

CIZALLAMIENTO DE UNIONES ENCOLADAS CON RESORCINOL FORMALDEHIDO EN DOCE ESPECIES FORESTALES: ZONA DE PUCALLPA

Por: Ing. Alfonso López Mestanza¹

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar los esfuerzos en las uniones encoladas madera-madera, se seleccionó doce maderas del Bosque Nacional Alejandro von Humboldt, y cola de resorcinol-formaldehído. Con este material se efectuó pruebas de resistencia al cizallamiento, siguiendo las normas ASTM-D.905-(49).75.

Con los resultados se evaluaron las uniones encoladas, tomando como base una tabla de doble entrada: por un lado, la relación porcentual de resistencia de madera encolada a madera sólida, y por el otro, el porcentaje de madera sólida presente en la cara de falla. Se encontró uniones por lo menos buenas en "Charichuelo", "Chimicua", "Huayruro", "Huimba", "Palisangre", "Quina-quina", "Machimango-blanco", "Quinilla colorada", "Uchu mullaca" y "Yacushapana"; uniones regulares en "Estoraque" y malas en "Tahuarí". Finalmente, se calculó el esfuerzo básico de diseño para cada madera en condiciones de uso permanentemente secas.

SUMMARY'

In order to evaluate the strain in the wood to wood glued joints, there were selected. twelve woods from Alexander von Humboldt National Forest, and formaldehyde resorcynol glue. With this material, there were made several shear strain tests, following the standards from ASTM-D. 905-(49). 75.

With the results obtained, the glued joints were evaluated, with a double entrance table: in one side, the percentage ratio between the glued wood and the solid wood, and in the other side, the percentage of solid wood in the failure face. There were found joints at least good in "Charichuelo", "Chimicua", "Huayruro", "Huimba", "Palisangre", "Quina-quina", "Machimango blanco" "Quinilla colorada" "Uchumullaca" and "Yacushapana"; regular ones in "Estoraque" and bad ones in "Tahuarí".

Finally, it was calculated the strain basic design for each wood in conditions of use permanently dry.

INTRODUCCION

El Perú cuenta con grandes extensiones de bosques, de los cuales sólo se aprovecha, selectivamente, algunas especies maderables. Esta situación se debe, en parte, al desconocimiento de las propiedades de cada especie y a la falta de ensayos en técnicas de uso de la madera.

Una de las técnicas que se utiliza en el procesamiento de la madera lo constituyen los laminados encolados, con los cuales se logran las siguientes ventajas principales: utilizar maderas de dimensiones limitadas, seleccionar y distribuir la madera según los esfuerzos, limitar la acción de los

¹ Ing. Forestal, egresado UNA "La Molina".

Aceptado para su publicación el 3-9-84

defectos a la lámina que lo contiene y, principalmente, reducir el juego de la madera, ganándose mayor estabilidad.

El esfuerzo crítico en este tipo de laminados es el cizallamiento o corte de la línea de cola entre cada lámina; este esfuerzo se puede estimar mediante ensayos normalizados y se puede evaluar la unión, en general, por la combinación de los valores relativos de resistencia y la presencia de madera sólida en la cara de falla.

Con estos criterios, y con la finalidad de contribuir al conocimiento de las maderas peruanas, se seleccionó la cola de resorcinol formaldehído y doce maderas de la zona de Pucallpa; con este material se realizó una serie de ensayos, cuyos resultados se presentan más adelante.

Los criterios que se tomaron en cuenta para seleccionar las especies fueron los siguientes: mayor abundancia volumétrica relativa en el bosque; densidad de la madera por lo menos mediana, dificultad relativa para el clavado, facilidad relativa para trabajarlas, buena aceptación por el mercado.

La cola de resorcinol formaldehído, se escogió por el uso frecuente, en el país, en construcciones donde se requiere buena resistencia a la sollicitación de esfuerzos y buena estabilidad al cambio de temperatura y humedad, tal como sucede en embarcaciones, cubiertas laminadas y carpintería especial.

El principio básico que rige el estudio es que una unión encolada, con un adhesivo adecuado, puede mantener, por lo menos, la misma resistencia a los esfuerzos como la madera sólida misma.

REVISION DE LITERATURA

Chugg (7), Gillespi (S), Skeist (11), Yavorsky, Cunningham y Buddley (15, 16) sostienen que existen múltiples factores que afectan las propiedades físico-mecánicas y el comportamiento de una unión encolada; en resumen: propiedades físicas y mecánicas de la madera y el adhesivo, geometría de la unión, tecnología de encolado y condiciones ambientales de uso. El conocimiento individual o en conjunto de estos factores, no ofrece una certeza o grado de confiabilidad aceptable de la resistencia y el comportamiento de la unión, sino que es necesario efectuar muestreos experimentales con probetas estandarizadas y comparables.

Yavorsky, Cunningham y Buddley (15, 16), estudiando el modelo de pruebas de la ASTM (Sociedad Americana para Prueba de Materiales) Norma D-905(45) 75. (2), demostraron, mediante una laca quebradiza, la complejidad de la distribución de los esfuerzos en una unión encolada y concluyeron que la relación carga total sobre el área de carga debe tomarse como un criterio de la resistencia promedio y del comportamiento general de la unión, y no como el esfuerzo mismo de cizallamiento (corte).

Yavorsky, Aróstegui y Sato (14), en ensayos con *Tabebuia sp* ("Guayacán"), encontraron que el resorcinol formaldehído ofreció mayor resistencia en todos los tipos de ensamble ensayados, frente a la cola polivinílica, epóxica, caseínica, úrica y animal.

Takahashi (13), en ensayos con *Humiriastrum exelsum* Ducke ("Quinilla colorada") y cola de caseína, obtuvo valores cercanos a la madera sólida.

Acevedo (1) ensayando *Tabebuia capitata* ("Asta de venado") con resorcinol formaldehído, encontró valores muy cercanos a la madera sólida; además, determinó que no existen diferencias significativas entre encolados simple y doble.

En cuanto a los esfuerzos básicos de diseño, se calculan considerando un valor mínimo de resistencia, calculado estadísticamente a partir del promedio total, afectado por un factor de seguridad (4, 8).

MATERIALES Y METODOS

Madera

Se seleccionó doce maderas - Cuadro 1 - dentro de un grupo de 40 especies colectadas, según la norma ITINTEC. 251.008, por el proyecto "Estudio Tecnológico de Maderas del Perú", del Bosque Nacional - Alexander von Humboldt, zona de Pucallpa.

CUADRO1

RELACION DE ESPECIES ENSAYADAS

	Nombre Vulgar	Nombre Científico	Familia
1.	Charichuelo	<i>Rheedia</i> sp.	Guttiferae
2.	Chirnicua	<i>Pseudolmedia luevis</i> (R. y P.) Macbr.	Moraceae
3.	Estoraque	<i>Myroxylon peruiferum</i> L.	Papilionaceae
4.	Huayruro	<i>Ormosia schunkei</i> Ludd.	Papilionaceae
5.	Huimba	<i>Ceiba samauma</i> (Mart.) Schum.	Bombacaceae
6.	Machimango blanco	<i>Escheweiloro</i> sp.	Lecytidaceae
7.	Palisangre	<i>Pterocarpus</i> sp.	Papilionaceae
8.	Quinilla colorada	<i>Manilkara bidentata</i> (A.D C.) A. Chew	Sapotaceae
9.	Quina-quina	<i>Lucuma</i> sp.	Sapotaceae
10.	Tahuarí	<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahi.) Nicholson	Bignoniaceae
11.	Uchumullaca	<i>Trichilia</i> sp.	Meliaceae
12.	Yacushapana	<i>Terminalia oblonga</i> (R. y P.)Eichier in Mart.	Combretaceae

Se colectó cinco árboles por especie para obtener una probabilidad del 95% y un intervalo de confianza del 15% para los promedios.

La identificación botánica, así como los ensayos, se llevaron a cabo en los laboratorios del Programa Académico de Ciencias Forestales de la UNA "La Molina".

Cola

Se usó cola de resorcinol formaldehído (12) comercial. La preparación y mezcla se hizo según indicaciones del fabricante: cuatro partes de resina líquida más una parte de polvo catalizador.

Equipo

Se usó maquinaria común de carpintería, con herramientas en buenas condiciones. Para los ensayos se usó una prensa universal de ensayos mecánicos para madera, con capacidad de 60,000 libras, velocidad graduable y accesorios de cizallamiento.

Probeta

Las probetas de ensayo se confeccionaron de acuerdo a la Norma ASTM-D.905 (49) 75 y se obtuvieron de un listón encolado, tal como se muestra en la Fig. 1. El encolado del listón fue doble y la velocidad de carga de 0.38 mm/min ± 25 %.

Evaluación y Esfuerzo Básico de Diseño.

El análisis estadístico de los resultados se efectuó según Norma **COPANT 30:10.12.74 (5)**. La evaluación de la unión encolada se hizo mediante la tabla del Cuadro 2, en donde se combina la relación de resistencia de la unión encolada entre la resistencia de la madera sólida, expresada en porcentaje y la cantidad de madera sólida presente en la cara de falla, también expresada en porcentaje.

Los esfuerzos básicos de diseño se calcularon según las Normas **COPANT. 30: 1- 018 (6)**.

CUADRO 2
TABLA PARA EVALUACION DE UNIONES ENCOLADAS:RESISTENCIA RELATIVA VS. MADERA FALLADA, EN PORCENTAJES

Madera Fallada \ Resistencia Relativa	Excelente 91-100 %	Muy buena 81-90%	Buena 71-80%	Regular 61-70%	Mala = 60%
Excelente 81-100 %	Excelente	Excelente	Muy buena	Muy buena	Buena
Muy Buena 61-80 %	Excelente	Muy buena	Muy buena	Buena	Buena
Buena 41-60 %	Excelente	Muy buena	Buena	Regular	Regular
Regular 21-40 %	Muy buena	Muy buena	Regular	Regular	Mala
Mala = 20%	Muy buena	Buena	Regular	Mala	Mala

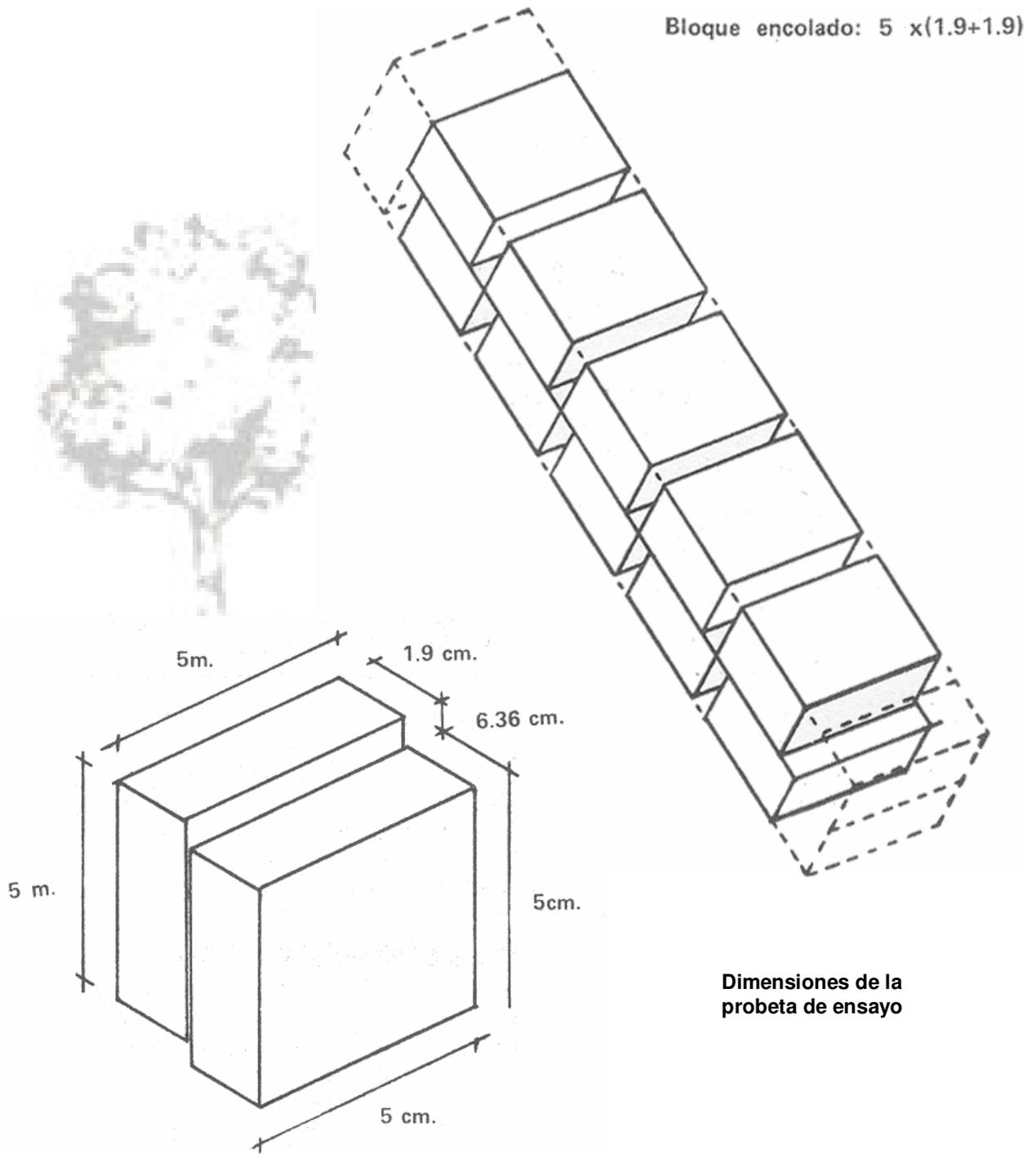


FIG. 1 Bloque encolado y probeta de ensayo

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 3 se resumen las condiciones bajo las cuales se desarrollaron las pruebas.

CUADRO 3
PROMEDIO DE LAS CONDICIONES GENERALES DE ENSAYO

Rubro	Unidades	Promedio
Temperatura Ambiental	°C	16
Humedad Relativa	%	78
Tiempo de Exposición (abierta)	Minutos	5
Tiempo de Ensamble (cerrada)	Minutos	16
Presión de Fragua	Kg/cm ²	10
Tiempo bajo Presión	Horas	21
Tiempo de Acondicionado	D ías	22
Velocidad de Carga	m m/Minutos	0,40
Extendido de la Cola	Centipoises	2.250
pH Inicial de la Cola	H	7,50
Contenido de Sólidos de la Cola	%	65

En el Cuadro 4 se presenta los resultados promedios correspondientes a la resistencia máxima a la carga de cizallamiento, al porcentaje de madera sólida presente en la cara y al contenido de humedad de las probetas al momento del ensayo. En el mismo cuadro se muestra el valor máximo y mínimo, y la marca de la clase modal encontrada para cada especie.

Este Cuadro 4 da una idea general de los resultados. Para el caso de la resistencia máxima, muestra que el promedio se aproxima, en todos los casos, a la clase modal y además cierta centralización del mismo entre el valor máximo y el mínimo. En el caso de la madera fallada, se observa, también, proximidad del promedio a la clase modal; pero ninguna centralización entre los valores máximo y mínimo.

Con la finalidad de medir la dispersión de los resultados individuales de resistencia y de porcentaje de madera fallada, alrededor de sus respectivos promedios, se calculó los coeficientes de variación que se observan en el Cuadro 5. Para la resistencia máxima al cizallamiento, se calculó el coeficiente de variación entre y dentro de los árboles, además del total; para el porcentaje de madera fallada, sólo el coeficiente de variación total, esto en razón a la mayor importancia estadística del primer parámetro.

De acuerdo con el Cuadro 5, el coeficiente de variación total de la resistencia máxima al cizallamiento indica una dispersión baja, no mayor del 19%, en todos los casos; en cambio, el coeficiente de variación total del porcentaje de madera fallada indica gran dispersión, mayor del 20%, en la mayoría de las maderas, a excepción del "Charichuelo", "Huayruro" y "Huimba", cuyos coeficientes de variación total son menores que 13%.

El análisis de variancia correspondiente a los promedios de la resistencia al cizallamiento de los cinco árboles se incluye también en el Cuadro 5 y se deduce con estos cálculos que hubo diferencia significativa, con 95% de probabilidad, entre los promedios de resistencia al cizallamiento entre los cinco árboles, excepto para el "Huayruro" y el "Palisangre". Esta variabilidad significativa, estadísticamente calculada, se debería a los factores que se mencionaron en la revisión de literatura. Para determinar certeramente el origen de esta variabilidad y disminuir la diferencia significativa se deberá efectuar ensayos adicionales, controlando una o más variables en la toma de muestra y/o tecnología de encolado y/o preparación de la cola u otros.

CUADRO 4
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CIZALLAMIENTO DE LA LINEA DE COLA EN LAS DOCE ESPECIES

Nombre vulgar	RESISTENCIA MAXIMA (Kg/cms ²)				FALLA DE MADERA				Contenido de humedad promed.
	Promedio	Mínimo	Máximo	M.clase modal	Promedio	Mínimo	Máximo	M.clase modal	
1 Charichuelo	154	102	182	175,5	97	70	100	95,50	14,50
2 Chemicua	180	116	216	190,5	74	5	100	25,50	14,50
3 Estoraque	236	177	279	230,5*	46	1	100	0,50	13,60
				250,5					
				270,5					
4 Huayruro	122	90	143	115,0	95	55	100	95,50	13,1
5 Huimba	111	87	142	125,5	94	50	100	95,50	13,90
6 Machimango blanco	188	157	224	175,5*	84	10	100	95,50	13,90
				195,5					
7 Palisangre	197	155	237	195,5	87	0	100	95,50	13,90
8 Quinilla colorada	218	175	260	215,5	51	0	100	5,00	11,10
9 Quina-quina	181	135	220	205,5	76	0	100	95,50	13,60
10 Tahuari	214	130	262	230,0	39	0	100	5,00	13,50
11 Uchumullaca	177	119	217	170,5	70	10	100	95,5*	15,70
								55,50	
12 Yacushapana	156	119	184	145,0	87	25	100	95,50	14,10

* Casos en que se presenta más de una clase modal

La evaluación final de las uniones encoladas se realizó utilizando la tabla del Cuadro 2. Los resultados se muestran en el Cuadro 6, del cual se concluye que se obtuvo uniones excelentes en "Machimango blanco", "Quinilla colorada", "Uchumullaca" y "Yacushapana"; uniones buenas en "Charichuelo", "Chimicua", "Huayruro", "Huimba", "Palisangre" y "Quina-quina"; uniones regulares en "Estoraque" y uniones malas en "Tahuari".

Como corolario de estos ensayos se calculó los esfuerzos básicos unitarios de diseño para las doce maderas y la cola de resorcynol.

Los resultados se presentan en el Cuadro 7.

La fórmula utilizada es la siguiente:

$$Ebu = \frac{X - t_{(K-1)} \left[\frac{S_1}{N} \right]}{Fr}$$

En donde se observa el promedio total de resistencia al cizallamiento minimizado estadísticamente mediante el valor tabular 't' de Student para K=4 grados de libertad (5 árboles), la desviación estándar entre árboles, el número total de probetas, y afectado por un factor de reducción asumido $Fr = 2.25$, por carga a largo tiempo, sobrecarga a corto tiempo y por condiciones de ensayo.

Es evidente que estos valores son consecuencia de la técnica de encolado y condiciones de la madera y cola preparada para estas pruebas, por lo tanto, se debe considerar precauciones adicionales si las condiciones de fabricación de productos enviados varían.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las pruebas estandarizadas han permitido estimar los esfuerzos de resistencia a las cargas de cizallamiento, evaluar la unión encolada, calcular los esfuerzos básicos de diseño y comparar los resultados de las doce maderas.
- La calidad de la unión fue determinada por la combinación de la resistencia y la falla de madera, mediante una tabla para evaluación preparada para este propósito.

Se encontró uniones encoladas por lo menos buenas en: "Charichuelo", "Chimicua", "Huayruro", "Huimba", "Palisangre", "Quina-quina", "Machimango blanco", "Quinilla colorada", "Uchumullaca" y "Yacushapana"; uniones regulares en "Estoraque" y malas en "Tahuari".

- Los esfuerzos básicos de diseño, incluyen las variaciones estadísticas calculadas para cada madera, y son utilizables para calcular los esfuerzos de trabajo para condiciones permanentemente secas, bajo las condiciones de fabricación iguales a las de este trabajo.
- Se recomienda continuar con otros ensayos similares controlando las posibles fuentes de variación, tales como calidad de madera y/o técnica de encolado y/o preparación de la cola.

CUADRO 5

PROMEDIO, COEFICIENTES DE VARIACION Y PRUEBA DE "F" DE LOS RESULTADOS

Nombre Vulgar	RESISTENCIA MAXIMA							FALLA DE MADERA	
	Promedio Kg/cm ²	Coeficiente Variación (%)			Prueba de Fisher (%)			Promedio %	C.V.TOTAL %
		Dentro árboles	Entre árboles	Total	"F" Calculado	"F" Tabulada	Significación		
1. Charichuelo	154	10,8	28,6	15,9	8,10	2,87	Si	97	6,7
2. Chirnicua	180	13,3	24,0	15,6	3,27	2,87	Si	74	43,5
3. Estoraque	236	6,4	29,5	13,4	21,36	2,87	Si	46	71,6
4. Huayruro	122	12,1	17,1	13,0	2,01	2,87	No	95	12,5
5. Huimba	111	11,2	28,7	15,5	6,58	2,87	Si	94	15,2
6. Machimangoblanco	188	7,8	21,9	10,0	20,09	2,87	Si	84	31,0
7. Palisangre	197	10,0	13,2	10,6	1,74	2,87	No	87	34,0
8. Quinilla colorada	218	7,8	14,1	9,2	3,23	2,87	Si	50	84,8
9. Quina-quina	181	16,5	29,7	19,3	3,25	2,87	Si	76	37,1
10. Tahuarí	214	19,8	26,5	14,6	6,02	2,87	Si	39	105,0
11. Uchumullaca	177	8,3	28,5	13,9	11,90	2,87	Si	70	37,8
12. Yacushapana	156	8,2	17,5	10,3	4,63	2,87	Si	87	23,7

CUADRO 6 EVALUACION DE LAS UNIONES ENCOLADAS

Nombre vulgar	Resistencia al Cizallamiento			Falla de madera	Calificación
	Madera sólida S.A.(*)	Madera encolada	Relación porcentual		
	Kg/cms2	Kg/cms2	%	%	
1. Charichuelo	269	154	57	97	Buena
2. Chemicua	328	180	55	74	Buena
3. Estoraque	356	236	66	46	Regular
4. Huayruro	220	122	55	95	Buena
5. Huimba	186	111	60	94	Buena
6. Machimango blanco	138	188	136	84	Excelente
7. Palisangre	333	197	59	87	Buena
8. Quinillacolorada	156	218	139	51	Excelente
9. Quina-quina	351	181	52	76	Buena
10. Tahuarí	370	214	58	39	Mala
11. Uchumullaca	147	177	120	70	Excelente
12. Yacushapana	121	156	128	87	Excelente

CUADRO 7

ESFUERZOS BASICOS DE DISEÑO PARA CIZALLAMIENTO DE LAS UNIONES ENCOLADAS EN LAS MADERAS ENSAYADAS

Nombre Vulgar	Calificación de las uniones	Esfuerzo básico de cizallamiento
1. Charichuelo	Buena	58 Kg/cm ²
2. Chemicua	Buena	69 Kg/cm ²
3. Estoraque	Regular	88 Kg/cm ²
4. Huayruro	Buena	49 Kg/cm ²
5. Huimba	Buena	41 Kg/cm ²
6. Machimango blanco	Excelente	47 Kg/cm ²
7. Palisangre	Buena	81 Kg/cm ²
8. Quinilla colorada	Excelente	57 Kg/cm ²
9. Quina-quina	Buena	66 Kg/cm ²
10. Tahuari	Mala	81 Kg/cm ²
11. Uchumullaca	Excelente	59 Kg/cm ²
12. Yacushapana	Excelente	42 Kg/cm ²

LITERATURA CITADA

1. ACEVEDO, MOISES, Propiedades Físico Mecánicas y Resistencia al Cizallamiento de la Línea de Cola de la *Tabebuia capitata* (Bur. y Sch.) Sand. Tesis Ing. Forestal. Programa Académico de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria de La Molina. Lima, 1973. 120 pp.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (ASTM). Standard Properties of Adhesives in Shear by Compression Load. ASTM. Standard on Adhesives Designation D. 905.49. Phyladelphia. 1975.
3. AROSTEGUI, ANTONIO. Estudio Tecnológico de Maderas del Perú. Zona de Pucallpa. Vol. I, II, III. Universidad Nacional Agraria de la Molina - Ministerio de Agricultura. Departamento de Industrias Forestales. Lima 1975.
4. BOOTH, L.G. y REEGE, P.O. The Structural Use of Timber. (A commentary on the British Standard Code of Practice C.P. 112) E. and F. N. Spon Ltd. London. -1967. 287 pp.
5. COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS (COPANT). Maderas. Método para realizar el análisis estadístico de las propiedades de las maderas. Anteproyecto de Norma COPANT 30: 1-012 Mayo 1974. 6 pp.
6. COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS (COPANT). Maderas. Método para determinar los Esfuerzos Básicos Unitarios. Proyecto de Norma COPANT 30: 1-018. Mayo 1974. 6 pp.
7. CHUGG, W.A. GLULAM. The Theory and Practice of the Manufacture of Glued Laminated Timber Structures. Ernest Been Limited. London. 1964. 420 pp.
8. GILLESPI, R. y RIVER, B.H. Elastomeric Adhesives in Building Research: October/December 1972, USDA. Forest Products Laboratory. Washington. 23 pp.

9. INSTITUTO DE INVESTIGACION TECNOLOGICA INDUSTRIAL Y DE NORMAS TECNICAS (ITINTEC). Maderas. Selección y Colección de Muestras. Proyecto de Normas ITINTEC:251.008. Lima. Perú. Octubre de 1971. 12 pp.
10. INSTITUTO DE INVESTIGACION TECNOLOGICA INDUSTRIAL Y DE NORMAS TECNICAS.- (ITINTEC). Maderas. Método de determinación de Cizallamiento Paralelo al Grano. Proyecto de Norma ITINTEC. 251.013. Lima. Perú. Octubre de 1971.
11. SKEIST, IRVING. Manual de Adhesivos. Cía. Edit. Continental S.A. México. 1966. 644 pp.
12. SLOOTEN, H.J. van der. Investigation of Six Phenol- Resorcinol- Formaldehyde and Resorcinol-Formaldehyde Adhesives. Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Mérida. Venezuela. 1963. 19 PP.
13. TAKAHASHI, LUIS. Resistencia al Cizallamiento de la Línea de Cola de Caseína en Quinilla colorada "**Humirastrum exclsum**". Revista Forestal del Perú. Instituto de Investigaciones Forestales. Vol. 1, Torno 2. 1967.
14. YAVORSKY J., AROSTEGUI, A. y SATO, A. Revista Forestal de; Perú. Instituto de Investigaciones Forestales. Vol. 1. Tomo 1. 1967.
15. YAVORSKY, J. y CUNNINGHAM, J. H. Strain distribution in Maple glue block shear specimen as indicate by brittle lacquer. Forest Products Journal. Vol. 1:80-84 pp. 1955.
16. YAVORSKY J. y CUNNINGHAM, J.H. y BUDLEY, N.G. Survey of Factors affecting Strength Test of glue joints. Forest Products Journal. 1955. pág.: 306-311. Madison, Wisconsin.

