1 The way adhesives are used in plywood makes shear strength an important performance criteria.

4.2 Shear strength measured by this test is suitable for use in adhesive development, manufacturing quality control, and in materials performance specifications.

5. Apparatus

5.1 The testing machine shall be adjusted to a loading rate of between 4535 and 7560 g/s (600 and 1000 lb/min). Where the testing machine is adjusted by rate of crosshead movement rather than load application rate, an appropriate head movement rate shall be selected so as to yield an average load application rate in the 4535 to 7560 g/s (600 to 1000 lb/min) range. It shall be provided with suitable grips and jaws so that the specimen can be gripped tightly and held in alignment as the load is applied. The grips and jaws shown in Fig. 1 have been found satisfactory. The testing machine shall be located in an atmosphere such that the moisture content of the specimens developed under the conditions prescribed in Section 8 is not noticeably altered during testing.

6. Test Specimens

6.1 The test specimens shall conform to the form and dimensions shown in Fig. 2. The specimens shall be cut from test panels prepared as described in Sections 7 and 8.

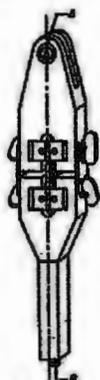
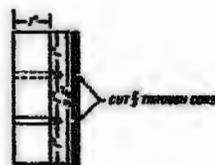


FIG. 1 Grips and Jaws



Metric Equivalents			
in.	3/4	1	3/4
mm	19.2	25.4	19.2

FIG. 2 Form and Dimensions of Test Specimen

6.2 At least 40 specimens, representing at least five different panels, shall be prepared, selected and tested as prescribed in Sections 9 and 10.

7. Preparation and Test Panels

7.1 The standard substrate for this test method is 1.6-mm (1/16 in.) thick rotary-cut or sliced veneer of sweet birch (*Betula lenis*) or yellow birch (*Betula alleghaniensis*). Any other thickness or species of veneer may be substituted upon written agreement between the party requesting this test and the manufacturer of the adhesive. Select veneer that is free of defects such as knots or distorted grain around knots, cracks, short grain (fibers out of plane), rough surfaces, or unusual discoloration that would indicate decay. Do not sand the veneer.

7.2 Cut the selected veneer into a size suitable for pressing and for cutting specimens with minimal waste. Allow at least 1/8-in. (3 mm) for trim around the edges.

Note 1—When cutting the veneer to size, ensure that the fiber direction is parallel and perpendicular to the edges. Appearance may be deceptive. If there is any question, the fiber direction should be checked with a scratch awl.

7.3 Condition the veneer to within ±1 % of the moisture content recommended by the adhesive manufacturer or the party requesting this test. In the absence of any guideline, condition the veneer to 10 to 12 % moisture content based on the oven dry weight. Check moisture content of recommended samples in accordance with Sections 124 to 127 of Methods D 143.

7.4 Prepare the adhesive in accordance with the adhesive manufacturer's instructions.

7.5 Apply the adhesive to each veneer in accordance with the adhesive manufacturer's instructions. Allow the prescribed open assembly time, if any, before reassembling the veneer. Reassemble the veneer with the fiber direction of the center veneer perpendicular to the two face veneer. Allow the prescribed closed assembly time, if any, before pressing. Press the assembly under the conditions prescribed by the adhesive manufacturer.

8. Conditioning of Test Panels

8.1 Upon removal from pressure, condition the panels at a relative humidity of 50 ± 2 % and at a temperature of 23 ± 1°C (73.4 ± 2°F) either for a period of 7 days, or until the specimens reach equilibrium as indicated by no progressive

changes in weight, whichever is the longer period. The length of this period of conditioning may be extended beyond this limit by written agreement between the purchaser and the manufacturer of the adhesive.

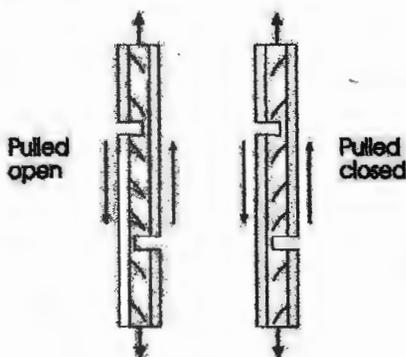
9. Preparation of Specimens

9.1 Cut the test specimens as shown in Fig. 2. This is best accomplished by cutting the notches to the proper width, depth, and location in the test panel, using a hollow-ground grooving saw or any other method that will give equally satisfactory results. Cut the notches in the panel in such a manner as to ensure that when the specimens are subjected to loading, the lathe checks in the center ply of half the specimens will be pulled open (tension) (see Fig. 3(a)), while in the other half the lathe checks will be pulled closed (compression) (see Fig. 3(b)). One method of accomplishing this is by notching the panel as illustrated in Fig. 4. When the panel has been notched, the individual specimens may be cut from the panel. Number them consecutively from one end of the panel to the other and identify with regard to panel of origin. Select the specimens to be tested so that an even and equal number of specimens are taken from each end of each panel. Measure the width of each specimen and the distance between notches to the nearest 0.025 cm (0.01 in.) to determine the shear area.

9.2 Retain the specimens in the conditioning atmosphere described in Section 8, until tested, except during the cutting operations.

10. Procedure

10.1 Place the test specimen in the jaws of the grips in the testing machine so that the specimen is perfectly aligned and



(a) Pulled Open
(b) Pulled Closed

FIG. 3 Lathe and Notch Orientations for Testing

parallel to the centerline of the jaws. If jaws such as those in Fig. 1 are used, then the specimen should be perfectly aligned with the pairs of jaws directly above each other and in such a position that an imaginary straight vertical line would pass through the center of the core ply and through the points of suspension *A* and *B* as shown in Fig. 1. Test specimens from each panel in numbered sequence and place in the jaws alternately so that in one case the upper notch is to the left and in the other case to the right. Apply the load at a rate of 4535 to 7560 g/s (600 to 1000 lb/min), or select a crosshead speed that will yield this.

11. Calculation

11.1 Record the load at failure to the nearest 35 kPa (5 psi) and the estimated wood failure to the nearest 5%. Express all failing loads in grams per square centimetre (or pounds per square in.) of shear area, calculated to the nearest 0.06 cm² (0.01 in²).

11.2 Calculate the average failing load for the group of specimens cut each end of each test panel. Combine the groups having the higher average failing load from each of the various test panels into one major group representing half of the total number of test specimens. Combine the remaining half of the test specimens, made up of the groups having the lower average failing load from each of the various test panels into a second major group. Calculate the average failing load and average percentage wood failure for each of the two major groups.

12. Report

12.1 The report shall include the following:

12.1.1 Complete identification of the adhesive tested including type, source, manufacturer's code numbers, form, etc., and the wood species used as well as its moisture content when used,

12.1.2 Application and bundling conditions used in preparing the specimens,

12.1.3 Conditioning procedure used for the specimens,

12.1.4 Temperature and relative humidity in the test room,

12.1.5 Number of specimens tested,

12.1.6 Number of panels represented,

12.1.7 Individual test results identified with regard to panel of origin and specimen number, and

12.1.8 Average failing load and average percentage wood failure for each of the two major groups of specimens.

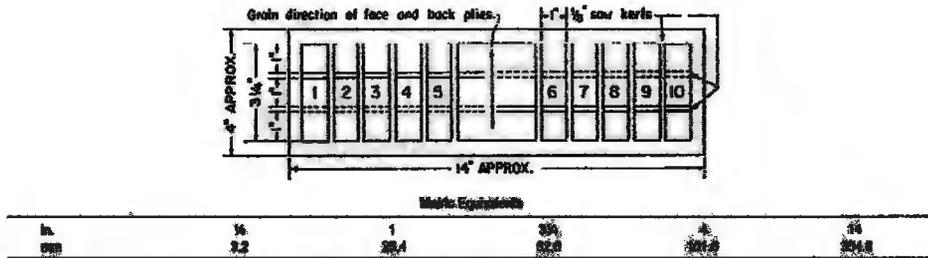
13. Precision and Bias

13.1 A precision and bias statement does not exist for this test method because resources necessary for round-robin testing have not been forthcoming.

14. Keywords

14.1 plywood; shear

D 906



D906.4 Size of Test Panel and Method of Cutting and Numbering of Test Specimens

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either approved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19380.

ANEXO 10

PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS PARA LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE LOS TABLEROS DE CAPINURÍ SEGÚN TRATAMIENTO Y FORMULACIÓN ENSAYADA

<i>Tratamiento</i>	<i>Número de muestras</i>	<i>Mediana de resistencia a la humedad</i>	<i>Promedio</i>	<i>Z</i>	<i>P calculado</i>
T1	15	0,000	20,5	-2,55	0,000
T2	15	0,000	28,2	-0,59	
T3	15	0,000	26,3	-1,08	
T4	15	8,000	47	4,22	
Total	60		30,5		

ANEXO 11

PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS PARA LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE LOS TABLEROS DE OJÉ RENACO SEGÚN TRATAMIENTO Y FORMULACIÓN ENSAYADA

<i>Tratamiento</i>	<i>Número de muestras</i>	<i>Mediana de resistencia a la humedad</i>	<i>Promedio</i>	<i>Z</i>	<i>P calculado</i>
T1	15	0,000	27,1	-0,87	0,005
T2	15	0,000	23,5	-1,79	
T3	15	0,000	27,1	-0,87	
T4	15	2,000	44,3	3,53	
Total	60		30,5		

ANEXO 12

A. VALORES DEL ENSAYO FÍSICO DE LAS PROBETAS ELABORADAS DE CAPINURÍ UTILIZANDO FORMULACIÓN INDUSTRIAL MAILSAC (T1, T2 Y T3) Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR (T4)

Número de tablero	Formulación industrial MAILSAC			Formulación básica VENCEDOR
	T1	T2	T3	T4
1	0	2	2	10
	0	0	8	6
	0	2	6	8
	0	0	0	8
	0	0	0	8
2	0	0	0	8
	0	0	0	8
	0	0	0	8
	0	2	0	8
	0	2	0	8
3	0	0	0	8
	0	0	0	8
	2	0	2	0
	0	2	0	0
	0	2	0	0

**B. VALORES DEL ENSAYO FÍSICO DE LAS PROBETAS ELABORADAS DE OJÉ
RENACO UTILIZANDO FORMULACIÓN INDUSTRIAL GEA (T1, T2 Y T3) Y
FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR (T4)**

Número de tablero	Formulación industrial GEA			Formulación básica VENCEDOR
	T1	T2	T3	T4
1	0	0	0	0
	0	0	0	2
	0	0	0	0
	0	0	0	2
	0	0	0	4
2	0	0	0	0
	0	0	0	6
	0	0	0	0
	0	0	0	0
	0	0	0	8
3	2	0	0	2
	0	0	0	2
	2	0	2	8
	0	0	2	8
	0	0	0	8

ANEXO 13

ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) DE LOS VALORES DEL ENSAYO DE RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE COLA AL ESFUERZO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO DE LOS TABLEROS DE CAPINURÍ SEGÚN TRATAMIENTO Y FORMULACIÓN ENSAYADA

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Tratamiento	3	75,96	25,32	1,53	0,2114
Error	116	1924,24	16,59		
Total	119	2000,20			

C.V = 24% Media de la resistencia = 16,98

ANEXO 14

ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA) Y PRUEBA DE TUKEY DE LOS VALORES DEL ENSAYO DE RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE COLA AL ESFUERZO DE TRACCIÓN PARALELA AL GRANO DE LOS TABLEROS DE OJÉ RENACO SEGÚN TRATAMIENTO Y FORMULACIÓN ENSAYADA

<i>Fuente de variación</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrados medios</i>	<i>F</i>	<i>Pr > F</i>
Tratamiento	3	279,68	93,23	6,64	0,0004
Error	116	1627,63	14,03		
Total	119	1907,31			

C.V = 24% Media de la resistencia = 15,87

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for RESIST

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	116
Error Mean Square	14.03127
Critical Value of Studentized Range	3.68639
Minimum Significant Difference	2.5211

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey		Mean	N	T
Grouping				
	A	18.3337	30	T3
	A			
B	A	15.9363	30	T4
B				
B		14.6957	30	T2
B				
B		14.5027	30	T1

ANEXO 15

A. VALORES DEL ENSAYO MECÁNICO (KG/CM²) DE LAS PROBETAS ELABORADAS DE CAPINURÍ UTILIZANDO FORMULACIÓN INDUSTRIAL MAILSAC (T1, T2 Y T3) Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR (T4)

Número de tablero	Formulación industrial MAILSAC			Formulación básica VENCEDOR
	T1	T2	T3	T4
1	11,04	18,63	13,28	14,06
	10,48	18,98	17,08	13,85
	13,71	19,83	18,45	17,08
	11,74	23,55	19,72	16,10
	15,05	21,87	17,68	14,76
	14,48	20,18	21,44	14,98
	15,26	16,52	19,47	17,72
	11,74	16,87	21,09	21,51
	13,71	17,51	23,41	17,58
	16,66	20,18	17,99	17,65
2	20,04	16,10	10,19	14,41
	22,01	15,64	10,68	15,64
	17,58	16,03	11,25	15,50
	19,26	15,29	11,25	12,37
	21,09	15,82	11,60	18,63
	23,90	10,97	7,14	11,43
	25,31	16,24	7,66	12,37
	21,44	10,41	6,86	13,15
	17,51	11,78	9,07	13,49
	24,47	11,74	9,84	12,48
3	19,05	21,02	16,24	23,34
	17,58	18,07	16,73	20,81
	18,91	17,93	18,63	22,15
	17,23	16,45	19,05	22,64
	19,12	19,19	18,63	18,35
	15,19	19,76	14,98	25,66
	16,94	17,37	18,98	26,01
	15,40	18,35	18,70	24,12
	16,45	17,93	22,08	21,44
	19,90	19,33	19,23	18,28

**B. VALORES DEL ENSAYO MECÁNICO (KG/CM²) DE LAS PROBETAS
ELABORADAS DE OJÉ RENACO UTILIZANDO FORMULACIÓN INDUSTRIAL
GEA (T1, T2 Y T3) Y FORMULACIÓN BÁSICA VENCEDOR (T4)**

Número de tablero	Formulación industrial GEA			Formulación básica VENCEDOR
	T1	T2	T3	T4
1	13,99	14,41	21,79	16,73
	13,00	15,82	25,17	20,88
	11,46	13,36	23,76	12,16
	11,60	13,07	17,58	12,09
	15,82	10,83	15,19	11,10
	16,31	16,52	20,95	13,00
	11,39	12,30	18,14	12,30
	11,25	11,67	18,42	13,22
	15,12	15,12	23,98	9,70
	15,61	11,04	19,33	14,90
2	16,45	16,17	13,57	16,52
	19,13	15,26	8,16	20,40
	15,68	13,71	7,45	21,09
	15,26	9,63	13,99	22
	18,14	14,20	18,35	21,79
	16,94	17,16	23,06	18,63
	19,55	17,99	23,06	21,87
	17,01	13,29	22,64	22,71
	19,69	14,76	19,83	19,47
	18,77	10,62	22,15	12,87
3	14,62	23,20	16,94	14,90
	10,76	18,35	19,05	16,10
	11,74	11,95	19,40	16,38
	8,99	11,46	13,71	21,09
	10,48	11,81	14,20	18,98
	14,45	18,98	19,69	13,00
	9,84	19,33	18,77	9,35
	13,49	17,72	20,74	12,51
	14,48	15,88	15,82	8,29
	14,06	15,26	15,12	14,06