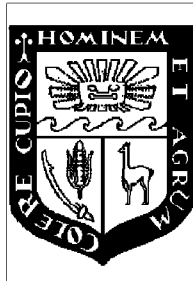


**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

*Facultad de Ciencias Forestales*



**Efecto de dos métodos de cepillado en  
la resistencia al cizallamiento de la  
línea de cola de dos especies de  
bosques secundarios**

*Tesis para optar el Título de*  
**INGENIERO FORESTAL**

**Margaret Grace Gonzales Calero**

Lima – Perú  
2006

## *RESUMEN*

Se evaluó la resistencia mecánica al cizallamiento de la línea de cola en uniones de madera encolada para dos especies de bosque secundario, Yanavara (*Pollalesta discolor* Kunth Aristigueta) y Pino chuncho (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) en función a dos métodos de cepillado y a sus tres planos de corte.

Se utilizó un adhesivo a base de resina sintética, acetato de polivinilo (PVA), evaluándose la resistencia máxima, el porcentaje de falla en la madera y la calidad de superficie obtenidos por los métodos de cepillado ortogonal (ángulo de corte 30°) y periférico. (ángulo de corte 15°)

Los resultados permiten comprobar la influencia de la calidad de superficie en la resistencia al cizallamiento de la línea de cola, así como en la encolabilidad de la madera, hallándose un alto valor de resistencia al cizallamiento con la disminución de la rugosidad para el cepillado periférico en el plano tangencial en ambas especies, mientras que para el cepillado ortogonal los mayores valores de resistencia se dieron en el plano oblicuo.

El porcentaje de falla en la madera de ambas especies no presentó una tendencia general clara con respecto a la rugosidad y resistencia al cizallamiento de la línea de cola, los valores promedio oscilaron entre 20% y 50% para todos los tratamientos, siendo un buen indicador de las adecuadas condiciones de encolado utilizadas, ya que la ruptura se produjo fundamentalmente en la madera y no en la línea de cola.

Palabras claves: resistencia al cizallamiento, porcentaje falla madera, planos de corte de madera, cepillado ortogonal, cepillado periférico, rugosidad, línea de cola, Yanavara, Pino chuncho, encolado.

# ÍNDICE

Página

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>3</b>
2.1 DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS.....	3
2.1.1 <i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke “Pino chuncho”.....	3
A) Características generales de la especie.....	4
Ubicación taxonómica.....	4
Nombres comunes.....	4
Sinónimos botánicos.....	5
Distribución y hábitat.....	5
B) Características Anatómicas y Propiedades Físico Mecánicas de la Madera.....	6
C) Análisis Químico de la Madera.....	7
D) Superficie de la madera : Rugosidad.....	8
E) Usos.....	9
2.1.2 <i>Pollalesta discolor</i> (kunth) Aristeguieta “Yanavara”.....	10
A) Características generales de la especie.....	10
Ubicación taxonómica.....	10
Nombres comunes.....	11
Sinónimos botánicos.....	11
Distribución y hábitat.....	11
B) Características Anatómicas y Propiedades Físico Mecánicas de la Madera.....	12
C) Análisis químico de la madera: “Yanavara” Oliganthes sp.....	13
D) Superficie de la madera : Rugosidad.....	14
E) Usos:.....	15
2.2 SOBRE LOS ADHESIVOS.....	15
2.2.1 <i>Definición de adhesivo</i> .....	15
2.2.2 <i>Colas en dispersión: Acetato polivinílico (PVA)</i> .....	15
2.3 TEORIA DEL ENCOLADO.....	17
2.3.1 <i>Mecanismos Fundamentales de la Adhesión</i> .....	17
A) Unión mecánica.....	18
B) Teoría de la interdifusión.....	19
C) Teoría eléctrica:.....	20
D) Teoría de la adsorción.....	20
2.3.2 <i>Factores que influyen en la adhesión</i> .....	22
A) Topografía del adherente.....	22
B) Humectabilidad.....	23
C) Preparación de la superficie a encolar.....	24
D) Estructura de los materiales unidos (madera).....	24
2.3.3 <i>Evaluación y tipos de esfuerzos en las uniones adhesivas</i> .....	25
A) Evaluación de la adhesión.....	25
B) Tipos de esfuerzos en la uniones.....	26
2.4 SOBRE LA MADERA.....	26
2.4.1 <i>PROPIEDADES SUPERFICIALES DE LA MADERA</i> .....	27
A) Textura.....	27
B) Composición química.....	29
2.4.2 <i>PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA COMO ADHERENTE</i> .....	30
A) Contenido de humedad y Cambios dimensionales.....	30
B) Densidad.....	31
C) Porosidad.....	32
2.5 SOBRE EL EFECTO DEL CEPILLADO.....	32
2.6 SOBRE EL PROCESO DE UNIÓN.....	34
2.6.1 <i>Control del contenido de humedad</i> .....	35
2.6.2 <i>Características de la unión</i> .....	35
2.6.3 <i>Ensamblaje y acondicionamiento post fraguado</i> .....	35

<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>37</b>
3.1	LUGAR DE EJECUCIÓN .....	37
3.2	MATERIALES .....	37
3.2.1	Madera.....	37
3.2.2	Cola.....	37
3.3	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.....	38
3.4	METODOLOGIA Y PROCEDIMIENTOS .....	40
3.4.1	Identificación de las especies .....	40
3.4.2	Preparación y evaluación de la superficie de madera .....	40
3.4.3	Evaluación de la cola .....	41
A)	Contenido de sólidos.....	41
B)	Viscosidad.....	41
C)	pH.....	42
3.4.4	Proceso de encolado.....	42
3.4.5	Ensayos de Resistencia al cizallamiento en la línea de cola.....	46
3.4.6	Evaluación del porcentaje de madera fallada.....	46
3.4.7	Determinación del contenido de humedad.....	47
3.4.8	Cálculo de la resistencia al cizallamiento en la línea de cola .....	47
3.4.9	Análisis estadístico .....	48
A)	Diseño experimental .....	48
B)	Comprobación de la distribución normal de los datos .....	49
C)	Prueba de hipótesis para la rugosidad y resistencia al cizallamiento en la línea de cola.....	50
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>51</b>
4.1	RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE EN FUNCIÓN DE LOS PLANOS DE CORTE Y MÉTODO DE CEPILLADO. ....	51
4.2	EVALUACIONES PREVIAS AL PROCESO DE ENCOLADO. ....	54
4.3	RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO EN LA LÍNEA DE COLA. ....	55
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>63</b>
<b>6.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>64</b>
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>72</b>	
FICHA TÉCNICA COLA BLANCA MADERA POWER BOND FULLER.....	72	
<b>ANEXO 2.....</b>	<b>75</b>	
CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE COLAS PARA MADERA .....	75	
<b>ANEXO 3.....</b>	<b>76</b>	
CONSTANCIA DE IDENTIFICACIÓN DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS .....	76	
<b>ANEXO 4.....</b>	<b>77</b>	
FORMATOS .....	77	
EVALUACION DE RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE.....	77	

<b>ANEXO 5</b> .....	<b>79</b>
VALORES UNITARIOS Y PROMEDIOS DE LAS EVALUACIONES DE RUGOSIDAD .....	79
<b>ANEXO 6</b> .....	<b>82</b>
VALORES UNITARIOS Y PROMEDIO DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO EN LA LINEA DE COLA CON DOS METODOS DE CEPILLADO.....	82
<b>ANEXO 7</b> .....	<b>86</b>
ANÁLISIS ESTADÍSTICO RUGOSIDAD .....	86
<b>ANEXO 8</b> .....	<b>91</b>
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO EN LA LINEA DE COLA.....	91
<b>ANEXO 9</b> .....	<b>97</b>
NORMA ASTM 1084: VISCOSIDAD DE ADHESIVO .....	97

## *Lista de cuadros*

Página

<b>CUADRO 1</b>	<b>: PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DEL PINO CHUNCHO.....</b>	<b>7</b>
<b>CUADRO 2</b>	<b>: VALORES PROMEDIOS DEL ANALISIS QUIMICO DE 65 MADERAS DE LA AMAZONIA PERUANA.....</b>	<b>8</b>
<b>CUADRO 3</b>	<b>: COMPONENTES QUÍMICOS DE PINO CHUNCHO .....</b>	<b>8</b>
<b>CUADRO 4</b>	<b>: RUGOSIDAD MEDIA (MM) PARA PINO CHUNCHO.....</b>	<b>9</b>
<b>CUADRO 5</b>	<b>: PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DE YANAVARA .....</b>	<b>13</b>
<b>CUADRO 6</b>	<b>: COMPONENTES QUÍMICOS DE YANAVARA .....</b>	<b>14</b>
<b>CUADRO 7</b>	<b>: RUGOSIDAD MEDIA (MM) PARA YANAVARA <sup>2</sup> .....</b>	<b>14</b>
<b>CUADRO 8</b>	<b>: CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROCESO DE ENCOLADO .....</b>	<b>43</b>
<b>CUADRO 9</b>	<b>: CANTIDAD DE PROBETAS ENSAYADAS POR TRATAMIENTO .....</b>	<b>46</b>
<b>CUADRO 10</b>	<b>: VALORES DE RUGOSIDAD MEDIA PARA DOS ESPECIES MADERABLES.....</b>	<b>51</b>
<b>CUADRO 11</b>	<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA DE LA RUGOSIDAD MEDIA ENTRE LOS MÉTODOS DE CEPILLADO .....</b>	<b>52</b>
<b>CUADRO 12</b>	<b>: NIVEL DE SIGNIFICANCIA DE LA RUGOSIDAD MEDIA ENTRE LOS PLANOS DE CORTE PARA PINO CHUNCHO.....</b>	<b>53</b>
<b>CUADRO 13</b>	<b>: EVALUACIÓN DE LA COLA Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA...55</b>	
<b>CUADRO 14</b>	<b>: VALORES PROMEDIOS DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO DE LA LINEA DE COLA PARA DOS ESPECIES MADERABLES.....</b>	<b>56</b>
<b>CUADRO 15</b>	<b>: NIVEL DE SIGNIFICANCIA DE LA RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO EN LA LÍNEA DE COLA ENTRE MÉTODOS DE CEPILLADO .....</b>	<b>57</b>
<b>CUADRO 16</b>	<b>: NIVEL DE SIGNIFICANCIAS DEL PROMEDIO DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO EN LA LINEA DE COLA ENTRE PLANOS DE CORTE .....</b>	<b>58</b>

## *Lista de figuras*

Página

FIGURA 1	ARBOL DE PINO CHUNCHO .....	3
FIGURA 2	: ÁRBOL DE YANAVARA.....	10
FIGURA 3	: DIFERENCIACIÓN ENTRE ADHESION Y COHESIÓN.....	17
FIGURA 4	: UNIÓN MECÁNICA.....	18
FIGURA 5	: FENÓMENO DE INTERDIFUSIÓN.....	19
FIGURA 6	: TEORÍA ELÉCTRICA .....	20
FIGURA 7	: TEORÍA DE LA ADSORCIÓN.....	21
FIGURA 8	: TEORÍA DE QUIMOSORCIÓN.....	22
FIGURA 9	: EJEMPLOS DE HUMECTABILIDAD SUPERFICIAL .....	24
FIGURA 10	: TIPOS DE FALLAS EN LA UNIÓN ADHESIVA.....	25
FIGURA 11	: TIPOS DE ESFUERZOS EN LAS UNIONES ADHESIVAS.....	26
FIGURA 12	: DISTRIBUCIÓN SISTEMÁTICA DE LOS PUNTOS DE LECTURA DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL.....	40
FIGURA 13	: LISTÓN PARA PROBETAS DEL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO DE LA LÍNEA DE COLA .....	45
FIGURA 14	: DIMENSIONES DE LAS PROBETAS PARA EL ENSAYO CIZALLAMIENTO DE LA LÍNEA DE COLA.....	45

## *Lista de fotos*

	Página
FOTO 1.    MICROFOTOGRAFÍAS DE <i>SCHIZOLOBIUM AMAZONICUM HUBER EX DUCKE</i> (PINO CHUNCHO), EN SUS TRES PLANOS DE CORTE: (A) TANGENCIAL, (B) TRANSVERSAL Y (C) RADIAL. 80 X .....	28
FOTO 2.    MICRO FOTOGRAFÍAS DE <i>POLLALESTA DISCOLOR KUNTH ARISTIGUETA</i> (YANAVARA), EN SUS TRES PLANOS DE CORTE: (A) TANGENCIAL, (B) TRANSVERSAL Y (C) RADIAL. 80 X .....	28
FOTO 3.    : RUGOSÍMETRO .....	41
FOTO 4.    : PRENSADO DE LOS LISTONES ENCOLADOS.....	44
FOTO 5.    : ACONDICIONAMIENTO DE LOS LISTONES ENCOLADOS.....	44
FOTO 6.    : ACONDICIONAMIENTO DE PROBETAS ENCOLADAS.....	44
FOTO 7.    : FALLAS DE LAS MADERAS : (A) YANAVARA Y (B) PINO CHUNCHO .....	60



## **1. INTRODUCCIÓN**

En el Perú la utilización de especies en la industria forestal está restringido a un cierto número de especies comerciales, que son sobre-explotadas, contribuyendo a la pérdida de diversidad biológica y deforestación. Sin embargo existen volúmenes importantes de otras especies “poco conocidas” que se sub-utilizan debido a problemas de mercadeo o desconocimiento de sus características y propiedades tecnológicas.

La utilización de maderas de rápido crecimiento provenientes de bosques secundarios, las cuales han ingresado a los mercados principalmente por sus características tecnológicas de fácil trabajabilidad y aceptación de mercado por menores precios en comparación con los productos madereros provenientes de bosques primarios; constituyen una oportunidad para ampliar la oferta en el mercado nacional.

Para la realización de uniones encoladas es necesario controlar una serie de parámetros inherentes al adhesivo y la madera. El primero involucra presión, tiempo y temperatura del encolado y el extendido de la cola, mientras que el segundo se refiere a propiedades físico-químicas de la madera, contenido de humedad, temperatura; así mismo tiene influencia la calidad de superficie a encolar, de la cual se tiene escasa información de cómo esta afecta al encolado en el caso de maderas tropicales.

Procesos como lijado y cepillado producen superficies muy rugosas para tales propósitos, la falta de uniformidad superficial son la causa de la aparición de irregularidades que deben ser rellenados por el adhesivo, haciendo buen contacto entre ambas superficies unidas y formando una unión rígida. Aun así el cepillado a máquina (corte periférico) aparentemente da una buena calidad de superficie, pero que al ser observadas al microscopio presentan células dañadas o aplastadas causando una disminución en el esfuerzo de corte en uniones encoladas.

El principal propósito de este trabajo es evaluar y comparar el efecto de dos métodos de cepillado: periférico y ortogonal sobre la rugosidad superficial y resistencia al cizallamiento de la línea de cola para dos especies de bosque secundario: *Schizolobium amazonicum* Huber Ex Ducke “Pino Chuncho” y *Pollalesta discolor* (Kunth) Aristigueta “Yanavara” encoladas con acetato de polivinilo (PVA). Los objetivos específicos son (a) establecer una correlación entre la rugosidad superficial y la resistencia al cizallamiento para los diferentes planos de corte y (b) evaluar el efecto de los planos de corte en la rugosidad superficial.

El conocimiento del comportamiento al encolado de estas especies permitirá incorporar a la industria maderera especies de valor comercial potencial, que crecen tanto en bosques primarios residuales como secundarios, bajo la premisa de diversificar la oferta maderable e introducir especies menos conocidas en el mercado.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS

#### 2.1.1 SCHIZOLOBIUM AMAZONICUM HUBER EX DUCKE “PINO CHUNCHO”

Familia: LEGUMINOSAE (CAESALPINIOIDEAE)

El *Schizolobium amazonicum Huber ex Ducke* es un árbol de 30 a 70 cm de diámetro y de 18 a 25 m de altura total, con fuste cilíndrico, la corteza externa con ritidoma en placas rectangulares pequeñas (Figura 1). Se distribuye en la región amazónica por debajo de los 1200 m.s.n.m, presente en bosques secundarios tempranos y tardíos, se le encuentra en claros en el bosque primario; prefiere suelos arenosos y limosos, de fertilidad media a alta. Tiene una floración hacia fines de estación seca entre Octubre y Noviembre. (Reynel et al. 2003).



Figura 1: ARBOL DE PINO CHUNCHO

*Fuente: Justiniano et al. 2001*

## **A) CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ESPECIE**

Su tronco es bien formado, recto con 3 a 5 aletones equiláteros, laminares y una copa alargada, abierta y poco densa. (INIA 1996)

### **Ubicación taxonómica**

El género *Schizolobium* fue propuesto en 1919, por Vogel mediante la descripción de la especie *Schizolobium excelsum* Blake. Desde la creación de este género, se han descrito e incorporado otras especies a éste, habiéndose llegado a un total de cinco: *S. amazonicum*, *S. parahyba*, *S. glutinosum*, *S. kellermani* y *S. excelsum*. Sin embargo en 1996, Barneby resuelve que estas especies son solo sinónimos de la única especie del género *Schizolobium parahyba* y que consta de dos subespecies *S. parahyba* var. *parahyba* y *S. parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby; siendo esta última la que corresponde a la especie en estudio. (Madrid 1999)

El género *Schizolobium* pertenece a la sub familia Caesalpinioideae. De acuerdo a Brako & Zarucchi (1993) la especie *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke solamente existe en el Perú, según Reynel et al (2003) este nombre sería sinónimo de la especie *Schizolobium parahyba* la cual se reporta hasta el momento solo para Brasil y Bolivia. Por lo que existe muchas opiniones taxonómicas aun no aclaradas totalmente.

Reynel <sup>1</sup> (Comunicación personal 2005) considera que la denominación de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke para esta especie es la apropiada porque así se la conoce mayormente en el Perú por taxónomos, tal como aparece en el Catálogo de Gimnospermas y Angiospermas del Perú (Bracko & Zarucchi 1993).

### **Nombres comunes**

Por ser una especie de amplia distribución recibe varios nombres comunes, de acuerdo a la zona, región o país donde se encuentre. En el Ecuador y Perú es conocido con el nombre de Pashaco y Pino chuncho. En Colombia y en gran parte de Centroamérica se le denomina

---

<sup>1</sup> Director del Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales - UNALM

tambor y zorra. En Brasil recibe los nombres de Parica o Paricá grande, Pinho ciuabano, Guapuruvú, Faveira branca, Bacurubú, Pinho, Pau de ventém y Ficheiro.

En Bolivia, *Schizolobium parahyba* se conoce con el nombre de Serebó o sombrerillo .En México se le conoce como judío. En el comercio internacional es conocido como Guamwood, Guapuruvú. (Justiniano et al. 2001)

### **Sinónimos botánicos**

*Schizolobium excelsum* var. *amazonicum* Ducke ex L. Williams, *Schizolobium parahyba* (Vellozo) Blake var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barn by. (Reynel et al. 2003)

### **Distribución y hábitat**

El género *Schizolobium* tiene amplia dispersión en el país, de acuerdo con algunos inventarios forestales se le puede encontrar distribuida desde bosques secundarios, periódicamente inundados (Loreto y Ucayali), abundante en bosques secundarios (San Ramón, Pichanaki) hasta en Regeneración natural abundante en Selva Central y distribuido en riberas de ríos de las provincias de Oxapampa, Chanchamayo y Satipo a altitudes de 300 a 1200 msnm. (Brack, citado por Sotelo 1992)

En el departamento de San Martín lo encontramos en los Bosques Secundarios formando parte del Bosque Premontano Tropical, en asociación de especies como: café, frutales, rastreras, forestales. En terrenos inclinados y de suelo franco arenarcilloso. (Acevedo 2003).

También se le puede encontrar en Brasil, Ecuador, Colombia y Bolivia. Probablemente introducida en Paraguay y México. (Palomino y Barra 2003)

El Pino chuncho es una especie estrictamente heliófita, de rápido crecimiento y muy común en bosques secundarios establecidos en áreas que han sufrido grandes disturbios, como los producidos por los incendios y la agricultura migratoria. En áreas sujetas a aprovechamiento forestal, también es muy frecuente encontrar regeneración natural de esta especie (por ejemplo en caminos, rodeos o patios de acopio). (Justiniano et al. 2001)

El mismo autor sostiene que prefiere un clima tropical húmedo a sub húmedo estacional, con una precipitación anual promedio que oscile entre los 1200 y 2500 mm. La especie prefiere suelos bien drenados, pero tolera suelos con drenaje deficiente durante períodos cortos de tiempo.

Según Sotelo (1992) la densidad de *S. Parahyba* es mayor en los bosques de terrenos altos que en bosques sujetos a inundaciones frecuentes.

### **B) CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS Y PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA MADERA**

La madera del Pino chuncho en condición seca al aire, no presenta diferencias entre albura y duramen presenta grano entrecruzado, textura gruesa, arcos superpuestos en sección tangencial y líneas verticales en sección radial y porosidad difusa. Sus poros son grandes (202  $\mu\text{m}$ ), visibles a simple vista, solitarios y múltiples radiales, muy pocos ( $2/\text{mm}^2$ ). Tiene parénquima del tipo paratraqueal vascicéntrico. Sus fibras son de longitud mediana (1451  $\mu\text{m}$ ) y pared muy delgada (3  $\mu\text{m}$ ). (Chavesta 2003).

Acevedo (2003) explica que la madera del *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke tiene una densidad básica de 0.36; mostrando los valores cuantitativos de dichas propiedades en el Cuadro 1. Así como también, explica que esta madera presenta baja resistencia a la flexión estática, compresión paralela y perpendicular, dureza (lados) y cizallamiento; comportamiento que la ubican dentro del Grupo II: maderas de baja resistencia.

Cuadro 1: PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DEL PINO CHUNCHO

Propiedades físicas y mecánicas		Unidades	Promedio	CV(%)
Contracción	Radial	%	3,13	18,91
	Tangencial	%	6,36	9,55
	Volumétrica	%	9,55	7,98
Densidad	Básica	-	0,36	17,70
	Saturada	g/cm <sup>3</sup>	0,70	17,33
	Seca al aire	g/cm <sup>3</sup>	0,42	17,88
	Anhidra	g/cm <sup>3</sup>	0,39	18,33
Cizallamiento	Radial	Kg/cm <sup>2</sup>	57,37	14,55
	Tangencial	Kg/cm <sup>2</sup>	66,00	24,40
Compresión perpendicular	ELP	Kg/cm <sup>2</sup>	26,21	27,84
Dureza	Extremos	Kg/cm <sup>2</sup>	315,64	33,86
	Lados	Kg/cm <sup>2</sup>	301,65	43,39
Flexión estática	ELP	Kg/cm <sup>2</sup>	295,56	16,29
	MOR	Kg/cm <sup>2</sup>	457,51	16,49
	MOE (x 10 <sup>3</sup> )	Kg/cm <sup>2</sup>	76,87	19,92
Tensión perpendicular	Radial	Kg/cm <sup>2</sup>	19,49	31,27
	Tangencial	Kg/cm <sup>2</sup>	23,88	22,52

Fuente: Acevedo (2003)

### C) ANÁLISIS QUÍMICO DE LA MADERA

Gonzáles et al (2001), en el estudio realizado a 65 especies forestales de la Amazonía, se encontraron valores promedios de **50,9% de celulosa** en un rango de 44,2 – 56,9% y un **28,5% de lignina** dentro de un rango de 20,4 – 29,6 % y **0,33% de sílice** con un rango de 0,02 – 2,49 %. (Cuadro 2)

Cuadro 2 : VALORES PROMEDIOS DEL ANALISIS QUIMICO DE 65 MADERAS DE LA AMAZONIA PERUANA

	Promedio	Limite Inferior	Límite Superior	Valor mínimo	Valor máximo	CV%
Densidad básica	0,52	0,49	0,55	0,25	0,85	25
Longitud de	1,5	1,40	1,59	1,0	2,9	26
Celulosa	50,9	50,3	51,6	44,2	56,9	5
Lignina	28,5	27,7	29,3	20,4	39,6	11
Sílice	0,33	0,21	0,44	0,02	2,49	138

CV: coeficiente de variación

*Fuente: Gonzáles et al (2001)*

En el cuadro 3 se muestran los componentes químicos de esta especie, en el cual se aprecia un bajo porcentaje de celulosa respecto a valores promedios de otras especies de la amazonía.

Cuadro 3 : COMPONENTES QUÍMICOS DE PINO CHUNCHO

Componentes	%
Celulosa	45,57
Lignina	27,43
Hemicelulosas	21,84
Extractivos	3,32
Cenizas	1,84
Sílice	0,63

*Fuente: Ludeña (1987)*

#### **D) SUPERFICIE DE LA MADERA : RUGOSIDAD**

Estudios realizados en la Universidad Nacional Agraria la Molina sobre comportamiento de esta especie frente al cepillado, propone las siguientes condiciones de trabajabilidad: Ángulo de corte de la cuchilla 15° y velocidad de alimentación de 10 m/min. Bajo estas condiciones se encontró una rugosidad media por plano de corte y un valor promedio para la especie de



9,53  $\mu\text{m}$ , mostrada en el cuadro 4, observándose también que con un ángulo de corte mayor (25°) existen variaciones en los planos tangencial y oblicuo, aumentando el valor promedio de la especie a 11,41  $\mu\text{m}$ .

Cuadro 4: RUGOSIDAD MEDIA ( $\mu\text{m}$ ) PARA PINO CHUNCHO<sup>2</sup>

Orientación	Ángulo de corte	
	15 °	25 °
Radial	11,12	12,52
Tangencial	8,42	10,44
Oblicuo	9,05	11,28
Promedio	9,53	11,41

### **E) USOS**

Es usado en cajonería liviana, revestimiento, carpintería en general, laminados, enchapados, aglomerados, puertas, cajas, maquetas, juguetería, tacos de calzados y embalajes. Justiniano, et al (2001); además de que cuenta con características adecuadas para la elaboración de pulpa para papel. (Bueno y Lao 1978).

El pino chuncho es apropiado para sistemas agroforestales debido a su rápido crecimiento y buena forma y se le considera una especie fijadora de nitrógeno, por lo que es utilizada para la recuperación de suelos empobrecidos (INIA 1996)

El uso de la madera de Pino chuncho se ha acrecentando en la industria laminadora en Bolivia, y ésta se ha constituido en una de las principales para este rubro. (Justiniano et al. 2001)

---

<sup>2</sup> Características de trabajabilidad del Pino chuncho y Yanavara. Meléndez M. y Bustamante N. (Trabajo inédito)

### 2.1.2 POLLALESTA DISCOLOR (KUNTH) ARISTEGUIETA “YANAVARA”

Familia: ASTERACEAE (COMPOSITAE)

Reynel et al (2003), lo describe como un árbol de 25 a 60 cm de diámetro y de 15 a 30 m de altura total, con fuste cilíndrico y base del fuste recto. Con floración durante la estación seca, entre Agosto y Septiembre. (Figura 2)



Figura 2 : ÁRBOL DE YANAVARA

*Fuente: Missouri Botanical Garden (2005)*

#### **A) CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ESPECIE**

##### **Ubicación taxonómica**

Según las bases tradicionales de los caracteres morfológicos, en Sur y Centro América, el género *Pollalesta* ha sido incluido dentro del género *Piptocoma*. El recientemente ampliado género *Piptocoma* se mantienen como distinto al género *Oliganthes* en el viejo mundo. En Centroamérica (Costa rica) el único taxón que ha sido afectado, es *Pollalesta discolor* (Kunth) *Aristeguieta*, la cual ahora se ha convertido en *Piptocoma discolor* (Kunth) Pruski. (Pruski 1996)

Para el Perú, Reynel (Comunicación personal 2005), sostiene que la denominación de *Pollalesta discolor* (Kunth) *Aristeguieta* para esta especie es la apropiada porque así es como se la reconoce en el País, por taxónomos tal como aparece en el Catálogo de Gimnospermas y Angiospermas del Perú. (Bracko & Zarucchi 1993)

### **Nombres comunes**

En Panamá se le conoce con Negro, en el Perú se le llama Ocuera negra, Yana varas, Yana Ocuera, en Colombia como Aliso.

### **Sinónimos botánicos**

*Piptocoma discolor* (Kunth) Pruski, *Dialesta discolor* Kunth, *Pollalesta peruviana* *Aristeguieta*, Chavesta (2003) menciona además a *Oliganthes discolor* (H.B.K) Sch. Bip. y *Oliganthes ferruginea* Gleason.

### **Distribución y hábitat**

Se le encuentra habitando en la Amazonía Andina mayormente por debajo de los 1000 m.s.n.m, en ambientes con pluviosidad elevada y constante. Es una especie con tendencia heliófita y de rápido crecimiento, presente en bosques secundarios tempranos y tardíos, en suelos arcillosos a limosos, fértiles, bien drenados, con pedregosidad baja a media. (Reynel et al. 2003)

En el departamento de San Martín se le encuentra en los Bosques Secundarios formando parte del Bosque Húmedo Premontano Tropical, en asociación de especies como: café, frutales, rastreras, forestales. En terrenos inclinados y de suelo arenoso. (Acevedo 2003)

En el departamento de Amazonas se le ubica dentro de los bosques que han sido perturbados, siendo parte de los bosques secundarios recientes (chacras abandonadas de 2 a 5 años) creciendo como especie pionera de unos 10 m de altura y también en purmas viejas (pastos abandonados por mas de 20 años) formando parte del dosel superior. (Vásquez y Rojas 1997)

También se le puede encontrar en Colombia en el departamento Chocó, en el Bosque pluvial tropical (Fundación Beteguma 1998). Y formando parte del bosque secundario en la región del Pastaza y en el sur de Ecuador (Proyecto Chontayacu 2003). Es una especie que se le encuentra en la región centroamericana, así la podemos encontrar en Panamá (en áreas abiertas y bosques secundarios), Costa Rica y en Venezuela.

### ***B) CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS Y PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA MADERA***

La madera en condición seca al aire, no presenta diferencias entre albura y duramen presenta grano recto, textura fina y arcos superpuestos en sección tangencial. Tiene porosidad difusa, sus poros son pequeños (100  $\mu\text{m}$ ) visibles con lupa de 10x, moderadamente numerosos (20/mm<sup>2</sup>), solitarios y múltiples radiales. Parénquima del tipo paratraqueal vascicéntrico y fibras de longitud mediana (1080  $\mu\text{m}$ ) y pared delgada (4  $\mu\text{m}$ ). (Chavesta 2003)

Acevedo (2003) señala que la madera de Pollalesta discolor (Kunth) Aristigueta presenta densidad básica de 0.48, en relación a los valores de las propiedades mecánicas esta madera presenta una alta resistencia al cizallamiento y en las demás se comporta como una madera de resistencia media. Los siguientes valores de propiedades mecánicas (Cuadro 5) ha sido clasificada dentro del Grupo III: maderas de moderada resistencia.

Cuadro 5 : PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DE YANAVARA

Propiedades físicas y mecánicas		Unidades	Promedio	CV (%)
Contracción	Radial	%	4,42	13,93
	Tangencial	%	8,16	11,10
	Volumétrica	%	12,60	12,38
Densidad	Básica	-	0,48	10,47
	Saturada	g/cm <sup>3</sup>	0,72	7,80
	Seca al aire	g/cm <sup>3</sup>	0,58	10,23
	Anhidra	g/cm <sup>3</sup>	0,55	10,91
Cizallamiento	Radial	Kg/cm <sup>2</sup>	84,93	12,01
	Tangencial	Kg/cm <sup>2</sup>	103,80	11,21
Compresión perpendicular	ELP	Kg/cm <sup>2</sup>	39,61	22,14
Dureza	Extremos	Kg/cm <sup>2</sup>	402,87	19,91
	Lados	Kg/cm <sup>2</sup>	411,56	20,41
Flexión estática	ELP	Kg/cm <sup>2</sup>	373,50	20,99
	MOR	Kg/cm <sup>2</sup>	598,80	18,67
	MOE (x 10 <sup>3</sup> )	Kg/cm <sup>2</sup>	94,76	18,25
Tensión perpendicular	Radial	Kg/cm <sup>2</sup>	34,32	25,21
	Tangencial	Kg/cm <sup>2</sup>	52,79	11,88

Fuente: Acevedo (2003)

### C) ANÁLISIS QUÍMICO DE LA MADERA: “YANAVARA” OLIGANTHES SP.

Gonzáles et al (2001), encontraron en el estudio realizado a 65 especies forestales de la Amazonía, valores promedios de 50,9% de celulosa, 28,5% de lignina y 0,33% de sílice. (Ver cuadro 2)

En el cuadro 6 se aprecian los valores de los componentes químicos de la Yanavara, observándose altos valores de celulosa y lignina, por lo que se puede decir que es una especie con potencial papelerero.

Cuadro 6 : COMPONENTES QUÍMICOS DE YANAVARA

Componentes	%
Celulosa	52.33
Lignina	29.18
Pentosanos	14.74
Extractivos	3.55
Cenizas	0.51
Sílice	0.08

*Fuente: Bueno y Lao (1978)*

#### **D) SUPERFICIE DE LA MADERA : RUGOSIDAD**

Estudios realizados en la Universidad Nacional Agraria la Molina sobre el comportamiento de esta especie frente al cepillado, recomienda las siguientes condiciones de trabajabilidad:

Ángulo de corte de cuchilla de 15° y una velocidad de alimentación 10 m/min. Bajo tales condiciones se encontró una rugosidad media por plano de corte y un valor promedio para la especie de 8,58  $\mu\text{m}$  (Cuadro 7), se observa también que con un ángulo de corte mayor (25°) existen variaciones en todos los planos de corte son mínimas, no variando mucho el valor promedio de la especie a 11,41  $\mu\text{m}$ .

Cuadro 7 : RUGOSIDAD MEDIA ( $\mu\text{m}$ ) PARA YANAVARA <sup>2</sup>

Orientación	Ángulo de corte	
	15 °	25 °
Radial	9,19	9,12
Tangencial	7,97	8,86
Oblicuo	-----	8,96
Promedio	8,58	8,98

### **E) USOS:**

Construcción, carpintería de obra: marcos, puertas y ventanas, mueblería, machihembrado, cajonería liviana, zócalos, rodones, madera torneada y tallada.

Es empleada en la recuperación de suelos en bosques que han sido convertido a pastos. Utilizada también como planta medicinal en Costa Rica, Colombia y Perú. Y con fines avícolas en Ecuador. (Vásquez y Rojas 1997)

## **2.2 SOBRE LOS ADHESIVOS**

### **2.2.1 DEFINICIÓN DE ADHESIVO**

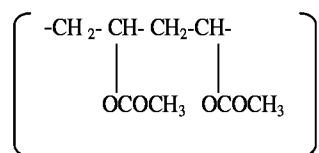
Según con American Society for testing and materials (ASTM 1985b). D-907: Standard terminology of adhesives), define adhesivo como: “una sustancia capaz de mantener juntos materiales por unión superficial”.

El sustantivo cola se empleaba inicialmente para referirse a las gelatinas y a colas animales, pero gradualmente ha ido empleándose como un sinónimo de adhesivo. (Houwink y Salomón 1978)

Los mismos autores definen al término pegajosidad, como un caso especial de unión adhesiva, por lo que se le puede separar en dos partes: la formación de la unión y su rotura. Se observa presionando sobre dos placas paralelas, cuando el material no solo se pega a la superficie, sino que también requiere una fuerza para efectuar la separación se dice que es pegajoso.

### **2.2.2 COLAS EN DISPERSIÓN: ACETATO POLIVINÍLICO (PVA)**

Se llaman también colas blancas o colas frías, presenta en su forma molecular, largas cadenas ramificadas. Es un compuesto del alcohol vinílico y el aldehído acético, su fórmula química es la siguiente:



Están constituidas especialmente por dispersión de una resina sintética, generalmente poliacetato de vinilo en agua. Al evaporarse el agua, las micelas de la dispersión se sueldan unas con otras y dan lugar a una película dura y tenaz que permite la unión entre materiales. (Biblioteca Atrium de ebanistería 1993)

Una cola de dispersión consta principalmente de los siguientes componentes: Dispersión (normalmente un homopolímero de acetato de polivinilo), alcohol polivinílico, espesante, plastificante, materiales de relleno. (Edebe 1997)

Norris y Draghetti, mencionados por López (2000) la describen como una resina termoplástica, sin olor, sabor, no tóxica, no se funde de golpe; se descompone entre 200 °C y 250°C, tiene buena estabilidad debajo de los 100 °C se suaviza a los 50°C y es quebradiza entre los 10 y 15 °C; en aire, la luz normal y ultravioleta no la afectan; además sostiene que es neutra y no corrosiva. En el anexo 2 se muestra las características de los principales tipos de cola para madera (Biblioteca Atrium de ebanistería 1993)

Vignote y Jiménez (2000) señalan que cuando fragua la cola se vuelve transparente, no produciendo ningún tipo de mancha en la madera. Su fraguado se produce al evaporarse el disolvente, haciendo que las partículas de cola se aglomeren entre sí, formando una película muy resistente mecánicamente, aunque muy rígida y poco resistente a la humedad. Agregan que se puede aumentar la resistencia a la humedad mezclándolas con colas más resistentes a la humedad (como puede ser con urea-formaldehído al 10%); el gramaje a emplear oscila entre 140 y 200 g/m<sup>2</sup> de superficie a encolar y el tiempo de exposición puede llegar hasta los 30 minutos.



## 2.3 TEORIA DEL ENCOLADO

### 2.3.1 MECANISMOS FUNDAMENTALES DE LA ADHESIÓN

La adhesión ha sido definida como: “el estado en el cual dos superficies son mantenidas unidas por medio de fuerzas interfaciales, que pueden ser fuerzas de valencia o de atracción o ambas. Estas fuerzas de atracción son debido a la interacción de moléculas, átomos e iones en las dos superficies. (Blomquist et al. 1981)

La unión entre dos materiales distintos a través de una interfase puede involucrar uniones físicas o químicas, dependiendo de la naturaleza de los materiales. La unión química consiste en enlaces directos entre moléculas del adhesivo y moléculas del sustrato por enlaces covalentes o iónicos. Las uniones físicas pueden resultar de entrelazamientos mecánicos cuando un adhesivo solidifica en una superficie rugosa, de las fuerzas de adsorción físico-químicas entre las moléculas del adhesivo y las moléculas del sustrato, o por la penetración de las moléculas del adhesivo dentro del sustrato por difusión. (Blomquist et al. 1981)

Según Madrid (1999) los adhesivos son puentes entre las superficies de los sustratos, tanto si son del mismo, como si son de distinto material. El mecanismo de unión depende de: La fuerza de unión del adhesivo al sustrato o adhesión y la fuerza interna del adhesivo o cohesión (Figura 3).

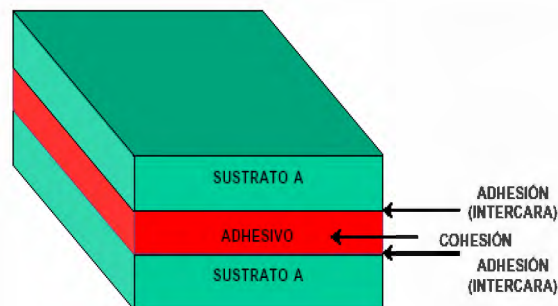


Figura 3 : DIFERENCIACIÓN ENTRE ADHESION Y COHESIÓN

*Fuente: Madrid (1999)*

Básicamente, se pueden distinguir dos tipos de fenómenos en la interfase sustrato-adhesivo: los de tipo físico tales como: Unión mecánica, Teoría de la interdifusión y Teoría eléctrica y los de tipo químico: Teoría de la adsorción termodinámica o mojado superficial. (Madrid 1999).

#### A) **UNIÓN MECÁNICA**

El modelo de adhesión mecánica es el primero y más antiguo de todos. Según este modelo, la adhesión se debe a un anclaje del polímero (adhesivo) en los poros y rugosidades superficiales del sustrato. (Figura 4). La penetración del adhesivo en la topografía superficial del sustrato provoca que la zona de contacto real entre los dos materiales sea varias centenas de veces superior a la correspondiente a la superficie aparente de contacto. Por lo tanto, la rugosidad y porosidad son factores favorables a la adhesión (Madrid 1999).

Una efectiva unión mecánica tiene lugar cuando el adhesivo penetra más allá de las fibras superficiales desechas o dañadas, por algún tratamiento superficial, dentro de las fibras sanas entre 2 a 6 células de profundidad. Esta profunda penetración en la fina microestructura de la madera incrementa la superficie de contacto entre esta y el adhesivo, haciendo más efectiva esta unión. (Vick 1999)

Es preciso asegurar una buena humectabilidad del sustrato por el adhesivo, puesto que las cavidades no alcanzadas por el adhesivo constituyen puntos potenciales de iniciación de rotura de la unión adhesiva. (Madrid 1999)

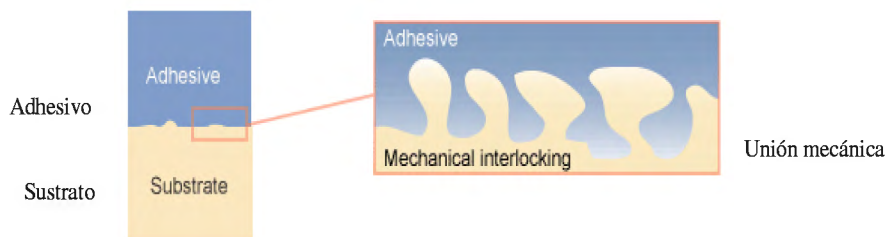


Figura 4 : UNIÓN MECÁNICA

*Fuente: Specialchem adhesives and sealants (2005)*

## B) TEORÍA DE LA INTERDIFUSIÓN

Se utiliza para explicar la adhesión de los polímeros entre sí. Plantea la adhesión como resultado de una interdifusión o entrecruzamiento de las moléculas en los planos superficiales, lo que conlleva la creación de una zona de transición entre el adhesivo y el adherente, la "interfase". (Madrid 1999)

Blomquist et al (1981) aseguran que la interdifusión depende de la penetrabilidad del sustrato y de la afinidad entre los diferentes tipos de moléculas. Así la interdifusión puede ser fácilmente distinguido de la unión mecánica; el primero involucra la interpenetración del adhesivo con las moléculas del sustrato en un nivel molecular; mientras que en el último caso el adhesivo fluye dentro y alrededor de los poros y proyecciones del sustrato que son mucho más largos que las moléculas en tamaño.

Vick (1999) explica que uniones estructurales de madera más durables son logradas no solo cuando un adhesivo penetra profundamente dentro de las cavidades celulares, también cuando un adhesivo se difunde dentro de las paredes celulares, haciendo contacto a nivel molecular con las cadenas de hemicelulosas y celulosas de la madera. (Figura 5)

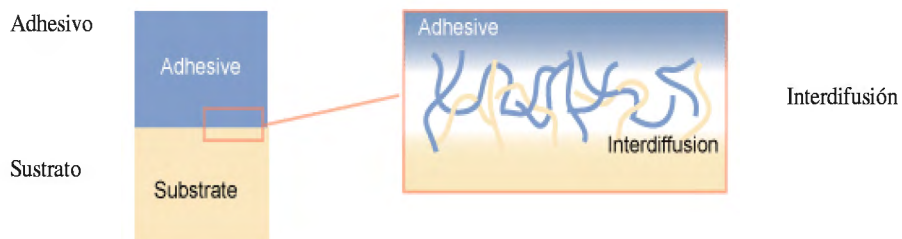


Figura 5 : FENÓMENO DE INTERDIFUSIÓN

*Fuente: Specialchem adhesives and sealants (2005)*

### C) TEORÍA ELÉCTRICA:

De forma muy esquemática, se compara el sistema adhesivo / sustrato a un condensador plano cuyas placas están constituidas por la doble capa eléctrica que se forma cuando dos materiales de naturaleza diferente se ponen en contacto, por ejemplo un polímero y el vidrio, como se muestra en la Figura 6. La existencia de una doble capa eléctrica es fundamental para explicar los fenómenos de adhesión, pero no puede considerarse un modelo universal, y sólo se puede aplicar a determinados casos particulares. Además, la contribución a la adhesión debida a fuerzas de Van der Waals es en algunos casos superior a la procedente de interacciones electrostáticas. (Madrid 1999)

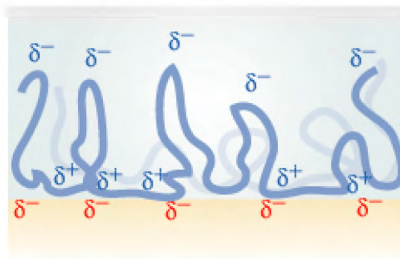


Figura 6 : TEORÍA ELÉCTRICA

*Fuente: Specialchem adhesives and sealants (2005)*

### D) TEORÍA DE LA ADSORCIÓN

La adsorción es el proceso por el cual una molécula del adhesivo es atraída a un específico lugar de una superficie sólida. La atracción puede ser resultado de las fuerzas de van der Waals o interacciones específicas donador – aceptor. (Blomquist et al. 1981)

Madrid (1999), menciona que existen diferentes tipos de fuerzas de atracción intermoleculares involucradas en la formación de uniones entre polímeros del adhesivo y las estructuras moleculares de la madera:

- Enlaces primarios: Enlace iónico y Enlace covalente.
- Enlaces secundarios: Fuerzas de van der Waals y Puentes de hidrógeno.

Los enlaces secundarios, a pesar de su debilidad relativa, generan en la práctica uniones suficientemente fuertes, dado que la superficie que entra en juego es considerable. Los enlaces primarios mejoran la durabilidad de las adhesiones y suelen ser necesarios para la adhesión de materiales cerámicos y vidrio.

Vick (1999) señala que las principales fuerzas de atracción son :Las fuerzas de Van der Waals, que incluyen también fuerzas dipolo – dipolo, las que tienen moléculas polares cargadas positiva y negativamente tiene fuerte atracción por otras moléculas polares; las fuerzas de London, que incluyen débiles fuerzas de atracción entre moléculas no - polares y los puentes de hidrógeno, un especial tipo de fuerza dipolo-dipolo que tiene una fuerte atracción entre átomos de hidrógeno cargados positivamente de una molécula polar y átomos electronegativos de otra molécula. Las fuerzas puente de hidrógeno son importantes en la atracción interfacial de los polímeros polares del adhesivo para las celulosas y hemicelulosas, las cuales son ricas en grupos hidroxi- polares. (Figura 7)

Blomquist et al (1981) añaden que la unión entre la madera y el adhesivo ocurre debido a fuerzas Van der Waals, especialmente la uniones de hidrógeno entre los polímeros del adhesivo y grupos hidroxipolar en los polisacáridos de las paredes de las fibras

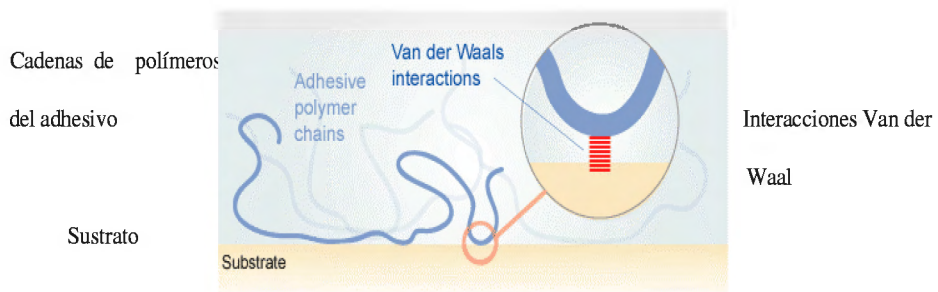


Figura 7 : TEORÍA DE LA ADSORCIÓN

Fuente: *Specialchem adhesives and sealants (2005)*

Blomquist et al (1981) añaden que los adhesivos y moléculas del sustrato pueden poseer específicas características químicas que mejoran la adhesión o quimosorción (figura 8).

Las uniones químicas primarias (enlaces iónicos y covalentes) pueden formarse a través de la interfase. Las uniones químicas son fuertes y contribuyen significativamente a la adhesión en algunos casos. (Madrid 1999)

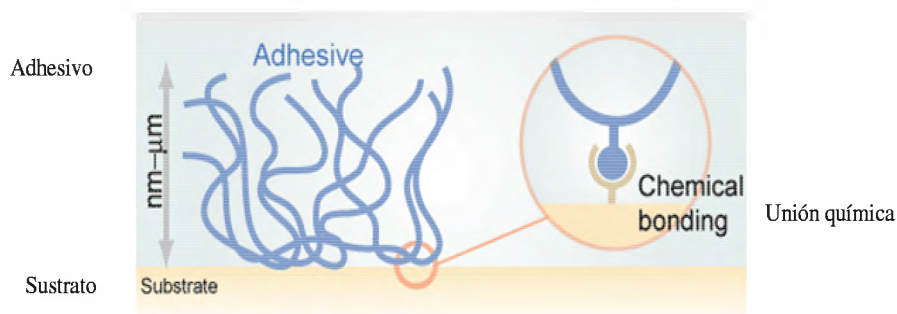


Figura 8: TEORÍA DE QUIMOSORCIÓN

Fuente: *Specialchem adhesives and sealants* (2005)

### 2.3.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ADHESIÓN

#### A) TOPOGRAFÍA DEL ADHERENTE

De acuerdo con Blomquist et al (1981) cuando la superficie de dos sólidos se juntan, no se encuentran en íntimo contacto, debido a que todas las superficies de los sólidos son rugosas a nivel microscópico y tienden a adsorber moléculas y partículas dentro de estos. Por esto el área de contacto entre las dos superficies será solo en los puntos altos o picos que coincidan.

Según Vick (1999) las superficies de madera pueden parecer muy uniformes y planas, pero al examinarlas al microscopio aparecen irregularidades y grietas. Tales condiciones superficiales hacen que se forme bolsas de aire y dificultan un completo mojado por el adhesivo e introducen tensión al momento del fraguado. Así el líquido adhesivo debe tener alta humectabilidad, junto con una viscosidad que producirá buen fluido capilar para

penetrar a la estructura de madera, mientras se esparcen y absorben aire, agua y contaminantes en la superficie.

Procesos tales como lijado o cepillado producen superficies rugosas, en tales casos es necesario que el adhesivo rellene los valles y vacíos formados, haciendo contacto entre las superficies unidas y formando una conexión rígida. Entonces es preferible el cepillado al lijado porque con este último proceso, los vacíos generados en la superficie son rellenados con polvo de la madera y el propio abrasivo de la lija, creando una condición perjudicial para una buena adhesión. (Mettem 1986)

La rugosidad superficial depende en gran medida de varios factores, entre los cuales destacan la estructura anatómica, el contenido de humedad, las particularidades de la madera de ciertas especies y árboles, el grano de la lija, la forma geométrica de las piezas, la velocidad de corte y el afilado de los dientes o de las cuchillas en el cepillado. (Meléndez 2003)

## ***B) HUMECTABILIDAD***

Mettem (1986) sostiene que un efectivo encolado depende de la habilidad del adhesivo para mojar la superficie y desplazar el aire de esta. La humectabilidad de un líquido está regida por: tensión superficial, temperatura, viscosidad, tensión interfacial entre el líquido y el sólido y la afinidad química entre ambos.

El mismo autor señala que se ha establecido una relación entre calidad de uniones encoladas y humectabilidad de la madera, así maderas que han sido difíciles para encolar han mostrado pobres características de mojado que aquellas con mejor desempeño al encolado.

Cuando un adhesivo es aplicado en la superficie de madera este no moja espontáneamente su superficie, necesita ser esparcido, generalmente se emplea un spray o brocha. Esparciendo en ambas superficies se garantizará un mejor mojado de las uniones, que aplicando la cola solo a una superficie. (Mettem 1986)

Vick (1999) explica que el mojado de una superficie ocurre cuando el ángulo de contacto (ángulo formado por el filo de una gota de adhesivo y la superficie de la madera, (Figura 9) se aproxima a cero, esto se puede lograr cuando la superficie tiene alta energía atracción, el adhesivo tiene afinidad por el adherente y la tensión superficial del adhesivo es baja.



Figura 9 : EJEMPLOS DE HUMECTABILIDAD SUPERFICIAL

*Fuente: Madrid (1999)*

### **C) PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE A ENCOLAR**

Las superficies de madera a encolar deben ser cepilladas con maquinaria correctamente calibrada, sus cuchillas deberán estar lo suficientemente afiladas para producir un corte limpio sin comprimir o dañar las fibras de madera. (Mettem 1986)

El mismo autor señala que, las altas tasas de contaminación después del cepillado han sido observado aun en condiciones de laboratorio, para lograr una condición ideal de encolado es mejor cepillar solo unas pocas horas antes de encolar.

### **D) ESTRUCTURA DE LOS MATERIALES UNIDOS (MADERA)**

Blomquist et al (1981) indican que las superficies de madera están caracterizadas por su textura y los componentes químicos que en ella se encuentran, esta combinación es la que facilita o no una buena humectabilidad del adhesivo.



### 2.3.3 EVALUACIÓN Y TIPOS DE ESFUERZOS EN LAS UNIONES ADHESIVAS

#### A) EVALUACIÓN DE LA ADHESIÓN

Se puede evaluar la adhesión de dos sustratos simplemente realizando un ensayo de rotura de la unión adhesiva. Así, el fallo de una unión adhesiva puede ocurrir según tres posibles modos, como se muestra en la Figura 10:

- Separación por adhesión: cuando la separación se produce en la interfase sustrato-adhesivo, llamada también fractura adhesiva.
- Separación por cohesión: cuando se produce la ruptura del adhesivo o fractura cohesiva.
- Ruptura de sustrato: cuando el propio sustrato rompe antes que la unión adhesiva o que la interfase sustrato-adhesivo.

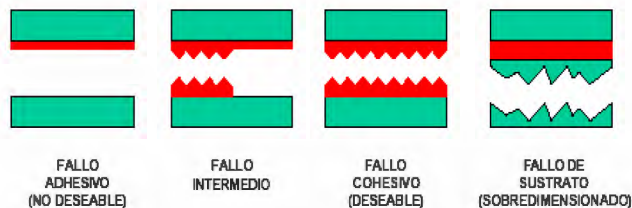


Figura 10 : TIPOS DE FALLAS EN LA UNIÓN ADHESIVA

*Fuente: Madrid (1999)*

Cuando se diseña una unión adhesiva se pretende que la rotura no sea en ningún caso adhesiva, es decir, que la separación nunca se produzca en la interfase sustrato-adhesivo. Los modos de rotura adhesiva no son nunca predecibles, puesto que la magnitud de la fuerza de adhesión, depende de un gran número de factores rara vez controlables en su totalidad. Por el contrario, sí se pueden conocer las características mecánicas del adhesivo y, por tanto, se pueden predecir las cargas a la rotura en modo cohesivo bajo diferentes tipos de esfuerzos. (Madrid 1999)

## B) TIPOS DE ESFUERZOS EN LA UNIONES

Los esfuerzos mecánicos actúan sobre los conjuntos ensamblados como esfuerzos de tracción, de compresión, de flexión, de torsión y de corte, provocando así las tensiones. Aún así, las tensiones no aparecen únicamente como consecuencia directa de transmitir fuerzas o energías, sino que también se pueden dar por la aparición de fenómenos secundarios que acompañan a los cambios de temperatura. Esquemáticamente, podemos hablar de los siguientes tipos de sollicitaciones sobre las uniones adhesivas: (Madrid 1999).

- Esfuerzos normales: de tracción y de compresión.
- Esfuerzos de cortadura o cizalla.
- Esfuerzos de desgarro.
- Esfuerzos de delaminado.

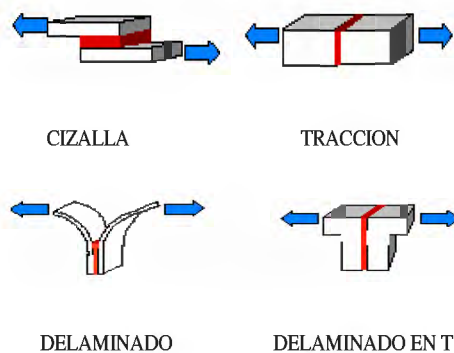


Figura 11: TIPOS DE ESFUERZOS EN LAS UNIONES ADHESIVAS

*Fuente: Madrid (1999)*

## 2.4 SOBRE LA MADERA

Blomquist et al (1981) mencionan que la madera es un material poroso compuesto de células y fibras microscópicas de varios tamaños y formas. Y que la unión adhesiva con madera no solo depende de las características superficiales a unir (textura y química), sino también de propiedades físicas: porosidad, densidad, contenido de humedad y cambios dimensionales.

#### 2.4.1 PROPIEDADES SUPERFICIALES DE LA MADERA

Entre las propiedades que tienen influencia sobre los adhesivos se encuentran la textura superficial y la composición química de esta.

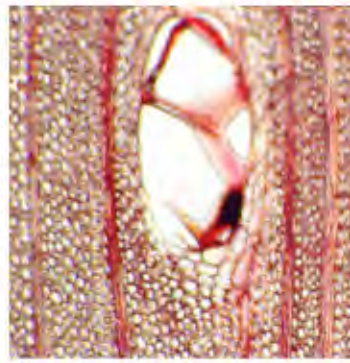
##### A) TEXTURA

Blomquist et al (1981), señalan que las superficies de madera son muy rugosas, al menos a nivel microscópico; la mayor causa de estas irregularidades es la anatomía de la madera, en muchas superficies las paredes de las células han sido cortados exponiendo sus lúmenes, variando desde muy angostos ( $10\ \mu\text{m}$ ) en maderas de textura fina hasta muy anchos ( $200\ \mu\text{m}$ ) en maderas de textura gruesa. Adicional variación en la textura de la superficie puede resultar de la proporción de lúmenes expuestos durante la trabajabilidad. Algunos procesos de trabajabilidad tienden a separar una fibra de otra dentro de su pared celular, exponiendo pocos lúmenes y generando una superficie lisa; otros procesos tienden a cortar a través de las paredes de las fibras exponiendo muchos lúmenes e incrementando su textura. Así el cepillado periférico en superficies con orientación radial a menudo resultan en bandas alternadas de superficies rugosas y lisas. El cepillado de superficies con orientación tangencial presenta ambos cortes, entre las fibras y a través de ellas, pero las áreas lisas no se presentan en patrones regulares

Chavesta (2003) afirma que la especie, *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (Pino chuncho) tiene fibras de longitud medianas ( $1451\ \mu\text{m}$ ) y paredes muy delgadas ( $3\ \mu\text{m}$ ) mientras que, *Pollalesta discolor* Kunth Aristigueta (Yanavara) presenta fibras de longitud medianas ( $1080\ \mu\text{m}$ ) y paredes delgadas ( $4\ \mu\text{m}$ ). (Foto 1 y 2 respectivamente)



(A)



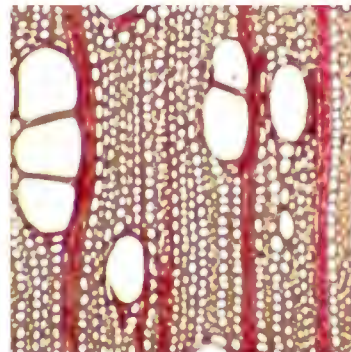
(B)



Foto 1 : MICROFOTOGRAFÍAS DE *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (Pino chuncho), EN SUS TRES PLANOS DE CORTE: (A) TANGENCIAL, (B) TRANSVERSAL y (C) RADIAL. 80 X

Fuente: Chavesta (2003)

(C)



(A)

(B)

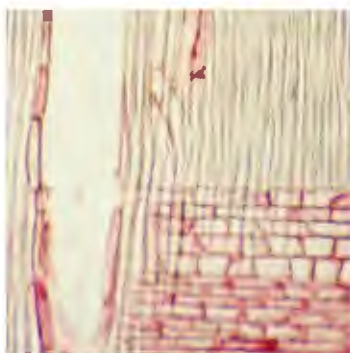


Foto 2 : MICRO FOTOGRAFÍAS DE *Pollalesta discolor* Kunth Aristigueta (Yanavara), EN SUS TRES PLANOS DE CORTE: (A) TANGENCIAL, (B) TRANSVERSAL y (C) RADIAL. 80 X

Fuente: Chavesta (2003)

(C)

La rugosidad superficial influye enormemente en la resistencia de la adhesión. La relación exacta entre resistencia, durabilidad y rugosidad superficial son difíciles de prever y pueden variar entre adhesivos. Superficies rugosas proporcionan un anclaje mecánico para el adhesivo, pero pueden quedar atrapados pequeños volúmenes de aire, causando un mojado incompleto. (Blomquist et al. 1981)

Los adhesivos flexibles pueden deformarse bajo tensiones y resistir la rotura o el desgarro, de modo que la rugosidad no es un factor crítico para su uso. Desde el punto de vista de la adhesión son preferibles acabados ásperos a acabados finos que disminuyen la superficie real del material, haciendo más difícil el anclaje mecánico y disminuyendo la extensión de la interfase adhesivo-sustrato. (Madrid 1999)

Vick (1999) menciona que las superficies deben ser alisadas 24 horas antes de ser encolada para remover extractivos y otros contaminantes físicos o químicos que puedan interferir con el proceso. Las cuchillas sin filo de la cepilladora pueden causar superficies aplastadas o quemadas, inhibiendo la humectabilidad y penetración del adhesivo.

## ***B) COMPOSICIÓN QUÍMICA***

La superficie de madera es tan heterogénea en textura como químicamente, por que las cadenas de polisacáridos están encajadas en la de lignina; los cortes a las paredes de las células exponen ambos componentes variando en cantidad según como estas sean cortadas. Si la pared es cortada a través de las capas secundarias, como ocurre frecuentemente en el cepillado periférico, los polisacáridos son el mayor componente expuesto; pero si el corte es hecho a través de la lámina media, la capa que une una fibra con otra, se expone predominantemente la lignina. (Blomquist et al. 1981)

El mismo autor añade que los extractivos también pueden afectar la unión adhesiva cuando se presenta en excesiva cantidad. En algunas especies de madera, la concentración de estos puede llegar a 10 o 30%, haciendo dificultosa la adhesión.

Vick (1999) especifica que los exudados de resina u oleosos, hidrofóbicos afectan a los adhesivos de madera que son a base de agua, pues no pueden mojar adecuadamente y penetrar sobre superficies cubiertas por estos.

#### 2.4.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA COMO ADHERENTE

Aunque muchas propiedades de la madera influyen en la unión adhesiva, cuatro son especialmente importantes: contenido de humedad, cambio dimensional, densidad y porosidad.

##### ***A) CONTENIDO DE HUMEDAD Y CAMBIOS DIMENSIONALES***

En la madera el agua se encuentra en dos lugares: como agua adsorbida en las paredes celulares y como agua libre en los lúmenes. Durante el secado toda el agua libre es removida, aproximadamente el 30% queda en las paredes celulares, como agua adsorbida. Las paredes celulares son higroscópicas, es decir que tiene afinidad por el agua, principalmente mediante enlaces de hidrógeno del agua y los grupos hidroxilos en los polisacáridos de la madera, resultando un equilibrio entre la humedad de la madera y la del aire (humedad relativa). Esto es importante porque la cantidad de humedad en la madera combinada con el agua del adhesivo tendrán gran influencia en la humectabilidad, fluidez, profundidad de penetración y tiempo de fraguado de un adhesivo acuoso. (Vick 1999)

Blomquist et al (1981), añaden que cuando un adhesivo acuoso es aplicado a una madera seca (< 5% CH), la madera adsorberá rápidamente el agua del adhesivo y si la cantidad del adhesivo es pequeña en relación a la cantidad de madera seca, entonces la película del adhesivo se inmovilizará antes que se ensamblen las piezas a ser unidas.

Si la misma cantidad de adhesivo es aplicado a una madera parcialmente seca (15–30% CH), este perderá menos agua y será más móvil, porque la madera tiene menos capacidad de adsorber agua. En cambio para maderas por encima del 30 % de CH tienen poca o nula capacidad para adsorber agua del adhesivo.

Selbo (1975) menciona que el contenido de humedad de la madera afecta la tasa de cambio de viscosidad de muchos adhesivos durante el tiempo de ensamble, afectando el tiempo de fraguado. Y que el grosor de las piezas a unir, densidad de la madera, el tipo y la cantidad de cola extendida afectan al incremento en el contenido de humedad cuando se esparce la cola.

Los cambios dimensionales difieren con las tres principales direcciones o granos: radial, tangencial y oblicuo. La madera que ha sido unida en ensambles se hinchan o contraen, desarrollando tensiones que pueden ser suficientemente grandes para romper la unión adhesiva y madera. Estas rupturas se pueden apreciar cuando las piezas de madera unidas difieren en la dirección del grano y coeficientes de contracción, por ejemplo, grano radial unido con grano tangencial. Aun si los contenidos de humedad son iguales, los cambios dimensionales y tensiones serán severos. Muchas de estas tensiones en la línea de cola se pueden minimizar uniendo piezas de madera con igual dirección del grano, de bajo coeficiente de contracción, con un contenido de humedad uniforme, equivalente al lugar donde se va a poner en servicio. (Vick 1999)

## **B) DENSIDAD**

Vick (1999) sostiene, que la resistencia de la madera esta directamente relacionada con su densidad, debido a que las células de paredes gruesas (maderas de alta densidad) son capaces de resistir mayores esfuerzos que células de paredes delgadas (maderas baja densidad). Ya que la madera es el mayor componente adherente en la unión. Sin embargo las maderas de alta densidad ( $> 0,60 \text{ g/cm}^3$ ) son difíciles de unir, ya que sus paredes celulares gruesas y poco volumen de lumen, hace que los adhesivos no penetren fácilmente. Así la unión mecánica del adhesivo este limitada a una o dos células de profundidad.

### **C) POROSIDAD**

Esta característica está muy ligada a la permeabilidad, siendo los poros en la madera la que tiene gran influencia en la penetración del adhesivo, que varía de acuerdo a la dirección del grano; Así el adhesivo penetra profundamente dentro de fibras y vasos abiertos a lo largo del grano, haciendo difícil prevenir la excesiva penetración del adhesivo; por el contrario en sentido transversal al grano, la permeabilidad es limitada porque hay pocos caminos por el cual el adhesivo pueda fluir. (Blomquist et al. 1981)

### **2.5 SOBRE EL EFECTO DEL CEPILLADO**

El cepillado es un proceso en el cual se genera tensión y falla, ya sea por fuerza manual o por máquina, esta se transmite a la madera por medio de la herramienta de corte. La orientación y dirección de la fuerza son controladas por el diseño de la cuchilla y/o por la mano del carpintero. Defectos tales como nudos crean irregularidades en la dirección del grano y variaciones en la densidad. Grano ondulado o entrecruzado puede causar especiales problemas en el cepillado. (Hoadley 1980)

Según Hernández (1994), en la preparación de las superficies de madera para encolar usualmente se trabaja con un cepilladora de cuchillos convencional de corte periférico. Aunque esta técnica parece dar buena calidad de superficies, otros estudios indican que esta suposición no es cierta. Se observó que las células fueron aplastadas y dañadas en la superficie y debajo de ella, cuando se utilizó este método y que la severidad del daño depende de las condiciones de trabajabilidad. En otros estudios realizados por el mismo autor se comparan las diferencias entre el cepillado convencional (corte periférico) y el sistema de barras de cuchillos fijos (corte oblicuo), con maderas de *Picea Glauca Moench* (Abeto blanco) y *Acer Saccharum March* (Sugar maple) en donde se aprecia que las muestras trabajadas con el primer método tuvieron valores bajos de resistencia de las juntas encoladas que aquellos que fueron cepillados con este último método. Estos bajos valores de resistencia al corte en uniones encoladas obtenidas con el cepillado convencional, indican un alto grado de microfallas en sus paredes celulares cuando se le compara al otro método de corte oblicuo.



Caster et al (1985); Jokerst y Stewart (1976), señalan que la resistencia en superficies cepilladas y posteriormente lijadas son inferiores a aquellas superficies generadas con corte periférico, ellos explicaron que los componentes de las fuerzas de corte perpendiculares a la superficie son mayores durante el cepillado – lijado que durante el cepillado convencional (periférico); esta fuerza vertical excede el esfuerzo al límite proporcional resultando en un permanente aplastamiento de las células localizadas en la superficie o cerca de esta.

Sin embargo otros estudios realizados sobre la microscopia de superficie cepilladas convencionalmente (corte periférico), muestran que este procedimiento da como resultado una capa adhesiva delgada y uniforme, sin rompimiento evidente de las células cercanas a la superficie. (Murmanis et al. 1983)

Por otro lado Stewart (1989) añade que el cepillado convencional (corte periférico) y el cepillado- lijado generan un aplastamiento superficial, causando grano levantado y reduciendo la durabilidad potencial de las uniones encoladas. Esta compresión es resultado de las grandes fuerzas de corte, particularmente de la fuerza normal que soporta la superficie de madera. Estas fuerzas son el resultado de la geometría del filo de corte de las herramientas.

Agregando además que las cuchillas sin filo, la disminución del ángulo de ataque, disminución del ángulo libre y el incremento en el radio de corte de las cuchillas, incrementan las fuerzas de corte particularmente la fuerza normal, resultando en una superficie dañada.

El mismo autor propone como alternativa de cepillado, el sistema de barras de cuchillos fijos (corte oblicuo) para reducir o eliminar el daño superficial en la madera., haciendo que la fuerza normal hacia la superficie se reduzca, ya que usa un alto ángulo de ataque mayor a 30° y profundidades de corte mayores a 0.10 pulgadas.

Hernández y Rojas (2002) manifiestan que las fuerzas normales que se generan en el corte periférico son relativamente más significativas aún para cuchillas afiladas no igualadas que para aquellas que fueron igualadas. Así aumentando el ángulo de ataque, el cual reduce la fuerza normal, se puede disminuir las capas dañadas producidas por las cuchillas, produciendo un mejoramiento del desempeño del encolado. También menciona que la fuerza normal se incrementa con el ancho de desgaste de la cuchilla, causando un daño en la superficie y sub

superficie produce una disminución en la fuerza de corte y el porcentaje de madera fallada de especímenes encolados.

Naderi y Hernández (1999) sostienen que el método del cepillado periférico produce células aplastadas y micro rupturas entre las paredes celulares de los tejidos localizados en la sub superficie de la madera, por lo que el coeficiente de difusión y permeabilidad de la madera se incrementa, por lo cual el grado de sorción será mayor en las muestras cepilladas con corte periférico (cepillo convencional), que para aquellas cepilladas con corte oblicuo (sistemas de cuchillas fijas).

En otro estudio realizado por los mismos autores, agregan que las propiedades superficiales de la madera pueden verse afectadas por el calor producido durante el corte debido a la fricción entre el filo de la cuchillas y la superficie, que es ocasionado cuando la velocidad de alimentación de las tablas es parada repentinamente durante el cepillado o cuando las cuchillas no están afiladas. (Hernández y Naderi 2001)

Según River y Miniutti, mencionados por Hernández y Naderi (2001) identificaron dos tipos de fallas en la línea de cola: el primero, una falla profunda de madera que sigue el grano, el cual representa un típico caso de uniones fuertes entre superficies bien trabajadas; el segundo toma la forma de falla superficial de la madera en las uniones, este tipo de falla es el resultado de daño en la superficie de madera durante el cepillado, y tales superficies no proporcionan una base sólida para el encolado.

## **2.6 SOBRE EL PROCESO DE UNIÓN**

El proceso de unión involucra una serie de factores que determinan cuán satisfactoria puede ser una unión adhesiva.

### 2.6.1 CONTROL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad afecta fuertemente la fuerza y durabilidad de las uniones por lo que se debe controlar antes y durante el proceso de unión. Maderas con alto contenido de humedad no deben ser unidas, principalmente las de densidades altas, ya que tiene un alto coeficiente de contracción. (Vick 1999)

### 2.6.2 CARACTERÍSTICAS DE LA UNIÓN

Vignote (2000) señala que para realizar la unión se deben seguir las siguientes operaciones :

- **Extendido:** Es la aplicación de la cola en las superficies a unir. Este debe ser lo suficiente para que después que la cola penetre en los poros de la madera, quede una película de cola para que pueda enlazar con la otra superficie a unir. De acuerdo a las características de la cola, cada fabricante establece cual es la dosis adecuada a aplicar.
- **Presión:** Es necesario aplicar presión a los uniones encolados, para facilitar el contacto entre los grupos polares de la madera y de la cola. (Vignote 2000)  
  
El objetivo de la aplicación de presión es mantener las interfaces en íntimo contacto, para garantizar que el adhesivo forme una delgada y continua película y para que expela burbujas de aire de la línea de cola. (Mettem 1986)
- **Tiempo:** Para conseguir la unión es necesario un tiempo, en donde se establezcan las reacciones químicas y fraguado de la cola.

### 2.6.3 ENSAMBLAJE Y ACONDICIONAMIENTO POST FRAGUADO

Mettem (1986) sostiene que el proceso de encolado se realiza dentro de un periodo de tiempo conocido como “periodo de ensamble”, el cual se subdivide en:

- **Ensamble abierto:** Es el periodo entre el que se esparce la cola en una parte de la junta y se lleva este en contacto con la otra parte.
- **Ensamble cerrado:** El tiempo en que permanecen juntas las partes encoladas hasta que aplica la presión.
- **Tiempo de acondicionamiento:** es el tiempo mínimo que debe dejarse después del prensado y antes de ser trabajado o puesto en servicio.

Agrega también que para maderas porosas, por su habilidad de absorber más rápidamente la cola se recomienda un periodo corto de ensamble abierto y para maderas más densas.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN**

El presente estudio se realizó en los Laboratorios de Trabajabilidad y Tecnología de la madera del Departamento de Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales. Así mismo las evaluaciones químicas de la cola se realizaron en los Laboratorios de Pulpa y papel y el laboratorio de tecnología de alimentos y productos agropecuarios (TAPA) de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM).

#### **3.2 MATERIALES**

##### **3.2.1 MADERA**

Se utilizó madera de dos especies *Schizolobium amazonicum Huber ex Ducke* “Pino chuncho” y *Pollalesta discolor Kunth Aristigueta* “Yanavara”. Seleccionadas del “Estudio del Trabajabilidad de 05 especies forestales de bosques secundarios y chacras agroforestales de la región San Martín (cuenca del río Cumbaza y Bajo mayo), hecho por la UNALM para el Centro de Desarrollo e Investigación de Selva alta (CEDISA).

##### **3.2.2 COLA**

Se eligió la cola de acetato de polivinilo, PVA o cola blanca de carpintero por ser una de las más usadas a nivel nacional. Los datos técnicos que facilitó el fabricante se detallan en el anexo 1.

### **3.3 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS**

#### **En la preparación de probetas**

- ✓ Cepilladora (regruesadora) de 30 cm de ancho de corte; cabezal de 3 cuchillas con 15° de ángulo de corte y recién afiladas. Velocidad de alimentación 10 m /min. Diámetro del cabezal 10 cm; marcas de cuchilla 6 marcas /cm lineal.
- ✓ Cepillo de mano n° 6 (torito); con 30° de ángulo de corte.
- ✓ Maquinas y herramientas comunes de carpintería.
- ✓ Vernier
- ✓ Prensa de ensayos universal “Tinius Olsen” de 60 000 lb de capacidad
- ✓ Espátula de madera
- ✓ Lupa 10 X y cuchillas.
- ✓ Balanza eléctrica “Sauter” de 2000 g De capacidad, con 0.1 g de precisión

#### **En la caracterización de colas y contenido de humedad de las maderas**

- ✓ Viscosímetro por corte rotacional Brookfield modelo RVF. accesorio n° 6 y velocidad de rotación de 20 rpm.
- ✓ pH metro manual
- ✓ Termómetro
- ✓ Vaso de precipitado (polipropileno) de 600ml.
- ✓ Estufa de aprox. 200 °C
- ✓ Balanza analítica de 0.0001 g. de precisión marca Ohaus.

- ✓ Crisoles
- ✓ Espátula
- ✓ Higrómetro de contacto

#### **Contenido de humedad de las probetas**

- ✓ Desecadores de humedad con silicagel.
- ✓ Balanza eléctrica “Sauter” de 2000 g De capacidad con 0.1 g de precisión
- ✓ Estufa eléctrica “Mettler” de 220 °C
- ✓ Pinzas sujetadoras

#### **Para el ensayo de resistencia al cizallamiento de la línea de cola y evaluaciones de rugosidad**

- ✓ Prensa universal Tinius Olsen, con accesorios para ensayos de cizallamiento
- ✓ Rugosímetro digital, marca Mitutoyo.
- ✓ Stereoscopio Wild M 7S
- ✓ Transparencia milimetrada
- ✓ Útiles de escritorio
- ✓ Computadora Pentium 4, con software actualizado.
- ✓ Cámara digital 3.2 píxeles.

### 3.4 METODOLOGIA Y PROCEDIMIENTOS

#### 3.4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS ESPECIES

Las muestras de madera fueron identificadas en el Laboratorio de Anatomía de la Madera, de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM. En el anexo 4. se presenta la constancia de identificación.

#### 3.4.2 PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA SUPERFICIE DE MADERA

Se prepararon listones libres de defectos con dimensiones mínimas de 2,5 x 6,0 x 30,0 cm, en las tres planos de corte: radial, tangencial y oblicuo; los mismos que fueron secados al aire hasta alcanzar un contenido de humedad de 15 %.

Las superficies de los listones fueron trabajados con dos métodos de cepillado: ortogonal (manual) y periférico (máquina), según las condiciones óptimas de trabajabilidad: ángulo de corte de 15°, velocidad de alimentación de 10 m/s, mientras que para el cepillado ortogonal el ángulo de corte fue de 30°; las superficies se mantuvieron siempre libres de impurezas.

La evaluación de la calidad de superficie se hizo mediante el rugosímetro (foto 3) y la distribución de los puntos de control fueron cada 5 cm, tal como se muestra en la figura 14.



Figura 12: DISTRIBUCIÓN SISTEMÁTICA DE LOS PUNTOS DE LECTURA DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL





Foto 3 : RUGOSÍMETRO

### 3.4.3 EVALUACIÓN DE LA COLA

En los ensayos que se hicieron a la cola PVA, se tuvo en cuenta las especificaciones técnicas del fabricante (anexo 1), lo que permitió definir el uso adecuado del viscosímetro Brookfield, siguiéndose las siguientes normas:

#### **A) CONTENIDO DE SÓLIDOS**

La determinación del contenido de sólidos del adhesivo fue realizado mediante el secado en horno de la cola PVA, hasta alcanzar peso constante, siguiendo la norma ASTM D 1490-82 : Nonvolatile content of urea-formaldehyde resin solutions. ( ASTM 1985d)

#### **B) VISCOSIDAD**

Para la determinación de la viscosidad aparente se utilizó el viscosímetro Brookfield: tipo aguja sp6, velocidad de 20 RPM a una temperatura de 20 ° C, siguiendo las pautas especificadas en la norma ASTM D 1084-63 (81): Viscosity of adhesives. (ASTM 1985c). (ver anexo 9)

El viscosímetro Brookfield emplea el principio del viscosímetro rotacional; el cual mide la viscosidad por medio de un sensor de torque que hace girar una aguja a velocidad constante mientras que es sumergido dentro de la muestra del adhesivo. El torque es proporcional a la resistencia viscosa sobre la aguja sumergida y de esta manera a la viscosidad del fluido.<sup>3</sup>

### C) PH

Las evaluaciones de este parámetro, se llevaron a cabo según las normas ASTM E 70: pH of aqueous solutions with the glass electrode. (ASTM 1985 e)

#### 3.4.4 PROCESO DE ENCOLADO

En el Cuadro 8 se presentan las condiciones ambientales del laboratorio de ensayo y las características del proceso de encolado.

La temperatura y humedad relativa ambiental corresponde al mes de septiembre, donde predominan las temperaturas bajas entre 15 y 20 °C, las cuales son favorables para los procesos de encolado, sobre todo con este tipo de cola PVA, en donde no hay temperaturas excesivamente altas como para favorecer la evaporación del agua disolvente, además que fue posible trabajar con los tiempos recomendados en la literatura.

Después de la evaluación de la superficie de los listones, se procedió al encolado de estas, según los pasos siguientes:

- Encolado de los listones, se aplicó la cola uniformemente con una espátula de madera con un extendido de 150 g/cm<sup>2</sup> de extendido en cada cara, con tiempos de exposición mínimos. Los valores promedios del proceso de encolado se muestran en el cuadro 8.
- Prensado de los listones se realizó en la Prensa Universal Tinius Olsen con una presión de 10 kg/cm<sup>2</sup>, durante 14 horas. (Foto 4)

---

<sup>3</sup> Método analítico para la determinación de viscosidades con viscosímetros Brookfield.

Disponible en : <http://amtex.com.mx/docs/AMTEX-Brookfield.pdf>

- Se acondicionaron los listones encolados por 7 días, antes de la preparación de las probetas. Como se muestra en la foto 5.
- Posterior al acondicionamiento se procedió al corte y dimensionamiento final de las probetas, obteniéndose probetas encoladas de 1,9 x 5,08 x 5,08 cm por cada cara. Las dimensiones para el ensayo de cizallamiento en la línea de cola fueron según la norma ASTM D – 945: Strength properties of adhesive bonds in shear by compression loading, como se muestra en las figuras. 13 y 14.
- Las probetas dimensionadas también fueron acondicionadas a las condiciones del laboratorio, antes de ser sometidas al ensayo de cizallamiento, ver foto 6.

Cuadro 8 : CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROCESO DE ENCOLADO

Rubro		Unidades	Promedio
AMBIENTAL	Temperatura ambiental	°C	18
	Humedad relativa	%	68
ENCOLADO	Tiempo de exposición (abierto)	minutos	1
	Tiempo de ensamble	minutos	30
	Tiempo bajo presión	horas	14
	Extendido de cola	g/m <sup>2</sup>	150
	Presión de fraguado	kg/cm <sup>2</sup>	10
	Tipo de aplicación	doble	2 caras

Cabe resaltar que todo el proceso de encolado se realizó con especial control y se cuidó en todo momento que los listones queden completamente impregnados con la cola en ambas caras para asegurar una buena adherencia; el prensado también fue determinante dentro de todo el proceso de encolado y se hizo mediante la prensa universal. Además que se le dio un plus en la carga de presión, para evitar que después de un tiempo, queden sin la debida presión por la salida de la cola y reacomodo de los listones.



Foto 4: PRENSADO DE LOS LISTONES ENCOLADOS



Foto 5 : ACONDICIONAMIENTO DE LOS LISTONES ENCOLADOS



Foto 6 : ACONDICIONAMIENTO DE PROBETAS ENCOLADAS.

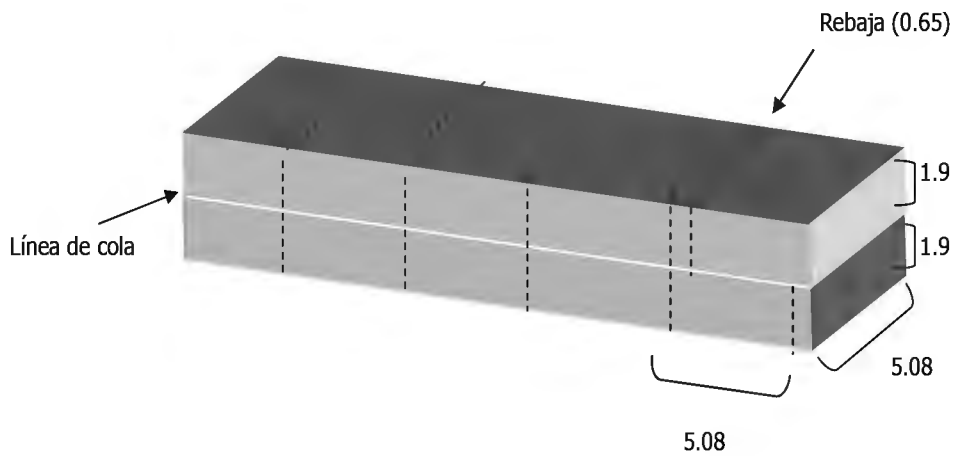


Figura 13: LISTÓN PARA PROBETAS DEL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO DE LA LÍNEA DE COLA

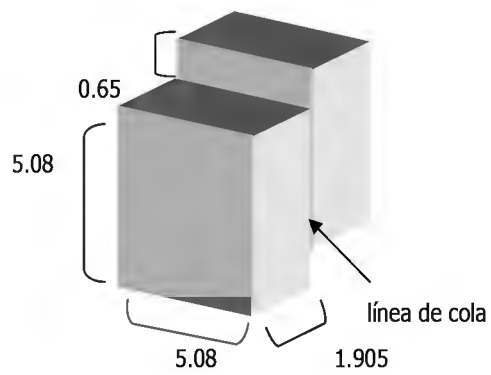


Figura 14 : DIMENSIONES DE LAS PROBETAS PARA EL ENSAYO CIZALLAMIENTO DE LA LÍNEA DE COLA

### 3.4.5 ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO DE LA LÍNEA DE COLA

Los ensayos se ajustaron a lo estipulado en la norma ASTM D-945, utilizándole la Prensa Universal de ensayos Mecánicos “Tinius Olsen” con una velocidad de carga ajustada de 0,37 mm/ min  $\pm$  25%.

El número de probetas ensayadas por especie fueron de 20 por plano de corte de las cuales 10 fueron tratadas por cada método de cepillado. En el cuadro 9 se ilustra la distribución de las probetas.

Cuadro 9 : CANTIDAD DE PROBETAS ENSAYADAS POR TRATAMIENTO

Tratamientos	Especie	Orientación	Tipo cepillado	Nº probetas
1	PINO CHUNCHO	RD	Periférico	10
2			Ortogonal	10
3		TG	Periférico	10
4			Ortogonal	10
5		OB	Periférico	10
6			Ortogonal	10
SUBTOTAL				60
1	YANAVARA	RD	Periférico	10
2			Ortogonal	10
3		TG	Periférico	10
4			Ortogonal	10
5		OB	Periférico	10
6			Ortogonal	10
SUBTOTAL				60
TOTAL				120

RD: radial, TG: Tangencial , OB : Oblicuo

### 3.4.6 EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE MADERA FALLADA

En las probetas ensayadas se determinó el porcentaje de falla mediante una plantilla milimetrada puesta sobre una de las superficies madera-cola, a través de cuadrillas de un área de 0,5 x 0,5 cm<sup>2</sup>.

### 3.4.7 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Para la realización de los ensayos de cizallamiento de la línea de cola, los listones fueron acondicionados según las condiciones de humedad y temperatura de La Molina, realizándose un primer control de humedad mediante un higrómetro de contacto.

Una vez ensayadas las probetas, se les determinó también el contenido de humedad por el método del secado al horno hasta alcanzar peso constante según Norma Técnica Peruana NTP 251010-2003.

### 3.4.8 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO EN LA LÍNEA DE COLA

Para cada probeta se calculó la resistencia unitaria al cizallamiento con la carga máxima, expresada en kilos y el área de cizallamiento de la misma, expresada en  $\text{cm}^2$ , mediante la siguiente fórmula:

$$C_z = P/A$$

Donde:

$C_z$  = Resistencia al cizallamiento ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )

$P$  = Carga máxima registrada ( $\text{Kg}$ )

$A$  = Área encolada de la probeta ( $\text{cm}^2$ )

### 3.4.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

#### A) *DISEÑO EXPERIMENTAL*

El diseño experimental corresponde a un arreglo factorial de dos factores determinados y seleccionados a priori: tres planos de corte de las probetas y los dos métodos de cepillado, obteniéndose 6 tratamientos para cada especies estudiada.

El modelo para dicho diseño experimental de tipo factorial sin bloques:  $\alpha \times \beta$ , se resume de la siguiente manera:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Es La variable en estudio, el valor de resistencia al cizallamiento de la línea de cola, expresada en  $\text{Kg/cm}^2$ , bajo el efecto del  $i$ -ésimo método de cepillado,  $j$ -ésimo plano de corte y la  $k$ -ésima repetición.

$\mu$  = Es el efecto de la media general.

$\alpha_i, \beta_j$  = Miden, respectivamente, el efecto simple del  $i$ -ésimo método de cepillado y el  $j$ -ésimo plano de corte sobre los parámetros de la resistencia al cizallamiento de la línea de cola de las probetas encoladas ensayadas.

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Mide el efecto de la doble interacción del  $i$ -ésimo método de cepillado y la  $j$ -ésimo plano de corte sobre los parámetros de la resistencia al cizallamiento de la línea de cola de las probetas encoladas ensayadas.

$\varepsilon_{ijk}$  = Es el error experimental en el  $i$ -ésimo nivel del factor  $\alpha$  y el  $j$ -ésimo nivel del factor  $\beta$ , y el  $k$ -ésima repetición.



## ***B) COMPROBACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL DE LOS DATOS***

- **De la rugosidad superficial de las probetas**

Se partió de las siguientes hipótesis:

**H<sub>p</sub>:** La distribución de los datos de rugosidad, se distribuyen en forma normal, tienen media cero y variancia común.

**H<sub>a</sub> :** La distribución de los datos de rugosidad, se distribuyen en forma normal, tienen media cero y variancia común.

La comprobación del supuesto de distribución normal se efectuó mediante la Prueba de Normalidad de Anderson – Darling, en el cual los criterios de decisión fueron:

Si P – value fue menor que  $\alpha$ , se rechazó la hipótesis principal.

Si P – value fue mayor o igual que  $\alpha$ , se aceptó la hipótesis principal.

El nivel de significación ( $\alpha$ ) fue de = 0.05

El P- value cumple funciones similares que el valor de F

- **De la Resistencia al cizallamiento de la línea de cola.**

Se partió de las siguientes hipótesis:

**H<sub>p</sub>:** La distribución de los datos de los parámetros de la resistencia al cizallamiento de la línea de cola, se distribuyen en forma normal.

**H<sub>a</sub> :** No se cumple la hipótesis principal.

La comprobación del supuesto de distribución normal se efectuó mediante la Prueba de Normalidad de Anderson – Darling, en el cual los criterios de decisión fueron:

Si P – value fue menor que  $\alpha$ , se rechazó la hipótesis principal.

Si P – value fue mayor o igual que  $\alpha$ , se aceptó la hipótesis principal.

El nivel de significación ( $\alpha$ ) fue de = 0.05

El P- value cumple funcione similares que el valor de F.

### ***C) PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LA RUGOSIDAD Y RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO DE LA LÍNEA DE COLA.***

Se plantearon las siguientes hipótesis:

**H<sub>p</sub>:** El efecto de las variables consideradas (método de cepillado y plano de corte) sobre los parámetros de rugosidad y la resistencia al cizallamiento de la línea de cola ocurren de manera similar, es decir que no existe interacción entre ellos.

**H<sub>a</sub> :** Al menos uno de los efectos de las variables consideradas (método de cepillado y plano de corte) sobre los parámetros de rugosidad y la resistencia al cizallamiento de la línea de cola, difiere de los demás.

El criterio de decisión, sobre la base de un análisis de variancia (ANVA) fue:

Si P – value fue menor que  $\alpha$ , se rechazó la hipótesis principal.

Si P – value fue mayor o igual que  $\alpha$ , se aceptó la hipótesis principal.

El nivel de significación ( $\alpha$ ) fue de = 0.05

El P- value cumple funcione similares que el valor de F

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE EN FUNCIÓN DE LOS PLANOS DE CORTE Y MÉTODO DE CEPILLADO.

En el cuadro 10 se presentan los valores promedios de rugosidad superficial para dos métodos de cepillado en los tres planos de corte de las dos especies estudiadas. Cabe mencionar que los valores obtenidos están en base a un contenido de humedad de 15 % para ambas especies. En el anexo 5 se detallan los valores unitarios obtenidos para rugosidad.

Cuadro 10 : VALORES DE RUGOSIDAD MEDIA PARA DOS ESPECIES MADERABLES

Especies	Planos de corte	Métodos de cepillado			
		Ortogonal (30°)		Periférico (15°)	
		µm	CV (%)	µm	CV (%)
Yanavara	Radial	8.63	13	9.35	13
	Tangencial	7.84	12	8.09	19
	Oblicuo	7.20	4	8.60	8
	<b>Promedio</b>	<b>7.89</b>	<b>12</b>	<b>8.68</b>	<b>14</b>
Pino chuncho	Radial	14.23	13	11.66	28
	Tangencial	9.79	16	11.10	5
	Oblicuo	14.20	7	11.25	5
	<b>Promedio</b>	<b>12.74</b>	<b>16</b>	<b>11.35</b>	<b>13</b>

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de variancias, respecto a los tratamientos: métodos de cepillado vs planos de corte para cada especie y con una probabilidad de  $\alpha = 0.05$ , se observó lo siguiente:

Para Yanavara se encontró suficiente evidencia estadística para afirmar que no existen diferencias significativas entre los factores A (métodos de cepillado) y el factor B (planos de corte), ni interacción entre ambos factores. En el anexo 7 se presentan las tablas de efectos simples y múltiples que comprueban la inexistencia de interacciones.

Por el contrario para Pino Chuncho se encontró suficiente evidencia estadística para afirmar que si existen diferencias significativas entre los factores A (métodos de cepillado) y el factor B (planos de corte) y la interacción entre ambos factores. El análisis de efectos simples nos permite afirmar que existen diferencias significativas en los métodos de cepillado, para el plano radial y oblicuo, y que no existen diferencias significativas en el plano tangencial. (Cuadro 11)

Cuadro 11: NIVEL DE SIGNIFICANCIA DE LA RUGOSIDAD MEDIA ENTRE LOS MÉTODOS DE CEPILLADO

Especie	Planos de corte	Métodos de cepillado	
		Ortogonal	Periférico
Yanavara	Radial	NS	NS
	Tangencial	NS	NS
	Oblicuo	NS	NS
Pino chuncho	Radial	*	*
	Tangencial	NS	NS
	Oblicuo	*	*

\* = significativo

NS = no significativo

Fuente: Elaboración propia

Del Análisis de comparación múltiple – Tukey se encontró que en el cepillado ortogonal, solo existen diferencias significativas entre los valores obtenidos para los planos radial – tangencial y entre tangencial – oblicuo, mientras que para el cepillado periférico no hubieron diferencias significativas entre los tres planos de corte. (cuadro 12).

Cuadro 12 : NIVEL DE SIGNIFICANCIA DE LA RUGOSIDAD MEDIA ENTRE LOS PLANOS DE CORTE PARA PINO CHUNCHO

Planos de corte	Cepillado ortogonal	Cepillado Periférico
RD vs TG	*	NS
RD vs OB	NS	NS
TG vs OB	*	NS

El gráfico de líneas ilustra los promedios de cada plano de corte para el cepillado ortogonal y periférico:

<b>Cepillado ortogonal</b>	<b>TG</b>	<b>OB</b>	<b>RD</b>
	9.79	14.20	14.23
	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_1$
	—————		
<b>Cepillado periférico</b>	<b>OB</b>	<b>RD</b>	<b>TG</b>
	11.10	11.25	11.66
	$\mu_3$	$\mu_2$	$\mu_1$
	—————		

Por lo expuesto, se observa que :

En la especie *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke “**Pino chuncho**” se obtuvieron valores promedios más altos de rugosidad con el cepillado ortogonal (ángulo de corte 30°) en los planos radial y oblicuo; pudiéndose afirmar que la rugosidad aumenta a menor ángulo de corte (superficie más rugosas); mientras que con el cepillado periférico (ángulo de corte: 15°) los resultados fueron similares en los tres planos de corte. (ver grafico de líneas)

La estructura más compleja que posee esta especie: textura gruesa (poros grandes), fibras de longitud medianas y grano entrecruzado contribuyen en los resultados obtenidos es decir presentan diferencias en cuanto a los planos de corte y métodos de cepillado causando la formación de superficies arrancadas o vellosas durante el cepillado aumentando la rugosidad de esta, esto confirma lo mencionado por Neese et al (1996), quienes señalan la rugosidad superficial esta en función a la anatomía de la madera: tamaño y orientación de las células (inclinación de las fibras), en relación al filo de la cuchilla y al proceso de trabajabilidad: velocidad de corte y tipo de corte paralelo o perpendicular a las fibras.

Para la especie *Pollalesta discolor* Kunth Aristigueta “**Yanavara**” el cepillado ortogonal produjo similar calidad de superficie que el cepillado periférico en sus tres planos de corte. En trabajos realizados en la UNALM, incluso cuando se aumentó el ángulo de corte a 25° se observaron valores muy similares de rugosidad para este tipo de cepillado, bajo las mismas condiciones de trabajabilidad .(Meléndez, 2003)

Las características anatómicas de esta especie tales como: grano recto , textura fina (poros pequeños y numerosos), fibras de longitud medianas y paredes delgadas contribuyen en los resultados obtenidos; es decir generan superficies mucho más lisas y uniformes; lo cual favorece el ensamblaje de las piezas en el proceso de encolado.

#### **4.2 EVALUACIONES PREVIAS AL PROCESO DE ENCOLADO.**

En el cuadro 13. se incluyen los resultados del control de la cola a utilizar, así como los valores promedios obtenidos en relación al contenido de humedad de las maderas que corresponden al contenido de humedad de equilibrio del lugar donde se realizó el estudio que oscila entre 14 y 15 % .

Cuadro 13 : EVALUACIÓN DE LA COLA Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA

Rubro		Unidades	Promedio
Contenido de humedad de madera	Pino chuncho	%	15
	Yanavara	%	15
Cola	Viscosidad	Cps	12 600
	PH	-	6.5
	Contenido de sólidos	%	32

Según las características la cola utilizada en el estudio, los resultados obtenidos muestran que la cola adquirida cumple con los parámetros especificados en el folleto técnico divulgativo del productor (anexo 1). Así mismo el contenido de humedad de las maderas estudiadas, están dentro de los rangos apropiados para el uso de este tipo de cola, según los estudios revisados.

#### 4.3 RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO EN LA LÍNEA DE COLA.

En el cuadro 14 se muestran los valores promedios de resistencia al cizallamiento en la línea de cola y porcentajes de falla en la madera, con dos métodos de cepillado en los tres planos de corte para ambas especies. Los valores unitarios se detallan en el anexo 6.

Cuadro 14 : VALORES PROMEDIOS DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO DE LA LINEA DE COLA PARA DOS ESPECIES MADERABLES

Especies	Plano De corte	ORTOGONAL				PERIFÉRICO			
		Resistencia		Falla madera		Resistencia		Falla madera	
		Kg/cm <sup>2</sup>	CV	%	CV	Kg/cm <sup>2</sup>	CV	%	CV
YANAVARA	Radial	95,40	19	17	33	125,84	15	15	33
	Tangencial	119,66	14	51	97	148,00	21	35	45
	Oblicuo	131,82	22	24	35	125,56	14	33	85
	<b>Promedio</b>	<b>115,63</b>	<b>21</b>	<b>30</b>	<b>81</b>	<b>133,13</b>	<b>21</b>	<b>28</b>	<b>90</b>
PINO CHUNCHO	Radial	79,83	17	49	86	80,43	11	16	33
	Tangencial	97,87	20	18	39	131,72	18	22	63
	Oblicuo	110,54	7	21	56	104,63	6	27	86
	<b>Promedio</b>	<b>96,08</b>	<b>22</b>	<b>30</b>	<b>90</b>	<b>105,60</b>	<b>26</b>	<b>22</b>	<b>59</b>

Fuente: Elaboración propia

Según con el **análisis de variancias (Anva)** con respecto al efecto de interacción de los métodos de cepillado vs los planos de corte entre la resistencia al cizallamiento en la línea de cola para cada especie se observa, para un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , que existe suficiente evidencia significativa para afirmar que hay interacción entre los métodos de cepillado y planos de corte para ambas especies. Por lo que es necesario un análisis de efectos simples y múltiples para hacer las comparaciones entre cada plano de corte y entre métodos de cepillado.

Del **Análisis de efectos simples** se observa para un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , lo siguiente :

Para **Yanavara** hay suficiente evidencia estadística para afirmar que existen diferencias significativas entre los planos de corte radial y tangencial cuando se utilizan los dos métodos de cepillado; mientras que en el plano oblicuo no existen diferencias significativas entre los métodos de cepillado ortogonal y periférico. (cuadro 15)



Con respecto al **Pino chuncho**: existe suficiente evidencia estadística para afirmar que no existen diferencias significativas entre los métodos de cepillado cuando se aplican a los planos radial y oblicuo, sin embargo para el plano tangencial si existen diferencias significativas entre los métodos de cepillado ortogonal y periférico. (cuadro 15).

Cuadro 15: NIVEL DE SIGNIFICANCIA DE LA RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO EN LA LÍNEA DE COLA ENTRE MÉTODOS DE CEPILLADO

Especies	Planos de corte (factor B)	Métodos de Cepillado (factor A)	
		Ortogonal	Periférico
YANAVARA	Radial	*	*
	Tangencial	*	*
	Oblicuo	NS	NS
PINO CHUNCHO	Radial	NS	NS
	Tangencial	*	*
	Oblicuo	NS	NS

**La prueba de comparaciones múltiples - TUKEY permite afirmar que:**

Para la especie Yanavara, se encontró diferencias significativas entre los valores de resistencia al cizallamiento entre los planos radial - tangencial cuando se utilizaron ambos métodos de cepillado, entre los planos radial - oblicuo cuando se utilizó cepillado ortogonal y entre los planos tangencial - oblicuo para el cepillado periférico.(cuadro 16)

En cambio para Pino chuncho los valores de resistencia al cizallamiento en la línea de cola difieren significativamente entre los planos radial – tangencial y radial - oblicuo para ambos métodos de cepillado. Pero no existe diferencia significativa entre los planos tangencial- oblicuo usando el cepillado ortogonal.(cuadro 16)

**Cuadro 16 : NIVEL DE SIGNIFICANCIAS DEL PROMEDIO DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO EN LA LINEA DE COLA ENTRE PLANOS DE CORTE**

Especies	Planos de corte	Métodos de cepillado	
		Ortogonal	Periférico
Yanavara	RD vs TG	*	*
	RD vs OB	*	NS
	TG vs OB	NS	*
Pino chuncho	RD vs TG	*	*
	RD vs OB	*	*
	TG vs OB	NS	*

NS = No significativo                      \* = Significativo

Fuente: Elaboración propia

Del gráfico de líneas para Yanavara se observa los promedios que cada plano de corte produjo con el cepillado ortogonal y periférico:

<b>Cepillado ortogonal</b>	<b>RD</b>	<b>TG</b>	<b>OB</b>
	95.403	119.658	131.821
	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$
		—————	
<b>Cepillado periférico</b>	<b>OB</b>	<b>RD</b>	<b>TG</b>
	125.560	125.843	147.996
	$\mu_3$	$\mu_2$	$\mu_1$
		—————	

Para la especie Yanavara observamos, que los planos tangencial y oblicuo presentan mayores valores de resistencia al cizallamiento en la línea de cola cuando se utiliza el cepillado ortogonal; mientras que el plano radial produce una menor resistencia.

Así mismo, observamos que los planos oblicuo y radial producen menores valores de resistencia al cizallamiento en la línea de cola con el cepillado periférico, mientras que el plano tangencial produce una mayor resistencia. En el anexo 8 se muestra el gráfico de comparaciones múltiples.

Según lo expuesto, la madera Yanavara presenta mayores valores promedios de resistencia al cizallamiento en la línea de cola que Pino chuncho con el cepillado ortogonal y periférico en sus tres planos de corte. Esto puede deberse al efecto:

1. De los mayores valores de las propiedades físico – mecánicas en condición verde que presenta Yanavara: densidad (0,48), dureza (400 Kg/cm<sup>2</sup>) y resistencia al cizallamiento (94.36 Kg/cm<sup>2</sup>) respecto al Pino chuncho: densidad (0,36), dureza (300 Kg/cm<sup>2</sup>) y resistencia al cizallamiento (61,68 Kg/cm<sup>2</sup>).

2. De una buena unión química (teoría de adsorción) entre la madera y el adhesivo que propiciaría una mejor unión específica en la Yanavara por presentar mayores valores en sus componentes químicos:

- **Celulosa** (52.3%), cuyos grupos hidroxilo-polares que tienen una gran afinidad por moléculas polares del adhesivo haciendo que los enlaces puentes hidrógeno y las fuerzas de Van der Waals sean más fuertes (Blomquist et al. 1981). El mismo autor señala que este componente es expuesto al cortarse las fibras a través de la capa secundaria, como ocurre en el cepillado periférico.
- **Lignina** (29.2%) componente que se expone al cortar a través de la lamina media generando superficies más lisas (cepillado ortogonal) permitiendo que las superficies entren en íntimo contacto propiciando la ausencia de bolsas de aire, lo cual favorece la humectabilidad de la superficie a unir, logrando una buena adhesión.

3. De la rugosidad de la Yanavara, que pese a presentar bajos valores con respecto al Pino chuncho, logra una buena adhesión, para ambos métodos de cepillado, por efecto de superficies menos dañadas y mejor humectabilidad lo que permite que el adhesivo fluya y

penetre a través de las células sanas lográndose uniones más resistentes. El plano tangencial para ambos métodos de cepillado, presenta mayor porcentaje de falla en la madera (falla adhesiva); ocurriendo lo contrario para el plano radial en donde aparece un porcentaje de falla menor, lo que implica mayor falla en la línea de cola (falla cohesiva), para ambos métodos de cepillado.

4. Adicional a esto, el tamaño pequeño de los poros que presenta la madera de Yanavara (100  $\mu\text{m}$ ) en comparación con el Pino chuncho (202  $\mu\text{m}$ ) favorecería el flujo del adhesivo facilitando su absorción por la madera, que conjuntamente con la mayor rugosidad favorecería la adhesión mecánica en esta última especie. Las fotos 6 y 7 ilustran las fallas en la madera Yanavara y Pino chuncho, respectivamente.



Foto 7 : FALLAS DE LAS MADERAS : (A) Yanavara Y (B) Pino chuncho

Respecto al comportamiento del **Pino chuncho**, el gráfico de líneas ilustra los promedios que cada plano de corte produjo con el cepillado ortogonal y periférico.

<b>Cepillado ortogonal</b>	<b>(RD)</b>	<b>(OB)</b>	<b>(TG)</b>
	79.8322	98.8714	110.4614
	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$
—————			
<b>Cepillado periférico</b>	<b>(RD)</b>	<b>(OB)</b>	<b>(TG)</b>
	80.4340	104.6250	131.7227
	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$

Se observa para el cepillado ortogonal, mayores resistencias al cizallamiento en la línea de cola en los planos tangencial y oblicuo; no presentando diferencias significativas entre ellas; mientras que para el cepillado periférico se demuestra que existen diferencias significativas entre los tres planos de corte, obteniéndose una mayor resistencia al cizallamiento en la línea de cola en el plano tangencial y un menor valor en el radial (ver gráfico de comparaciones múltiples anexo 8). A este comportamiento puede contribuir lo siguiente:

1. Ambos métodos de cepillados, en el plano radial producen mayores valores promedios de rugosidad y menores valores promedios de resistencia al cizallamiento en la línea de cola. Si bien es cierto este factor genera un mejor anclaje del adhesivo en la madera (mayor unión mecánica), también genera la aparición de bolsas de aire causando una humectabilidad incompleta y una unión débil; confirmándose que existe una relación inversa entre la rugosidad y resistencia para este plano de corte. (Blomquist et al. 1981)

2. En el caso del cepillado periférico no hay diferencias significativas en los valores de rugosidad para los tres planos de corte, lo que significaría que para este cepillado no es un factor crucial que influya en la resistencia a cizallamiento; pero en el cepillado ortogonal se demostró diferencias significativas entre los planos: radial - tangencial y tangencial - oblicua.

3. La influencia de los componentes químicos del Pino chuncho pueden haber afectado la unión específica (unión química), pues la literatura muestra bajos valores principalmente en celulosa (45,57%) y escasa presencia de gomas.

## 5. CONCLUSIONES

- ❖ La calidad de superficie de Yanavara ,no se ve afectada por los métodos de cepillado en sus tres planos de corte, aunque con el cepillado ortogonal en el plano oblicuo y el cepillado periférico en el plano tangencial, se generan menores valores de rugosidad.
  
- ❖ La calidad de superficie de Pino chuncho, solo es afectada por el cepillado ortogonal, generando menor rugosidad en el plano tangencial, sin embargo con el cepillado periférico se observa menor valor en el plano mencionado.
  
- ❖ En cuanto a la resistencia al cizallamiento en la línea de cola, que además de la rugosidad involucra otros factores, se observaron que tanto para Yanavara y Pino chuncho los mayores valores fueron generados por el cepillado ortogonal en el plano oblicuo y con el cepillado periférico en el plano tangencial.
  
- ❖ La madera de Yanavara muestra una relación inversa en la resistencia al cizallamiento de la línea de cola y rugosidad para ambos métodos de cepillado; mientras que en Pino chuncho no existe un comportamiento definido.
  
- ❖ La superficie de la madera trabajada mediante el cepillado periférico en plano tangencial con un ángulo de corte de 15° favorece una buena unión adhesiva para ambas especies.

## 6. *RECOMENDACIONES*

- ❖ Para Yanavara, se recomienda trabajar con el cepillado ortogonal en el plano oblicuo y con el cepillado periférico en el plano tangencial. Mientras que para Pino chuncho se recomienda utilizar el cepillado periférico en plano tangencial y con el cepillado ortogonal en los planos tangencial y oblicuo.
  
- ❖ Se recomienda para futuros estudios considerar los siguientes factores: ángulo de orientación de las fibras, profundidad de penetración del adhesivo, calidad de superficie a nivel sub-microscópico, análisis químico de la especie a encolar.
  
- ❖ Para una mejor precisión del efecto que tiene ambos métodos de cepillado sobre las sub superficies y su influencia en la adhesión, se recomienda hacer una evaluación con el microscópico electrónico de barrido (SEM)
  
- ❖ Al trabajar a nivel artesanal para ambas especies, es recomendable utilizar el cepillado ortogonal con ángulo de corte es 30° y en el plano oblicuo



## **7. BIBLIOGRAFÍA**

1. Acevedo, M. M. ; Condori, R. C. 2003. Propiedades físico mecánicas de 5 especies maderables provenientes de bosques secundarios de Tarapoto – San Martín. INCAGRO– UNALM – CEDISA. Lima, Perú.
2. ASTM (American Society for testing and materials). 1985a. ASTM D 905: Standard Test Method of Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading. Philadelphia, PA.USA.
3. \_\_\_\_\_.1985b. ASTM D 907. Standard Terminology of Adhesives. Philadelphia, PA. USA.
4. \_\_\_\_\_.1985c.. ASTM D 1084. Standard test methods for Viscosity of adhesives.. Philadelphia, PA . USA
5. \_\_\_\_\_.1985d. ASTM D 1490. Standard test methods for Nonvolatile content of urea-formaldehyde resin solutions.. Philadelphia, PA. USA.
6. \_\_\_\_\_. 1985e. ASTM E 70. Standard test methods for pH of aqueous solutions with the glass electrode. Philadelphia, PA. USA.
7. Biblioteca Atrium de la ebanistería. 1993. Otros materiales usados en ebanistería. Vol 1: Los materiales. Ediciones Océano. Barcelona , España.

8. Blomquist, R. F.; Christiansen, A. W.; Gillespie R. H.; Myers, G. E. eds.1981. Adhesives bonding of wood and other structural materials. Clark C. Heritage memorial series on wood, Vol. 3. Educational modules for material science and engineering (EMMSE). University Park, PA: Pennsylvania State university. USA.
9. Bracko, L. ; Zarucchi, J.. 1993 . Catalogo de Angiospermas y Gimnospermas del Perú. Missouri Botanical Garden. St. Louis – USA. 1285p.
10. Bueno, J. ; Lao, R. 1978. Estudio de posibilidades industriales de maderas nacionales para fabricación de pulpa para papel. Universidad Nacional Agraria – Ministerio de Industria, Comercio e Integración. La Molina, Perú.
11. Calzada B, J. 1982. Métodos estadísticos para la investigación. Ed. Milagros S.A. Lima, Perú . 202 p.
12. Caster, D. ; Kutscha N. ; Lieck G. 1985 . Gluability of sanded lumber Forest Product Journal 35 (4): 45-52 .
13. Chavesta, M. 2003. Estudio Anatómico de 5 especies Forestales de Bosque secundario de Tarapoto - San Martín. INCAGRO– UNALM – CEDISA. Lima, Perú.
14. Edebe, 1997. Tecnología de la Madera. Barcelona, España. p. 106 – 111
15. Fundación Beteguma. Bases para el Plan de Manejo y Ordenamiento Territorial. In Memorias: I Expedición Ambiental a la Cuenca Hidrográfica del Río Cabí Quibdó, Octubre 31 Noviembre 1 y 2 , Nov 21 y 22-23 de 1998 (en línea). Quibdó - Chocó – Colombia. consultado noviembre 2004.

Disponible: <http://www.riob.org/relob/memorias1.htm>

16. Gonzales M. E.; Egoavil-cueva G.; Chung C. P. ; Bueno, J. 2001. Posibilidades de uso de especies tropicales para la industria papelera en el Perú. UNALM .Presentado en: Simposium Internacional de Ingeniería Química. Lima, Perú.
17. Houwink, R. ; Salomón, G. 1978. Adherencia y Adhesivos. Enciclopedia Química Industrial. Tomo 3, v (1) . Bilbao, España.
18. Hernández, R. E. 1994. Effect of two wood surfacing methods on the gluing properties of sugar maple and white spruce. Forest Product Journal 44 (7/8): 63- 66.
19. \_\_\_\_\_; Rojas, G. 2002. Effect of knives jointing and wear on the planed surface quality of Sugar maple wood. Wood and Fiber Science. 34 (2): 293-305.
20. Hoadley Bruce R. 1980. Understanding Wood .Connecticut, USA 254 p.
21. Instituto nacional de investigación agraria – INIA; Organización internacional de maderas tropicales- OIMT. 1996. Manual de identificación de especies forestales de la subregión andina. Lima, Perú.
22. Jokerst, R.W. ; Stewart H.A . 1976 . Knife versus abrasive planed wood: quality of adhesive bonds. Wood and Fiber Science. 8 (2):107-113.
23. Justiniano J. ; Pariona W. ; Fredericksen T. S. ; Nash D. 2001. Ecología y Silvicultura de Especies menos conocidas. (Serebó o Sombrerillo- Schizolobium parahyba (Vell.) S.F. Blake). Proyecto de Manejo Forestal Sostenible, BOLFOR. (en línea).Santa Cruz, Bolivia. Consultado diciembre 2004.

Disponible: <http://www.cadex.org/bolfor/Libros/Serebo.pdf>

24. López M, C. 2000. Efecto de la densidad de la madera, espesor de láminas y cola sobre la flexión estática, en laminados de “Tornillo” (*Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke) . Tesis para optar grado de Magíster Scientiae. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.
  
25. Ninin, S. ; Luc, H. 1983 . Texto de Labrado Mecanizado . Universidad de los Andes . Venezuela. Pg: 55-71.
  
26. Ludeña, L. P. 1987. Pulpa química al sulfato de tres maderas de selva central. Tesis Ing. Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
  
27. Madrid Vega, Mario. 1999. Mecanismos Fundamentales de la Adhesión. Seminario sobre Adhesivos. (en línea). Departamento Técnico Henkel – Loctitel. Madrid, España. Consultado en julio 2005.  
  
Disponible: <http://materiales.unex.es/download/adhesivos.pdf>
  
28. Meléndez C, A. : Bustamante G, N. 2003. Evaluación de rugosidad superficial en madera cepillada y lijada de 6 especies forestales. UNALM. Departamento de industrias forestales.. Lima, Perú.
  
29. Método analítico para la determinación de viscosidades con Viscosímetros Brookfield.(en línea) CK-G02 05 Mar. 05, 2004. PAG 1 de4. consultado en setiembre 2004  
  
Disponible: <http://www.amtex.com.mx/docs/AMTEX-Brookfield.pdf>

30. Mettem C.J. 1986. Structural Timber Design and Technology. England, p 129-141.
31. Missouri Botanical Garden. 2005. Nomenclatural Data Base. (en línea). Missouri Botanical Garden - 4344 Shaw Boulevard, St. Louis, MO 63110.. consultado en julio 2005  
Disponible: [http://www.mobot.org/cgi-bin/search\\_vast?onda=N02711456](http://www.mobot.org/cgi-bin/search_vast?onda=N02711456)
32. Murmanis, L. ; River, B. ; Steward, H. 1983. Microscopy of abrasive planed and knife planed surface in wood adhesives bonds. Wood and Fiber Science. 15 (2): 102-115
33. Naderi, N.; Hernández, R. 1999. Effect of planing on physical and mechanical properties of sugar maple wood. Wood and Fiber Science. 31 (3): 283-292
34. \_\_\_\_\_.2001. Effect of knife jointing on the gluing properties of wood. Wood and Fiber Science. 31 (3): 291-301.
35. Neese, J. L. ; Reeb, J. E. ; Funck, J. W. 1999. Relating traditional surface roughness measures to gluebond quality in plywood. Forest Product Journal 54 (1):67-73.
36. Palomino Y. J. ; Barra C. M. 2003. Especies forestales nativas con potencial para reforestación en la provincia de Oxapampa y fichas técnicas de las especies de mayor prioridad. PRONAMACHS, Oxapampa, Perú.
37. Proyecto de la Reserva Chontayacu “Vida para todos”. (en línea). 2003. Gobierno Municipal del Canton Pastaza. Ecuador.. Consultado en junio 2004  
Disponible: <http://www.pastaza.com/atracciones/reserva.html-9k>

38. Pruski, J. F. 1996. Compositae of the Guayana Highland\_X. Reduction of *Pollalesta* to *Piptocoma* (Vernonieae: Piptocarphinae) and consequent nomenclatural adjustments ( en línea). Novon 6: 96-102. In Manual de plantas de Costa Rica .THE CUTTING EDGE . Volume III, Number 2, April 1996. Consultado en junio 2005  
Disponible: <http://www.mobot.org/MOBOT/Research/curators/pruski.shtml>
39. Reynel, Carlos ; Pennington, T. D. ; Pennington, R. T. ; Flores, C. ; Daza, A. 2003. Árboles útiles en la Amazonia Peruana y sus usos. Pg: 58- 59 y 221-223. Lima – Perú.
40. River Bryan H. ; Vick Charles B. ; Gillespie Robert H. 1991. Wood as adherend. ( en línea). chapter 1 from volume 7 Treatise on ADHESION and ADHESIVES. edited by Marcel Dekker, Inc. J. D. Minford New York, USA . Consultado en agosto 2005  
Disponible: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1991/river91a.pdf>
41. Selbo, M. L. 1975. Adhesive bonding of wood . Technical Bulletin N° 1512. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
42. Sotelo, M. A. 1992. Posibilidades del Pino chuncho (*Schizolobium Huber ex Ducke*) en la industria de la cajonería. Tesis Magister Sientae. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
43. Specialchem adhesives and sealants.2005. Adhesion guide.(en línea) Consultado en septiembre 2005  
Disponible  
<http://www.specialchem4adhesives.com/resources/adhesionguide/index.aspx?id>

44. Stewart, H. A. 1989. Fixed- knife pressure-bar planning method reduces or eliminates subsurface damage. *Forest Product Journal* 39 (7/8):66-70.
45. Vásquez, R. ; Rojas, R. 1997. Flora del Río Cenepa , Amazonas- Perú . Introducción a la Diversidad Florística de un refugio de endemismos y disyunciones . Missouri Botanical Garden. Consultado en junio 2005  
Disponible [http://www.geocities.com/jbmperu/condor.htm#\\_Toc19268152](http://www.geocities.com/jbmperu/condor.htm#_Toc19268152)
46. Vick, Charles B. 1999. Adhesive Bonding of Wood Materials.(en línea) Wood handbook—Wood as an engineering material .Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p. Consultado en octubre 2005  
Disponible <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr113/ch09.pdf>
47. Vignote, P. S ; Jiménez , P. F. 2000. Tecnología de la Madera. 2º Ed, Madrid, España.
48. Fuller. Ficha técnica de cola blanca de madera (en línea). Consultado en Julio 2004  
Disponible: <http://www.hbfuller.com>





- ✓ Unir fuertemente ambas superficies, antes de 10 minutos desde la aplicación del pegamento y ,manténgalas prensadas, sin mover, durante 6 horas a una temperatura entre 18 y 20 °C.
- ✓ Retire el exceso de **cola blanca de madera power bond** con un paño húmedo, antes que el producto seque.
- ✓ Para un óptimo resultado, espere 24 horas antes de manipular el objeto pegado.

#### IMPORTANTE

Utilice herramientas adecuadas para prensar.

#### RENDIMIENTO

1 Kg. de **cola blanca de madera Power Bond** cubre de 4 a 5 m<sup>2</sup> aproximadamente dependiendo del espesor.

#### TIEMPO DE ALMACENAMIENTO

De modo de prolongar su vida útil de 12 meses, mantenga el envase bien cerrado y en temperaturas entre 5 a 30 °C.

#### PRECAUCIONES:

- ✓ Recomendamos que el producto no sea usado por niños. De lo contrario debe ser supervisado por un niño.
- ✓ Siempre utilice accesorios de seguridad, como guantes, lentes, etc. De manera de reducir riesgos de contacto con los ojos y piel e ingestión.
- ✓ Una vez que termine de usar el producto, l lave sus manos con agua y jabón.

#### PRESENTACIONES

200 gr. (pomo), 500gr (pote), 1 Kg. (bolsa), 4 Kg. (galón), 20 Kg. (balde), 60 y 100 Kg. (cuñetas)

La información suministrada en esta hoja técnica es correcta en base a nuestros conocimientos y ensayos .las sugerencias y recomendaciones incluidas son orientativas H.B. Fuller Chile S.A.\* recomienda que nuestros clientes hagan las pruebas adecuadas en sus laboratorios o plantas , para determinar si nuestro producto cumple con todos los requerimientos. Nuestro personal técnico esta a su disposición para asesorarlo. La aplicación, uso y manejo de este producto queda fuera de nuestro control, y por lo tanto, es de exclusiva responsabilidad del usuario\* .

---

\* Disponible: <http://www.hbfuller.com>

## ANEXO 2

### CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE COLAS PARA MADERA

Tipo de fraguado	Enfriamiento de la cola fundida	Evaporación del agua y coalescencia de las micelas de dispersión	Evaporación de los solventes y cristalización molecular del caucho	Evaporación de agua y reacción química
Tipo de disolvente	No contiene	Agua	Hidrocarburos,	Agua
Aplicación	En caliente	En frío	En frío	En frío
Velocidad de aplicación (m <sup>2</sup> /min)	Hasta 80	10 – 40	No se puede utilizar en procesos	5 – 30
Junta de cola	Muy marcada	Casi invisible	Casi invisible	Casi invisible
Limpieza del material de aplicación	Difícil	Fácil	Regular	Fácil
Una vez aplicado, problemas de encolado	Sí	Pocos	Algunos	Pocos
Resistencia al calor de las uniones	70 – 80° C	130 – 160° C	60 - 90° C	120 – 150° C
Resistencia al frío de las uniones	0° C	- 10° C	Inferior a – 15° C	- 10° C
Elementos sólidos	100 %	50 – 70 %	20 – 25 %	65 – 75 %
Tiempo en que las uniones alcanzaran	Una vez frío	De 2 horas a 1 semana	De 24 horas a 1 semana	De 8 horas a 1 semana
Resistencia al agua	Regular	Buena (según formulación)	Buena	Buena (según formulación)
Calidad de acabado	Bueno	Muy bueno	Bueno	Muy bueno
Rendimiento según soporte (g/m <sup>2</sup> )	180 – 220	120 – 150	150 – 200	140 – 190
Usos	Cantos	Carpintería, ebanistería, cantos	Carpintería, ebanistería	Para superficies aglomerados

## ANEXO 3

### CONSTANCIA DE IDENTIFICACIÓN DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS



#### UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES, TEF: 349-5647 ANEXO.203, Fax: 3492041  
APDO.456 - LA MOLINA LIMA PERU

### CONSTANCIA

El que suscribe, JEFE DEL LABORATORIO DE ANATOMÍA DE LA MADERA, deja constancia que, de acuerdo con los estudios anatómicos efectuados, las muestras de madera proporcionadas por la Bach. MARGARET GRACE GONZALES CALERO, ex alumna de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina, empleadas en su trabajo de tesis titulado: "Efecto de dos métodos de cepillado en la resistencia al cizallamiento de la línea de cola de dos especies de bosques secundarios; corresponden a las especies:

<u>Nombre Común</u>	<u>Nombre Científico</u>	<u>Familia</u>
1. Pino Chuncho	<i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke	Fabaceae
2. Yanavara	<i>Pollalesta discolor</i> (Kunth) Aristigueta	Asteraceae

Atentamente,

Ing. Manuel Chavesta Custodio  
Lab. Anatomía de la Madera

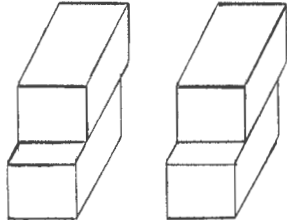
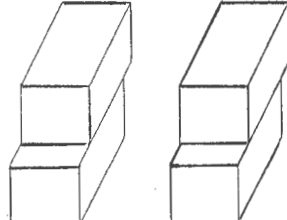
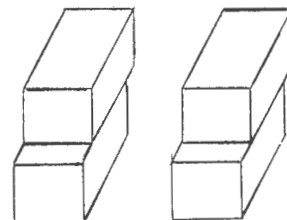


La Molina, 06 de Octubre de 2005



## ENSAYOS DE CIZALLAMIENTO EN LA LINEA DE COLA

5

Nombre Común: .....		Proyecto: .....		UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA Laboratorio de Ensayos tecnológicos de la madera - Facultad de Ciencias Forestales					
Nombre Científico: .....		Ejecutor: .....							
Familia: .....		Fecha: .....							
Prueba Nº	Anillo Nº/cm	Datos de computo				Resultados			Esquemas y Fallos
		Ancho (cm)	Espesor (cm)	Carga máxima (Lb)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	C.H. (%)	Resist. Cizallamiento (Kg/cm <sup>2</sup> )	
									
Observaciones: .....									
									
Observaciones: .....									
									
Observaciones: .....									

## ANEXO 5

### VALORES UNITARIOS Y PROMEDIOS DE LAS EVALUACIONES DE RUGOSIDAD

YANAVARA

#### CEPILLADO ORTOGONAL (A)

LISTONES		OBSERVACIONES ( $\mu$ m)						PROMEDIOS	
Número	Plano de corte	1	2	3	4	5	6	Según observación	Según orientación
1	RD	9.52	9.67	7.45	10.46	10.29	7.81	9.20	8.63
2		10.00	9.66	9.94	10.93	9.13	9.13	9.80	
3		8.95	7.18	7.51	6.99	7.18	7.42	7.54	
4		8.22	7.30	8.04	7.71	8.93	7.59	7.97	
1	TG	7.04	6.30	7.91	7.49	6.11	6.80	6.94	7.84
2		7.99	8.56	9.81	10.00	8.94	9.75	9.18	
3		7.09	6.90	7.19	7.96	6.70	7.23	7.18	
4		7.76	7.68	8.09	8.52	8.20	8.02	8.05	
1	OB	6.44	8.13	7.57	6.79	9.01	6.88	7.47	7.20
2		6.38	5.93	7.58	6.60	8.26	7.79	7.09	
3		7.17	8.57	6.45	6.91	7.54	8.31	7.49	
4		6.05	6.95	7.44	6.40	7.48	6.06	6.73	
<b>PROMEDIO</b>								<b>7.89</b>	

**CEPILLADO PERIFERICO (B)**

5	RD	0.93	10.81	10.52	10.91	7.60	11.30	10.35	9.35
6		8.32	10.66	13.63	8.39	8.42	11.10	10.09	
7		8.61	8.21	8.08	10.19	9.37	8.79	8.88	
8		6.43	7.93	9.52	8.66	7.48	8.53	8.09	
5	TG	8.76	6.21	6.10	6.04	9.14	6.12	7.06	8.09
6		6.29	8.00	10.03	7.48	8.06	9.60	8.24	
7		10.87	10.98	8.49	10.85	12.10	8.06	10.23	
8		6.25	6.29	8.23	6.44	7.03	6.67	6.82	
5	OB	9.03	7.70	8.05	6.50	7.04	7.69	7.67	8.60
6		7.85	10.13	9.88	7.92	7.29	11.37	9.07	
7		9.67	7.29	8.68	8.11	8.64	9.71	8.68	
8		9.59	8.35	9.12	8.44	8.88	9.40	8.96	
<b>PROMEDIO</b>									<b>8.68</b>

*PINO CHUNCHO*

**CEPILLADO ORTOGONAL (A)**

1	RD	20.32	14.94	11.81	11.35	16.56	13.04	14.67	13.46
2		12.29	12.13	13.33	16.57	22.25	12.35	14.82	
5		11.27	9.07	11.67	15.16	15.10	12.02	12.38	
6		9.62	14.09	11.21	16.93	10.02	10.04	11.99	
3	TG	10.04	16.30	11.92	13.62	12.30	13.55	12.96	10.83
4		7.28	6.12	11.08	8.10	7.76	7.60	7.99	
5		11.98	12.57	11.23	12.56	11.68	10.72	11.79	
6		7.70	13.23	10.37	10.24	10.68	11.22	10.57	
1	OB	14.54	12.52	12.35	14.45	12.47	13.77	13.35	13.91
2		15.63	14.17	10.75	12.24	13.09	11.31	12.87	
4		15.60	15.31	13.87	15.76	14.55	15.04	15.02	
5		14.59	14.54	14.46	15.75	12.41	14.75	14.42	
<b>PROMEDIO</b>									<b>12.73</b>



**CEPILLADO PERIFERICO (B)**

8	RD	19.08	14.77	19.12	12.79	11.43	8.97	14.36	11.39
10		9.28	9.60	11.78	7.96	8.18	9.84	9.44	
11		8.73	6.75	11.21	9.62	9.51	10.38	9.37	
12		15.51	9.67	10.00	11.11	15.52	12.59	12.40	
9	TG	10.62	11.75	8.85	10.03	12.16	10.88	10.72	10.52
10		7.78	14.27	17.17	12.10	8.16	8.83	11.39	
11		10.61	12.85	11.34	9.55	6.75	10.32	10.24	
12		6.28	8.31	11.28	12.50	.17	11.88	9.74	
7	OB	13.75	10.22	7.23	10.41	7.02	7.44	9.35	10.38
9		13.28	9.08	8.03	8.53	14.82	10.74	10.75	
11		11.99	12.31	10.84	10.80	8.84	10.45	10.87	
12		11.28	15.64	8.40	11.58	7.62	8.74	10.54	
<b>PROMEDIO</b>								<b>10.76</b>	

## ANEXO 6

### VALORES UNITARIOS Y PROMEDIO DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO EN LA LINEA DE COLA CON DOS METODOS DE CEPILLADO

#### YANAVARA

##### CEPILLADO ORTOGONAL (A)

						C MAX (Kg)				
RD	1A - 1	5.075	3.995	20.275	4240	1927	115.333	95.403	30	17
	2	5.050	3.995	20.175	3540	1609	79.758		19	
	3	5.060	3.890	19.683	5390	2450	124.470		26	
	4	5.055	3.845	19.436	4600	2091	107.577		28	
	5	5.065	3.930	19.905	4210	1914	101.716		17	
	2A - 1	5.070	3.925	19.900	5540	2518	126.543		6	
	2	5.050	3.930	19.847	2480	1127	56.800		9	
	3	5.070	3.890	19.722	4210	1914	97.029		11	
	4	5.050	3.905	19.720	3000	1364	69.149		3	
	5	5.060	3.905	19.759	4170	1895	95.927		22	
TG	3A - 1	5.065	3.860	19.551	3520	1600	81.838	119.658	26	29
	2	5.065	3.905	19.779	5420	2464	124.559		50	
	3	5.070	3.995	20.255	4800	2182	107.719		9	
	4	5.075	3.985	20.224	5570	2532	125.190		28	
	5	5.070	3.995	20.255	5470	2486	109.826		78	
	4A - 1	5.070	3.885	19.697	5540	2518	127.846		16	
	2	5.060	3.910	19.785	5790	2632	133.024		83	
	3	5.060	3.800	19.228	5870	2668	138.765		80	
	4	5.050	3.855	19.468	5070	2305	118.378		75	
5	5.055	3.800	19.209	5470	2486	129.437	66			
OB	5A - 1	5.020	3.900	19.578	6210	2823	144.179	131.821	44	24
	2	4.900	3.880	19.012	5830	2650	139.386		15	
	3	5.060	3.895	19.709	6640	3018	153.140		18	
	4	5.000	3.885	19.425	6150	2795	143.910		38	
	5	5.050	3.910	19.746	5910	2686	145.153		32	
	6A - 1	5.075	3.880	19.691	4860	2209	112.188		16	
	2	5.070	3.900	19.773	3240	1473	74.482		13	
	3	5.050	3.855	19.468	5910	2686	137.990		18	
	4	5.050	3.890	19.645	4680	2127	108.288		20	
	5	5.065	3.860	19.551	6860	3118	159.490		25	
<b>PROMEDIO POR CEPILLADO</b>							<b>115.627</b>		<b>30</b>	

**CEPILLADO PERIFÉRICO (B)**

RDO	7B - 1	5.040	3.880	19.555	5160	2345	119.940	125.843	13	15
	2	5.025	3.855	19.371	4510	2050	105.826		10	
	3	5.015	3.865	19.383	6180	2809	144.926		10	
	4	5.030	3.790	19.064	5470	2486	130.424		5	
	5	5.040	3.890	19.606	5240	2382	125.279		15	
	8B - 1	5.045	3.810	19.221	5100	2318	120.604		18	
	2	5.045	3.880	19.575	5240	2382	121.679		15	
	3	5.030	3.915	19.692	5920	2691	136.647		39	
	4	5.040	3.880	19.555	6450	2932	149.925		13	
	5	5.020	3.905	19.603	4450	2023	103.184		13	
TG	9B - 1	5.045	3.770	19.020	7070	3214	168.964	147.996	15	35
	2	5.025	3.890	19.547	7400	3364	172.077		36	
	3	5.035	3.865	19.460	5320	2418	124.262		23	
	4	5.025	3.870	19.447	7000	3182	163.617		38	
	5	5.010	3.900	19.539	6690	3041	155.633		30	
	10B - 1	5.050	3.880	19.594	5440	2473	126.198		53	
	2	5.035	3.880	19.536	4850	2205	112.846		54	
	3	5.035	3.890	19.586	7210	3277	167.326		38	
	4	5.030	3.905	19.642	6480	2945	149.956		30	
	5	5.030	3.890	19.567	6690	30.41	139.082		34	
OB	11B - 1	5.050	3.900	19.695	4290	1950	99.010	125.561	30	33
	2	5.035	3.875	19.511	6030	2741	140.483		34	
	3	5.040	3.880	19.555	6300	2864	146.439		79	
	4	5.040	3.880	19.555	5150	2341	119.708		5	
	5	5.050	3.910	19.746	5190	2359	126.410		25	
	12B - 1	5.040	3.790	19.102	5720	2600	136.114		60	
	2	5.025	3.890	19.547	5180	2355	120.454		16	
	3	5.055	3.890	19.664	5190	2359	119.970		33	
	4	5.040	3.865	19.480	4800	2182	112.005		9	
	5	5.050	3.880	19.594	5820	2645	135.014		40	
<b>PROMEDIO POR CEPILLADO</b>							<b>133.133</b>	<b>28</b>		

C<sub>Z</sub> : Cizallamiento  
M<sub>F</sub> : Madera fallada

PINO CHUNCHO

CEPILLADO ORTOGONAL ( A )

RD	1A - 1	5.050	3.880	19.594	3820	1736	88.617	79.832	8	49
	2	5.060	3.890	19.683	2480	1127	57.270		6	
	3	5.065	3.890	19.703	4130	1877	95.279		60	
	4	5.050	3.875	19.569	3690	1677	85.712		34	
	5	5.070	3.880	19.672	4440	2018	102.594		51	
	3A - 1	5.060	3.870	19.582	3600	1636	83.564		70	
	2	5.040	3.900	19.656	2350	1068	54.344		71	
	3	5.050	3.890	19.645	2910	1323	67.333		43	
	4	5.025	3.870	19.447	3220	1464	75.264		71	
	5	5.045	3.855	19.448	3780	1718	88.345		75	
TG	5A - 1	5.040	3.910	19.706	5280	2400	121.788	98.871	13	18
	2	5.050	3.885	19.619	5420	2464	125.572		22	
	3	5.060	3.880	19.633	3480	1582	80.570		18	
	4	5.050	3.900	19.695	3320	1509	76.623		31	
	5	5.050	3.915	19.771	3560	1618	101.138		20	
	6A - 1	5.000	3.880	19.400	3640	1655	85.286		38	
	2	5.000	3.865	19.325	4120	1873	96.907		0	
	3	5.000	3.860	19.300	3210	1459	75.601		4	
	4	5.020	3.870	19.427	4300	1955	100.608		10	
	5	5.020	3.800	19.076	5230	2377	124.621		25	
OB	8A - 1	5.075	3.880	19.691	4910	2232	113.342	110.539	23	21
	2	5.055	3.900	19.715	4370	1986	100.756		25	
	3	5.065	3.880	19.652	4680	2127	108.246		15	
	4	5.055	3.880	19.613	4640	2109	107.533		33	
	5	5.045	3.915	19.751	4680	2127	108.246		26	
	9A - 1	5.050	3.920	19.796	5350	2432	122.844		11	
	2	5.050	3.950	19.948	4640	2109	105.732		9	
	3	5.040	3.900	19.656	4480	2036	103.600		60	
	4	5.060	3.860	19.532	4950	2250	115.198		0	
	5	5.055	3.915	19.790	5220	2373	119.893		11	
PROMEDIO POR CEPILLADO							96.414	30		

C<sub>Z</sub> : Cizallamiento

M<sub>F</sub> : Madera fallada

**CEPILLADO PERIFÉRICO (B)**

RD	11B - 1	5.025	3.850	19.346	3270	1486	76.830	80.434	18	16
	2	4.990	3.860	19.261	3330	1514	78.584		12	
	3	5.010	3.870	19.389	3630	1650	85.101		10	
	4	5.000	3.900	19.500	3270	1486	76.224		23	
	5	5.025	3.920	19.698	2450	1114	56.536		30	
	12B - 1	5.030	3.875	19.491	3870	1759	90.250		16	
	2	5.040	3.880	19.555	3540	1609	82.285		11	
	3	5.040	3.880	19.555	4010	1823	93.209		17	
	4	5.025	3.900	19.598	4090	1859	<b>94.864</b>		6	
	5	5.025	3.890	19.547	3030	1377	70.459		20	
TG	14B - 1	5.015	3.900	19.559	5120	2327	118.990	131.723	48	22
	2	5.015	3.925	19.684	6470	2941	149.407		40	
	3	5.000	3.900	19.500	6450	2932	<b>150.350</b>		11	
	4	5.000	3.900	19.500	6050	2750	141.026		21	
	5	5.025	3.930	19.748	5680	2582	130.737		18	
	15B - 1	5.050	3.920	19.796	3770	1714	86.565		6	
	2	5.040	3.880	19.555	5740	2609	133.422		13	
	3	5.030	3.920	19.718	5840	2655	134.628		19	
	4	5.030	3.910	19.667	6350	2886	146.760		16	
	5	5.025	3.920	19.698	5400	2455	125.344		30	
OB	16B - 1	5.035	3.930	19.788	4220	1918	96.939	104.625	6	27
	2	5.030	3.890	19.567	4380	1991	101.750		20	
	3	5.020	3.900	19.578	4920	2236	<b>114.228</b>		14	
	4	5.030	3.880	19.516	4770	2168	111.095		65	
	5	5.010	3.900	19.539	4200	1909	106.003		28	
	18B - 1	5.035	3.860	19.435	4110	1868	96.124		11	
	2	5.035	3.910	19.687	4450	2023	102.745		39	
	3	5.015	3.910	19.609	4650	2114	107.791		31	
	4	5.030	3.870	19.466	4810	2186	112.316		14	
5	5.035	3.880	19.536	4180	1900	97.257	40			
<b>PROMEDIO POR CEPILLADO</b>							<b>105.594</b>	<b>22</b>		

C<sub>Z</sub> : Cizallamiento  
M<sub>F</sub> : Madera fallada

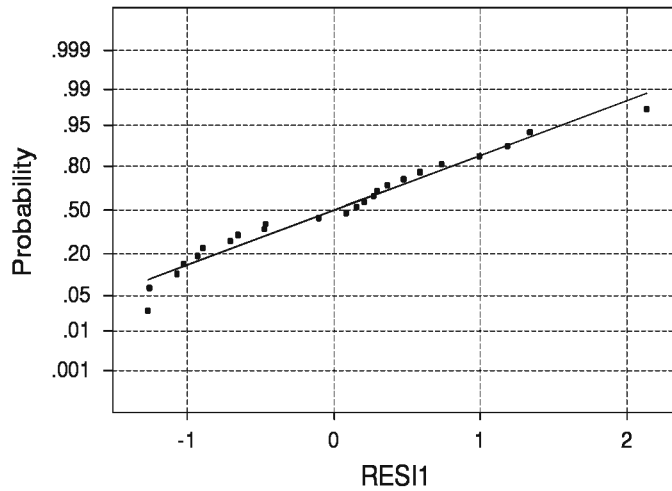
# ANEXO 7

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO RUGOSIDAD

YANAVARA

PRUEBA ANDERSON – DARLING

prueba de normalidad



Average: -0.0000000  
StDev: 0.901616  
N: 24

Anderson-Darling Normality Test  
A-Squared: 0.315  
P-Value: 0.521

Promedio	7.89	12.73
Desviación estándar	0.902	1.794
Observaciones	72	72
Nivel de significación	0.05	0.05
A- cuadrado	0.315	0.266
P- value	0.521	0.672
<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>ACEPTA</b>	<b>ACEPTA</b>

*ANALISIS DE VARIANCIA (ANVA)*

Cepillado	1.0000	3.8190	3.8190	3.6800	0.0710
Plano de corte	2.0000	5.9100	2.9550	2.8400	0.0840
Cepillo * plano de corte	2.0000	1.3320	0.6660	<b>0.6400</b>	<b>0.5380</b>
Error	18.0000	18.6970	1.0390		
Total	23.0000	29.7570			

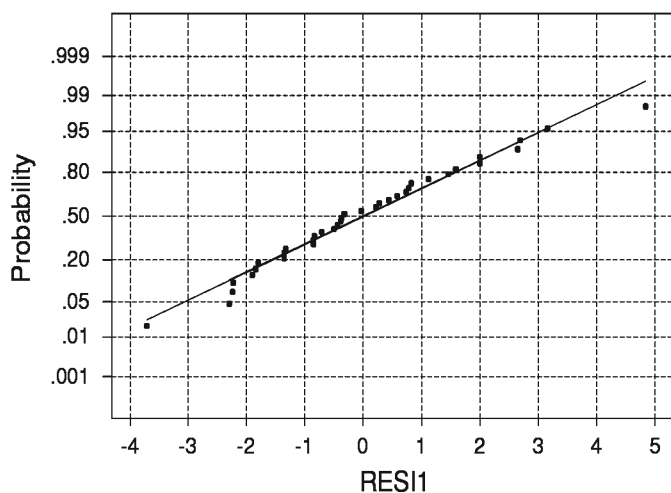
*ANVA DE EFECTOS SIMPLES*

Cepillado (plano RD)	1.0000	1.0940	1.0940	1.0532	0.3184	4.4139
Cepillado (plano TG)	1.0000	0.1271	0.1271	0.1224	0.7306	4.4139
Cepillado (plano OB)	1.0000	3.9293	3.9293	3.7829	0.0676	4.4139
Plano de corte (cepillado ortogonal)	2.0000	4.0143	2.0072	1.9323	0.1737	3.5546
Plano de corte (cepillado periférico)	2.0000	3.2270	1.6135	1.5534	0.2386	3.5546
Error	18.0000	18.6970	1.0387			

*PINO CHUNCHO*

**PRUEBA ANDERSON DARLING**

prueba de normalidad



Average: -0.0000000  
 StDev: 1.79371  
 N: 36

Anderson-Darling Normality Test  
 A-Squared: 0.266  
 P-Value: 0.672

**ANALISIS DE VARIANCIA**

cepillo2	1.0000	17.6820	17.6820	4.7100	0.0380
Plano de corte	2.0000	45.9500	22.9750	6.1200	0.0060
cepillo2* Plano de corte	2.0000	33.4020	16.7010	<b>4.4500</b>	<b>0.0200</b>
Error	30.0000	112.6090	3.7540		
Total	35.0000	209.6420			



ANVA DE EFECTOS SIMPLES

Cepillado (Plano RD)	1.0000	19.7078	19.7078	5.2498	0.0291
Cepillado (Plano TG)	1.0000	5.1745	5.1745	1.3784	0.2496
Cepillado (Plano OB)	1.0000	26.2010	26.2010	6.9795	0.0130
Plano de corte (cepillado ortogonal)	2.0000	78.3340	39.1670	10.4334	0.0004
Plano de corte (cepillado periférico)	2.0000	1.0173	0.5086	0.1355	0.8738
Error	30.0000	112.6090	3.7540		

PRUEBA TUKEY : PARA EL FACTOR B (PLANO DE CORTE) EN A1(CEPILLADO ORTOGONAL)

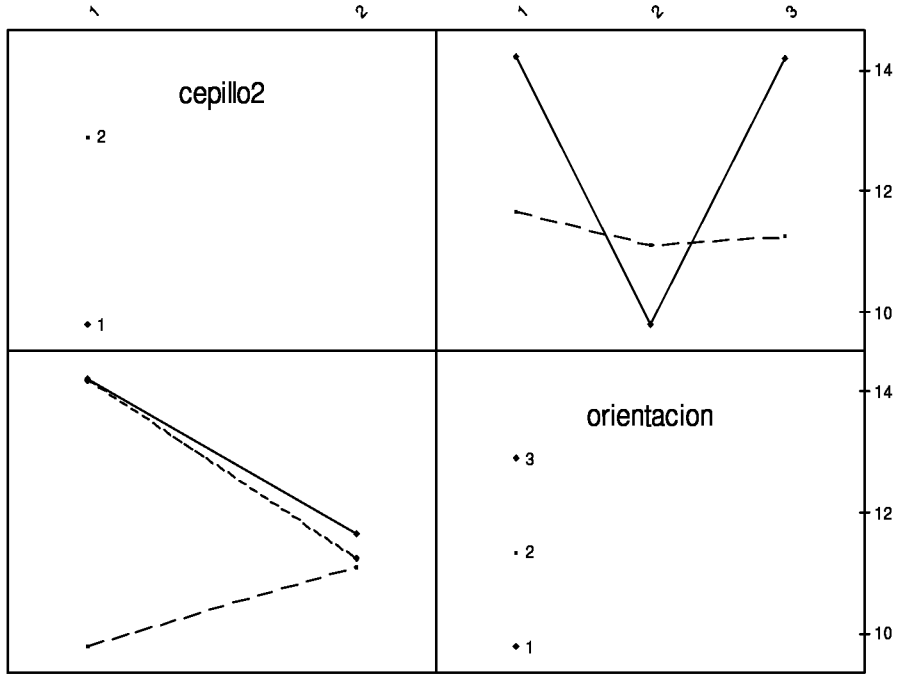
$\mu_1 - \mu_2$	4,43722	2,7576	*
$\mu_1 - \mu_3$	0,02389	2,7576	n.s
$\mu_2 - \mu_3$	4,41333	2,7576	*

N.S = NO SIGNIFICATIVO

\* = SIGNIFICATIVO

GRAFICO DE COMPARACIONES MULTIPLES

grafico de interacion



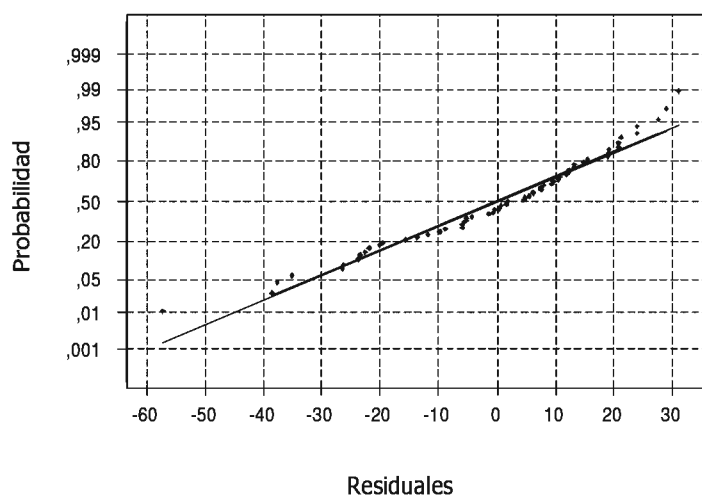
## ANEXO 8

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO EN LA LINEA DE COLA

YANAVARA

*PRUEBA ANDERSON - DARLING*

#### PRUEBA DE NORMALIDAD



Promedio	115.627	133.133	96.414	105.594
Desviación estándar	26	20	22	26
Observaciones	30	30	30	30
Nivel de significación	0.05		0.05	
A- cuadrado	0.693		0.396	
P- value	0.067		0.360	
Conclusión	ACEPTA		ACEPTA	

*ANALISIS DE VARIANCIA*

Factor A	1	4597.0	4597.0	11.91	0.001
Factor B	2	5941.7	2970.8	7.69	0.001
Factor A * factor B	2	4247.3	2123.6	<b>5.50</b>	<b>0.007</b>
Error	54	20850.2	386.1		
Total	59	35636.2			

*ANVA DE EFECTOS SIMPLES PARA YANAVARA*

Cepillado (Plano RD)	1	4633.1849	4633.1849	11.9995	0.0011
Cepillado (Plano TG)	1	4015.1786	4015.1786	10.3989	0.0021
Cepillado (Plano OB)	1	195.9375	195.9375	0.5075	0.4793
Plano de corte (cepillado ortogonal)	2	6875.0724	3437.5362	8.9029	0.0005
Plano de corte (cepillado periférico)	2	3313.9210	1656.9605	4.2914	0.0186
Error	54	20850.2000	386.1148		

NS = No significativo      \* = SIGNIFICATIVO

**PRUEBA TUKEY**

*COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA FACTOR B (PLANO DE CORTE) EN A1 (CEPILLADO ORTOGONAL)*

$\mu_1 - \mu_2$	24.25557	21.178	*
$\mu_1 - \mu_3$	36.41793	21.178	*
$\mu_2 - \mu_3$	12.16236	21.178	NS

NS = NO SIGNIFICATIVO      \* = SIGNIFICATIVO

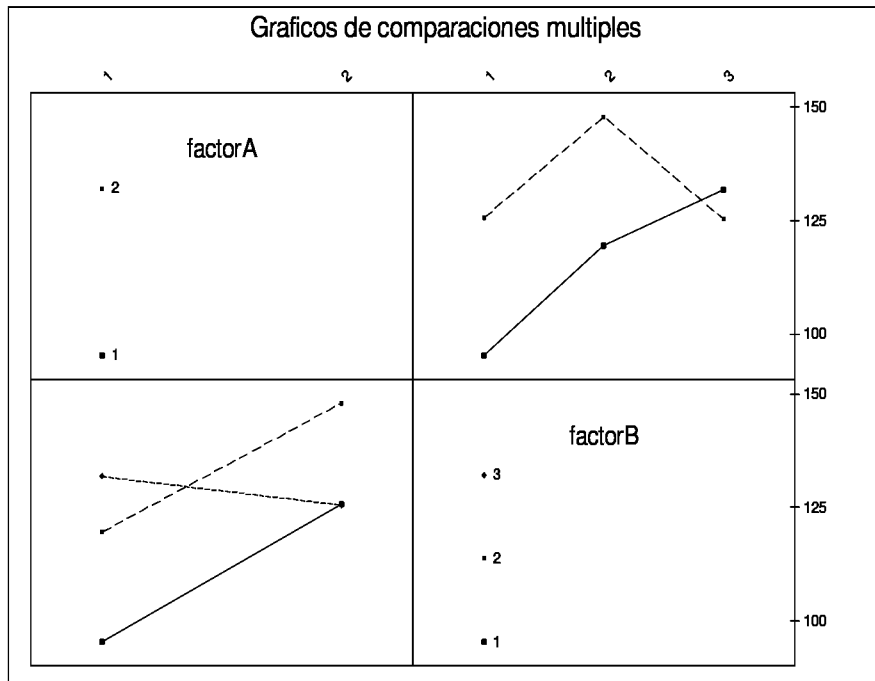
COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA EL FACTOR B (PLANO DE CORTE) EN A2 (CEPILLADO PERIFÉRICO)

$\mu_1 - \mu_2$	22.15274	21.178	*
$\mu_1 - \mu_3$	0.28277	21.178	N.S
$\mu_2 - \mu_3$	22.43551	21.178	*

NS = NO SIGNIFICATIVO

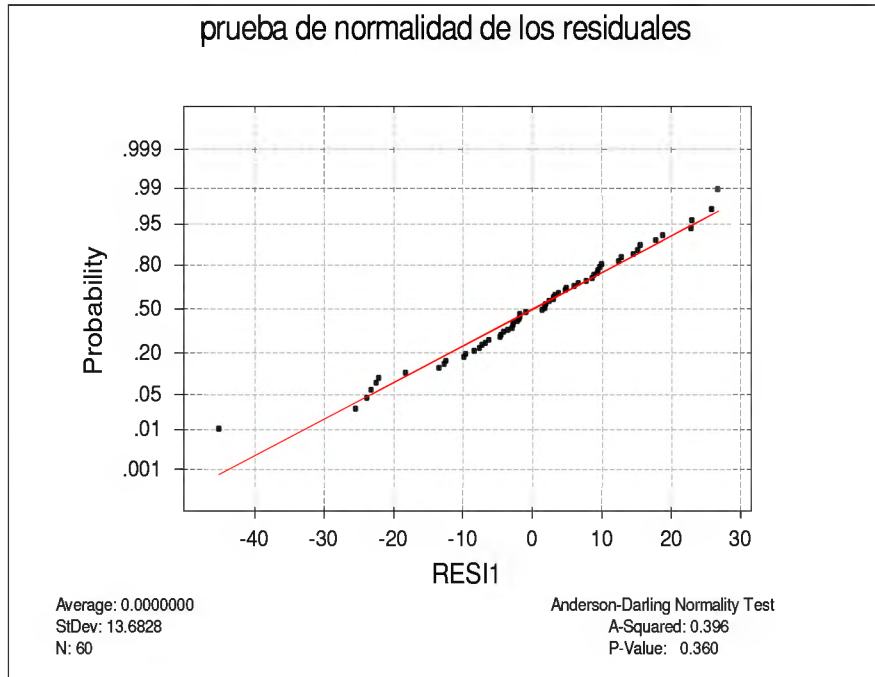
\* = SIGNIFICATIVO

GRAFICO DE COMPARACIONES MULTIPLES



## PINO CHUNCHO

### PRUEBA NORMALIDAD ANDERSON – DARLING



### ANALISIS DE VARIANCIA DE PINO CHUNCHO

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F -cal	P- value
Factor A	1	1271.2	1271.2	6.21	0.0160
Factor B	2	13652.8	6826.4	33.37	0.0000
Factor A * factor B	2	4297.0	2148.5	<b>10.50</b>	<b>0.0000</b>
Error	54	11046.0	204.6		
Total	59	30267.0			

ANVA DE EFECTOS SIMPLES PARA PINO CHUNCHO

Cepillado (Plano RD)	1.0000	1.8110	1.8110	0.0089	0.9252	NS
Cepillado (Plano TG)	1.0000	5396.0446	5396.0446	26.3794	0.0000	*
Cepillado (Plano OB)	1.0000	170.3229	170.3229	0.8326	0.3656	NS
Plano de corte (cepillado ortogonal)	2.0000	4783.2368	2391.6184	11.6918	0.0001	*
Plano de corte (cepillado periférico)	2.0000	13166.7271	6583.3636	32.1837	0.0000	*
Error	54.0000	11046.0000	204.5556			

NS = No significativo

\* = SIGNIFICATIVO

PRUEBA TUKEY

FACTOR B (PLANO DE CORTE) EN A1 (CEPILLADO ORTOGONAL)

$\mu_1 - \mu_2$	19.03920	15.415	*
$\mu_1 - \mu_3$	30.62925	15.415	*
$\mu_2 - \mu_3$	11.59005	15.415	NS

NS = NO SIGNIFICATIVO

\* = SIGNIFICATIVO

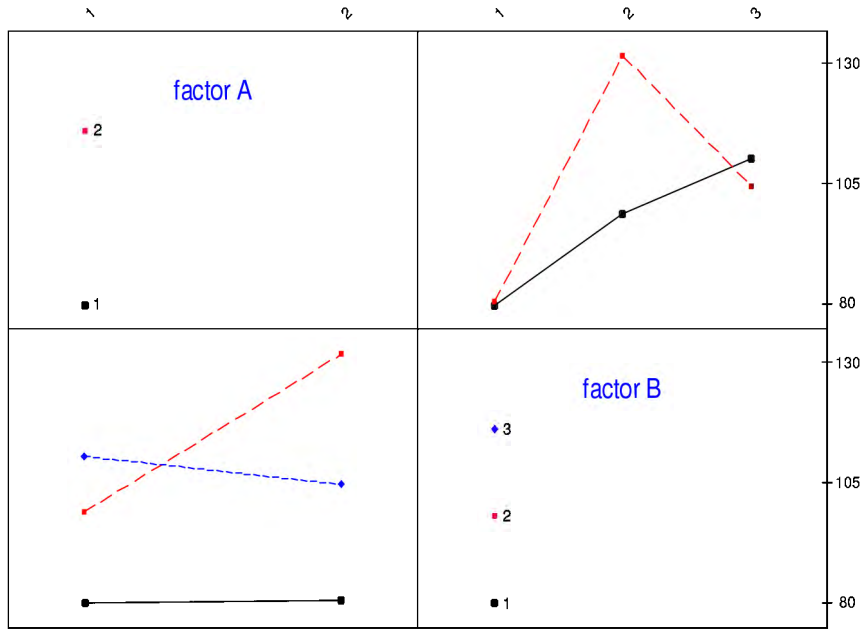
FACTOR B (PLANO DE CORTE) EN A1 (CEPILLADO PERIFERICO)

$\mu_1 - \mu_2$	51.28868	15.415	*
$\mu_1 - \mu_3$	24.19093	15.415	*
$\mu_2 - \mu_3$	27.09776	15.415	*

\* = SIGNIFICATIVO

GRAFICO DE COMPARACIONES MULTIPLES

Grafico de interaccion





## *ANEXO 9*

**NORMA ASTM 1084 : VISCOSIDAD DE ADHESIVO**



## Standard Test Methods for VISCOSITY OF ADHESIVES<sup>2</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 1084; 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 symbol (1) indicates an editorial change since the last revision or approval.

These methods have been approved for use by agencies of the Department of Defense to replace method 6011 of Federal Test Method Standard No. 778 and for listing in the last Index of Specifications and Standards.

<sup>1</sup> Form-System 2 was added editorially and subsequent sections renumbered in March 1982.

### 1. Scope

1.1 These test methods cover the determination of the viscosity of free-flowing adhesives. Four methods are covered, as follows:

1.1.1 *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 3.

1.1.2 *Method B* is intended for measuring the viscosity of adhesives covering a range from 50 to 200 000 cP and is limited to materials that have or approach Newtonian flow characteristics.

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

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

Note 1—For adhesives that do not exhibit Newtonian or near Newtonian flow characteristics, Test Method D 2336, should be considered.

### 2. Applicable Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

D88 Test Method for Saybolt Viscosity<sup>3</sup>

D115 Methods of Testing Varnishes Used for Electrical Insulation<sup>4</sup>

D342 Test Method for Consistency of Paints Using the Stormer Viscometer<sup>5</sup>

D1200 Test Methods for Common Properties of Certain Pigments<sup>6</sup>

D1543 Test Method for Viscosity of Transparent Liquids by Bubble Time Methods<sup>4,7</sup>

D1601 Test Method for Dilute Solution Viscosity of Ethylene Polymers<sup>8</sup>

D2256 Test Method for Breaking Load (Strength) and Elongation of Yarn by the Single Strand Method<sup>9</sup>

### METHOD A

#### 3. Apparatus

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

#### 4. Procedure

4.1 Bring the sample to be tested and the viscosity 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). 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

<sup>1</sup> These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D-14 on Adhesives and are the direct responsibility of Subcommittee D14.10 on Viscosity Properties. Current edition approved Nov. 11, 1981. Published January 1982. Originally published in D 1084 - 63. Last previous edition D 1084 - 60.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.04.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol. 10.11.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol. 08.01.

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol. 08.01.

<sup>6</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol. 08.01.

<sup>7</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol. 07.15.

<sup>8</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol. 07.15.

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.

### 5. Report

5.1 The report shall include the following:

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

5.1.2 Conditioning procedure used for samples prior to testing.

5.1.3 Number of tests made, and

5.1.4 Average consistency in seconds and the number of the viscosity cup used.

### METHOD B

### 6. Apparatus

6.1 *Viscometer*—The apparatus shall consist of a Brookfield synchroelectric viscosimeter, Model RVQ, RVF, MVO, or MVT, 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 shall not be used. To ensure uniform edge effects, a spindle guard and cylindrical calibration sleeve shall be used whenever the data are to be reported in centipoises. By mutual agreement the instrument may be used without the calibration sleeve or guard in a standard container such as a 1-qt paint can, or glass jar, but care must be taken to center the spindle in the container. Values obtained without the calibration sleeve shall be reported as apparent centipoises, and the container shall be completely described in the report.

6.2 *Thermometer*—A precision thermometer with graduations not greater than 0.2°C divisions.

### 7. Procedure

7.1 *Conditioning*—Bring the sample of the adhesive and the instrument to a temperature of  $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$  (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, they shall be specified in 7.1.2.

7.2 *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.

7.3 *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 engaging 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 retarding 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.

8. Calibration

8.1 When used for referee purposes, calibrate the instrument by measuring the viscosity of a standard oil,<sup>10</sup> 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

<sup>10</sup> Manufactured by the Eschschle Engineering Laboratories, Bingham, MA.

<sup>11</sup> Available from the Cannon Instrument Co., Box 16, State College, PA 16801.

calibration curve using at least two standard oils with viscosities on either side of the sample for the instrument.

## 9. Report

9.1 The report shall include the following:

- 9.1.1 Complete identification of the adhesive tested, including type, source, manufacturer's code numbers, form, date of test, date of manufacture, etc.,
- 9.1.2 Name and model number of the instrument used,
- 9.1.3 Number of the spindle used,
- 9.1.4 Speed used,
- 9.1.5 Conditioning procedure employed, including details of the container and time elapsed between various operations used in the preparation of the adhesive mix,
- 9.1.6 Temperature of the sample at the conclusion of the test,
- 9.1.7 Number of tests made, and
- 9.1.8 Viscosity in centipoises, together with the range of the observation in centipoises.

## METHOD C

### 10. Apparatus

10.1 *Viscometer*—The apparatus shall consist of a Stormer viscometer with double flag paddle-type rotor as specified in Test Method D 562, or an equivalent apparatus. The viscometer shall be in good repair and the spindle shall spin freely when started without the paddle.

10.2 *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.

10.3 *Thermometer*—A precision thermometer with graduations not greater than 0.2°C divisions.

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

### 11. Procedure

11.1 *Conditioning*—Bring the containers holding the samples to be tested and the paddle to be used to a temperature of  $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$  (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, they shall be specified in 12.1.2.

11.2 *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. The falling weight shall be 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 11.2. 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.

11.3 *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.

### 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, date of test, date of manufacture, etc.,
  - 12.1.2 Conditioning procedure employed, including time elapsed between various operations used in the preparation of the adhesive mix,
  - 12.1.3 Details of nonstandard containers, if used,
  - 12.1.4 Temperature of the sample at the conclusion of the test,
  - 12.1.5 Weight used,
  - 12.1.6 Number of tests made, and
  - 12.1.7 Average viscosity in seconds for 100 revolutions, together with the range of the observations.

NOTE 2—The limitation of this 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.

## METHOD D

### 13. Apparatus

13.1 The apparatus (Fig. 2) shall consist of a set of five Zahn viscosity cups<sup>10</sup> so designed as to

<sup>10</sup> Manufactured by the General Electric Co., West Lynn, MA.

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.

13.2 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, cP	Range, Zahn's
0.0788 (2.002)	20 to 85	40 to 85
0.1082 (2.748)	30 to 170	20 to 70
0.1487 (3.777)	170 to 550	25 to 60
0.1684 (4.277)	200 to 900	20 to 65
0.2072 (5.263)	250 to 1200 (and above)	15 to 60

### 14. Procedure

14.1 *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

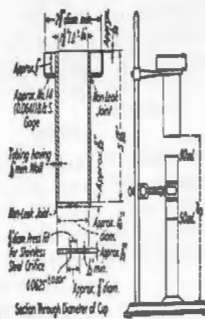
specified in 15.1.2.

14.2 *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 3). 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 sample and the number of the cup.

NOTE 3—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.

### 15. Report

- 15.1 The report shall include the following:
  - 15.1.1 Complete identification of the adhesive tested, including type, source, manufacturer's code numbers, form, date of test, date of manufacture, etc.,
  - 15.1.2 Conditioning procedure employed for samples prior to testing,
  - 15.1.3 Number of tests made, and
  - 15.1.4 Average viscosity in seconds and the number of the viscosity cup used.



NOTE 1—Four consistency cups constitute a set, as follows:

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

NOTE 2—Cups made of brass or bronze. Orifice disks made of 18 % chromium, 1 % nickel stainless steel. The diameter of the orifice pressed in the cup shall be stamped on the cup.

NOTE 3—Fractional dimensions subject to permissible variations of plus or minus 0.01 in., unless otherwise specified.

FIG. 1. Consistency Cup and Apparatus Assembly (Method A)