

VALORES DE DISEÑO EN UNIONES EMPERNADAS A DOBLE CIZALLAMIENTO DE SIETE ESPECIES FORESTALES APTAS PARA LA CONSTRUCCIÓN

Wilder Valenzuela Andrade¹

RESUMEN

Se determinaron valores de diseño para uniones estructurales empernadas con 3 elementos actuando a doble cizallamiento, cargas paralela y perpendicular, en madera en condición húmeda, de las siguientes especies: almendro (*Caryocar coccineum* Pilger), cachimbo (*Cariniana domesticata* Mart.), chimicua (*Pseudolmedia laevis* March), diablo fuerte (*Podocarpus oleifolius* D. Don in Lambert), manchinga (*Brosimum uleanum* Mildbr), pumaquiro (*Aspidosperma macrocarpon* Mart) y tornillo (*Cedrelinga catenaeformis* Ducke) pruebas se efectuaron siguiendo normas ASTM.

La evaluación se efectuó comparando los resultados obtenidos con rangos de clasificación de uniones empernadas en maderas peruanas y con los valores de uniones del pino oregón (*Pseudotsuga menziessii* (Mirb) Franco).

Las especies estudiadas tienen buena aptitud de uso en uniones empernadas resaltando el tornillo y el cachimbo.

SUMMARY

The design value was determined for a three member joint with bolt acting in double shear, parallel and perpendicular to grain in unseasoned wood for the following species: almendro (*Caryocar coccineum* Pilger), cachimbo (*Cariniana domesticata* Mart.), chimicua (*Pseudolmedia laevis* March), diablo fuerte (*Podocarpus oleifolius* D. Don in Lambert), manchinga (*Brosimum uleanum* Mildbr), pumaquiro (*Aspidosperma macrocarpon* Mart) and tornillo (*Cedrelinga catenaeformis* Ducke). The test was made in accordance with ASTM standards.

The evaluation was made taking into account, the Peruvian ranges classifications and comparisons with the Douglas fir (*Pseudotsuga menziessii* (Mirb) Franco).

The studied species have a good quality for use in structural joints with bolt in particular tornillo and cachimbo.

INTRODUCCION

El empleo adecuado, y en gran volumen, de la madera como material de construcción, en casas y en otros tipos de ambientes puede ayudar a solucionar el problema tan agobiante del déficit de viviendas, debido a su abundancia, diversidad de especies y adecuadas aptitudes de uso múltiple en la construcción, por sus buenas características técnicas.

La casa de madera o en base a madera está básicamente constituida por una parte estructural, la carpintería de obra y las instalaciones de servicio.

¹ Profesor Auxiliar – Departamento Académico de Industrias Forestales.
Universidad Nacional Agraria, La Molina.

La resistencia y la estabilidad de una estructura de madera dependen directamente del tipo de elemento de unión con el que se juntan o ensamblan sus partes. Es notoria la facilidad que ofrece la madera para la fabricación de diferentes tipos de estructuras; sin embargo, es necesario conocer las características propias de este material, las cuales tienen incidencia en sus usos como elemento estructural. Entre estas características, son fundamentales las uniones en distintos elementos de ensamble -como pernos, clavos, cola, etc.- a un contenido de humedad dado y, por otra parte, como información complementaria, la relación densidad-resistencia y estructura anatómica.

En el presente estudio, llevado a cabo en la Universidad Nacional Agraria La Molina, Departamento de Industrias Forestales, se determinaron los valores de diseño de uniones emperradas a doble cizallamiento de la madera de siete especies forestales aptas para la construcción: almendro, cachimbo, chimicua, diablo fuerte, manchinga, pumaquiro y tornillo.

Los valores de diseño fueron determinados a partir de ensayos de uniones emperradas a doble cizallamiento con cargas paralela y perpendicular y con tres tipos de relaciones de diámetro del perno y espesor del elemento central de unión. Las repeticiones fueron dos para cada tipo de carga y cada relación y con 10 árboles por especie; se siguió la Norma ASTM D1 761-74 (2).

REVISIÓN DE LITERATURA

Consideraciones Generales.- En estudios realizados en la Universidad Nacional Agraria, determinaron los valores de diseño de 13 especies forestales, entre ellas la chimicua y manchinga. Se encontró que ambas especies, tienen altos valores de diseño (22).

Arrué (4) determinó los valores de diseño del tornillo. Trayer (19), uno de los iniciadores de estos tipos de ensayos, señala las consideraciones básicas, fundamentalmente en uniones a doble cizallamiento y cargas paralela y perpendicular. Indica las relaciones que deben existir entre los miembros de la probeta y el elemento de unión caracterizándolas como L/D (L = espesor del elemento central de la probeta y D = diámetro del perno). Precisa, además, el proceso para la determinación del esfuerzo básico y de los valores de diseño, El Wood Hand Book (24) expone detalles de las influencias de factores externos e internos en estos tipos de uniones.

El Timber Construction Manual (1) analiza la influencia de factores como sección neta, cargas permisibles, modo de obtenerlas y presenta coeficientes de ajuste para los valores de ensayos en uniones emperradas, por influencia del contenido de humedad, tipo de unión y duración de carga. Presenta además valores de diseño de diferentes especies de zonas templadas.

En el Timber Design Manual (15), se encuentran consideraciones sobre pernos colocados excéntricamente y los factores de ajuste por condiciones de servicio, tratamiento preservador y duración de carga.

Las Normas Canadienses (8) consideran como variables importantes la condición de madera en servicio, los planos de cizallamiento, el espaciamiento de pernos y precisa el método para determinar las cargas permisibles.

El Timber Design and Construction Hand Book (20) señala que las uniones emperradas tienen mayor eficiencia con pernos largos que cortos; indica la influencia que tienen los agujeros por donde atraviesan los pernos, mencionando que éstos deben ser de $1/32"$ a $1/16"$ mayor que el del diámetro del perno a usar. Lee (16) señala que debe tenerse en consideración la variabilidad de espesores en

los miembros de las uniones. Así como la National Design Specifications (17) indica la influencia de las cargas, según sean cargas paralelas o perpendiculares al grano, en las uniones.

Entre otros autores que analizan y precisan consideraciones que deben tenerse en cuenta en uniones de madera con pernos, se pueden citar a Hansen (12), Parker (18), Normas Brasileñas (5), Normas Británicas (6), Garrat (11) y Hoyle (13).

Consideraciones Específicas.- Factores que afectan las uniones empernadas.

Madera.- Material orgánico, anisótropo de alta resistencia en relación a su baja densidad, heterogéneo incluso dentro de una misma especie, lo cual exige realizar estudios prolijos y con adecuado número de repeticiones para obtener información confiable.

Densidad.- En general, la resistencia está en relación directa con la densidad que presente la madera, de la especie (24) (19) (20).

Contenido de humedad.- Es importante tener en cuenta este factor, toda vez que el contenido de humedad influye en la resistencia de la madera (20) (24); es necesario considerar las condiciones de servicio; en el Cuadro 1 se presentan valores de ajuste, según sea el caso.

CUADRO 1. COEFICIENTE DE AJUSTE DE VALORES DE DISEÑO DE UNIONES EMPERNADAS, POR CONTENIDO DE HUMEDAD (9)

CONDICION DE LA MADERA		Coeficiente de ajuste del valor de diseño de la unión.
Cuando es instalada	En servicio	
Húmeda (superior al punto de saturación de fibras (p.s.f.)	Seca	1.00
Parcialmente húmeda (20% C.H. al p.s.f.)	Seca	1.00
Seca o húmeda	Seca	1.00
Seca o húmeda	Expuesta a humedad (medio ambiente).	0.75
Seca o húmeda	Ambiente siempre húmedo.	0.67

Dirección de Carga.- Por lo general, las tablas de diseño son para cargas paralela y perpendicular; si en servicio se requiere usar una unión en ángulo, se empleará la relación dada por Hankinson (8) (9) (12):

$$N = \frac{P \times Q}{P \sin^2 \theta + Q \cos^2 \theta}$$

En donde:

N = carga permisible por perno a ángulo cualquiera.

P = carga permisible en compresión paralela.

Q = carga permisible en compresión perpendicular.

O = ángulo cualquiera de unión.

Duración de carga.- Existe una influencia de la duración de carga sobre los valores de diseño Hoyle (13) analizó esta influencia así como Trayer (19). Se presentan los coeficientes de ajuste por duración de carga en el Cuadro 2.

CUADRO 2. COEFICIENTES DE AJUSTE DE LOS VALORES DE DISEÑO POR DURACION DE CARGA EN UNIONES EMPERNADAS (9)

Duración de Carga	Coefficiente de Ajuste	Condición de Servicio
Continua	0.90	Continúa carga de diseño total.
Normal	1.00	Frecuentemente usada a carga máxima de diseño.
Dos meses	1.15	Estructura sujeta a uso máximo en no más de dos meses (temporalmente)
Siete días	1.25	Uso máximo en período de siete días, continuo o acumulativo.
Un día	1.33	Uso máximo de no más de un día.
Instantánea	2.00	Usa máximo solamente en contadas veces.

Planos de Cizallamiento.- En general, se puede considerar tres tipos de planos de corte: simple, doble y múltiple. Figura 1.

Elemento madera de la unión.- Hansen (12), Parker (18) y Trayer (19) señalan las especificaciones que se deben tener en cuenta cuando los espesores de los elementos laterales no son la mitad del espesor del elemento central; indican que cuando en una unión de 3 miembros, los laterales son mayores que la mitad del espesor correspondiente al miembro central, la carga permisible será igual a los que tienen elementos laterales de espesores iguales a la mitad del elemento central, y si la unión está formada por dos elementos, simple cizallamiento, se considerará una carga permisible de la mitad que la de tres miembros.

Espaciamiento de pernos.- Para cargas paralelas y perpendicular al grano los espaciamientos mínimos se presentan en las Figuras 2 y 3.

Agujeros para colocar el perno.- Deben ser de 1/32" a 1/16" mayores que el diámetro del perno (19). Como siempre, los agujeros son mayores que el diámetro del perno, una estructura montada aumenta su flecha, por lo que debe procurarse un mínimo de empalmes en el diseño.

Rangos de clasificación de maderas peruanas.- En el Cuadro 3 se presentan los rangos de clasificación según cargas al límite proporcional en uniones empernadas a doble Cizallamiento para cargas paralela y perpendicular (23).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos, tabulación y cálculos de valores de carga y de diseño de las uniones empernadas se llevaron a cabo en la Universidad Nacional Agraria, La Molina, Departamento de Industrias Forestales. La colección e identificación de las especies fue llevada a cabo por el Ministerio de Agricultura, Dirección General Forestal y Fauna. Las especies fueron colectadas según lo especificado en la Norma ITINTEC No. 251-008. La relación de las especies estudiadas se presenta en el Cuadro 4.

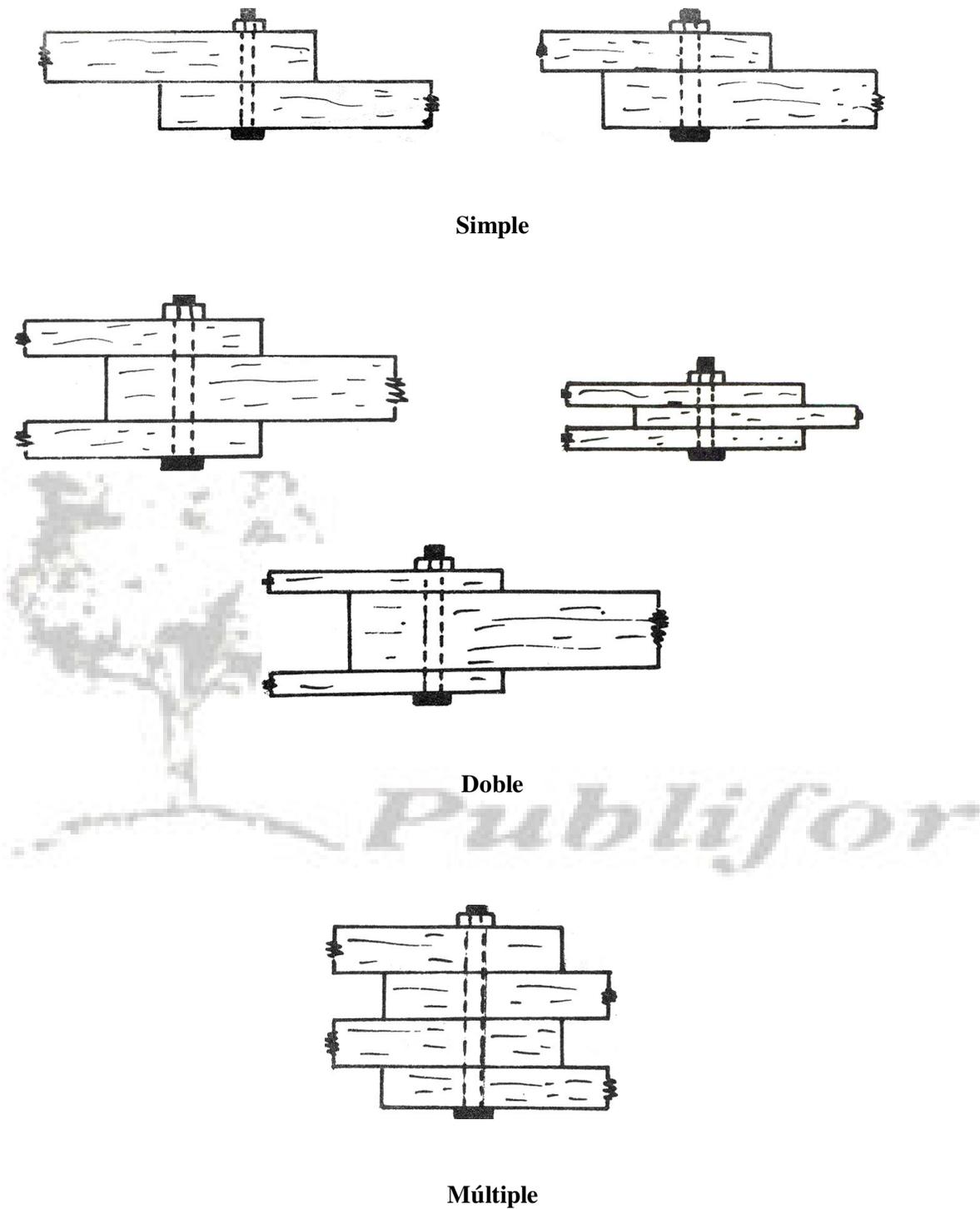
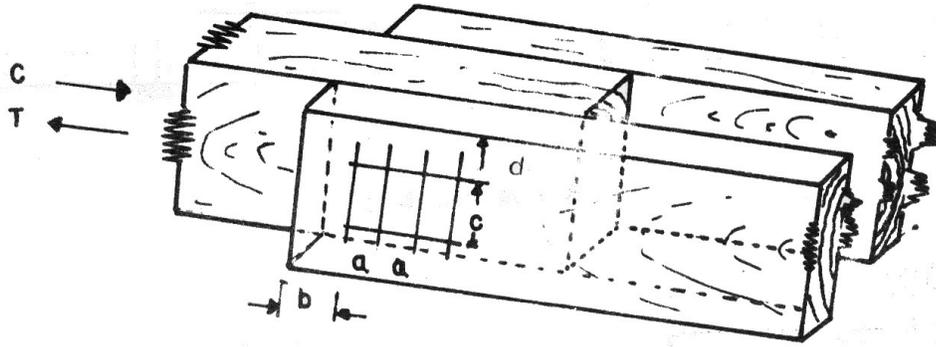


Fig. 1. Tipos de Planos de Cizallamiento en Uniones Empernadas



$$q = 4 D$$

$$b = 7 D \text{ (coníferas), } 5 D \text{ (latifoliadas) ----- T}$$

$$4 D ----- C$$

c = se determina según área neta

d = 1 ½ D para L/D 5 a 6

L/D > 6 aumentar ligeramente

L/D > 5 disminuir ligeramente

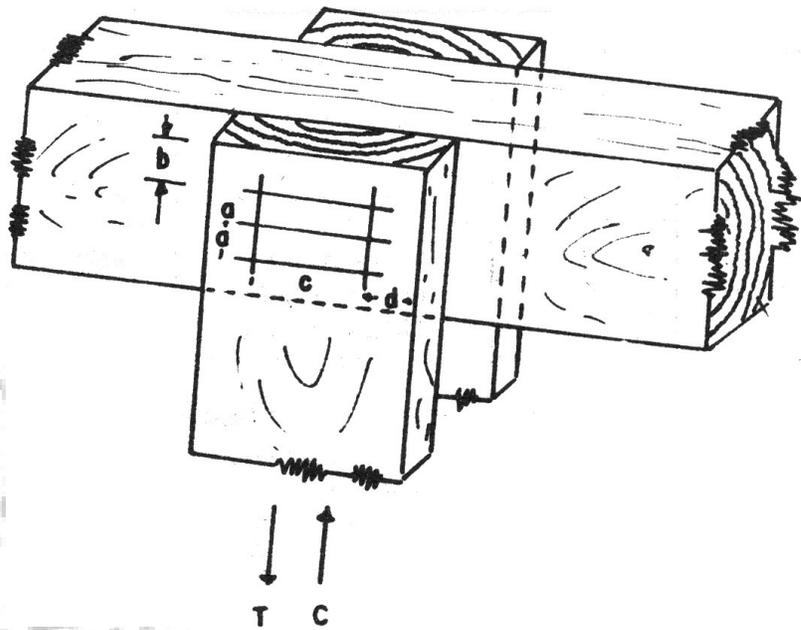
L = espesor elemento central

D = diámetro de perno

C = compresión

T = tracción

Fig. 2. Espaciamientos Mínimos de Compresión Paralela



a = 4 D

b = No es fija distancia Standard

c = 2 1/2 : D → L / D = 2
 5 : D → L / D ≥ 6
 L/D de 2 a 6 interpolar

d = 4 D

L = espesor elemento central

D = diámetro del perno

C = compresión

T = tracción

Fig. 3. Espaciamientos Mínimos Compresión Perpendicular

CUADRO 3. RANGOS DE CLASIFICACION DE MADERAS PERUANAS SEGUN CARGAS AL LIMITE PROPORCIONAL (Kg) (23)

Carga	L/D	Baja	Media	Alta
Paralela	2	Menos de 450	450-900	más 900
	4	Menos de 800	800-1600	más 1600
	8	Menos de 2000	2000-2500	más 2500
Perpendicular	2	Menos de 400	400-600	más 600
	4	Menos de 600	600-800	más 800
	8	Menos de 1600	1600-2000	más 2000

CUADRO 4. ESPECIES ESTUDIADAS

Nombre común	Nombre científico	Familia	Procedencia	Formación ecológica
Almendro	<i>Caryocar coccineum</i> Pilger	Caryocaraceae	V.H.	1
Cachimbo	<i>Cariniana domesticata</i> Mart	Lecyticeae	I	2
Chimicua	<i>Pseudolmedia laevis</i> Macb	Moraceae	V.H.	1
Diablo fuerte	<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don in Lambert	Podocarpaceae	V. R.	1
Manchinga	<i>Brosium uleanum</i> Mildbr	Moraceae	V.H.	1
Pumaquiro	<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart	Apocynaceae	V.H.	1
Tornillo	<i>Cedrelinga Cateaniformis</i> Ducke	Mimosaceae	T.M	3

V.H. Bosque Nacional Alexander Von Humboldt

V.R. Zona de Villa Rica (Oxapampa)

I. Bosque de Iparía

T.M. Zona de Tingo María

1 Bosque muy húmedo pre-montano tropical bmh-PT

2 Bosque húmedo tropical bh-T

3 Bosque muy húmedo pre-montano tropical (transicional a bosque húmedo tropical bmh-PT)

* Fuente: Mapa Ecológico del Perú, ONERN, 1976.

Los ensayos se realizaron con 10 árboles por especie y siguiendo las especificaciones de la Norma ASTM No. D-1761-74 (2). Se contaron con tres tipos de probetas para ensayos en carga paralela y tres para carga perpendicular y con dos repeticiones por cada tipo de probeta y clase de carga, lo que hizo un total de 6 probetas por árbol y en consecuencia 60 probetas por especie. El diseño, dimensiones y otras características de las probetas se muestran en las Figuras 4 y 5.

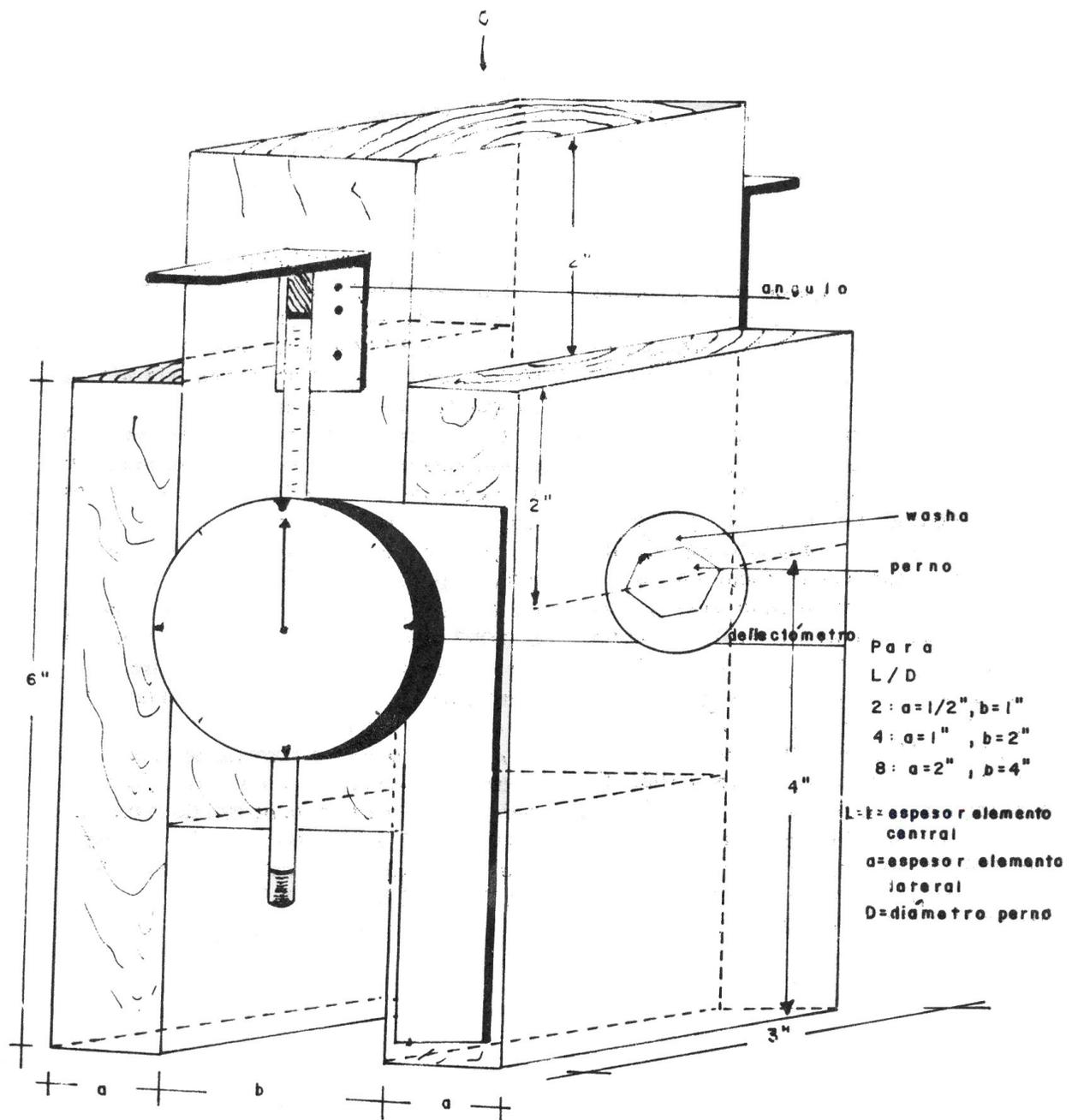
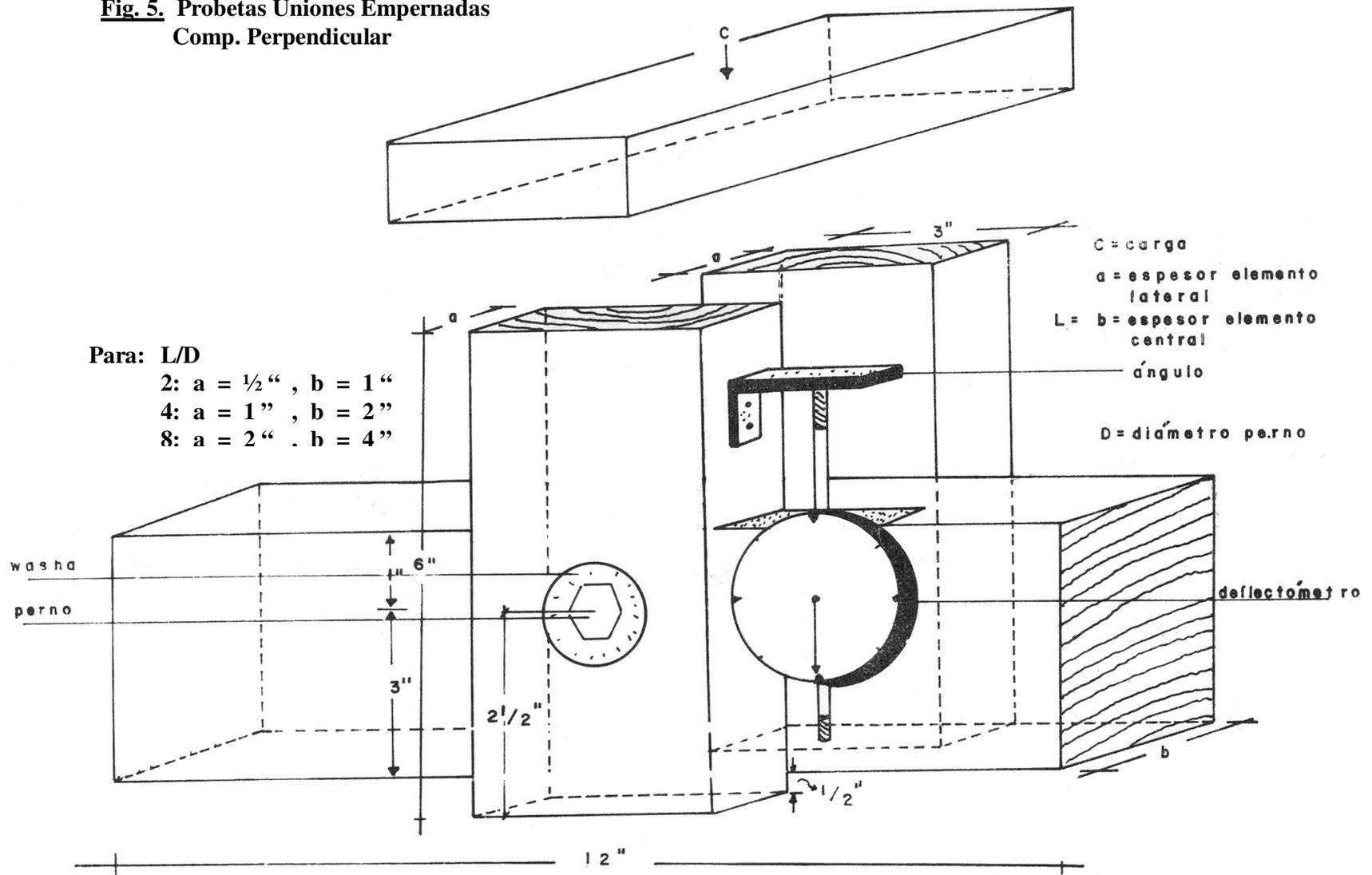


Fig. N° 4. Probetas Uniones Empernadas Comp. Paralela

**Fig. 5. Probetas Uniones Empernadas
Comp. Perpendicular**



Los pernos empleados en los ensayos fueron de fabricación nacional de las siguientes características: Acero de bajo contenido de carbono, Grado No. 1 S.A.E. - 1010, de composición química C (0.1 %), S (0.04%), P (0.03 %) y Mn (0.25 %) y Fe (99.58 %) fabricados según Normas S.B. 1821.1965, tipo de rosca U.N.C de 13 hilos por pulgada, dureza de 70-100 R-B, resistencia a la tracción 160,000 lb/pulg², diámetro de 1/2". Los largos empleados fueron de 3" (7.62 cm.), 5" (12.70 cm.) y 9" (22.86 cm.), todos de acabado negro bruñido.

Las arandelas de hierro forjado de 9/16", diámetro de agujero (1.42 cm.), diámetro exterior 13/8" (3.49 cm.), área de 1.3 pulg² (8.387 cm.²) y un número aproximado de 31 arandelas en 500 gramos.

Las probetas se armaron teniendo en cuenta una perfecta escuadría y se ajustaron a torques de 10, 15 y 20 libras-pie para los L/D 2, 4 y 8, respectivamente.

Las velocidades de ensayo fueron de 0.043 pulg./minuto (0.10922 cm./minuto) 0.061 pulg./minuto (0.15404 cm./minuto) y 0.087 pulg./minuto (0.22098 cm./minuto) para los ensayos de L/D 2, 4 y 8, respectivamente. En cada ensayo se anotaron las lecturas de carga-deformación.

Al término de los ensayos, se procedió a obtener secciones transversales de 2.5 cm. de cada uno de los tres elementos de la probeta para determinaciones de contenido de humedad, cuyos valores se calcularon según Norma ITINTEC No. 251.010 (14).

Los resultados obtenidos de carga al límite proporcional fueron analizados estadísticamente de acuerdo a Norma COPANT No. 30: 1-012 (10), obteniéndose valor promedio por árbol (X), promedio por especie (X), coeficiente de variación entre árboles (CV 1), coeficiente de variación total (CVT) y los límites de confianza para 0.05 P y K-1 grados al, libertad (K = Número de árboles por especie). Con los resultados de cargas al límite proporcional para cada L/D y tipo de carga, paralela o perpendicular y las densidades de las maderas estudiadas se determinaron los coeficientes de correlación y las ecuaciones lineales de regresión (7).

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en los ensayos, cargas al límite proporcional, y considerando las propiedades mecánicas de las especies estudiadas (3), se procedió a elaborar las tablas de diseño de acuerdo al procedimiento establecido (12) (15) (19) (20) (21) (23).

RESULTADOS

En el cuadro 5 se presentan los valores estadísticos de las cargas el límite proporcional, según sea paralela o perpendicular y L/D 2, 4 y 8; todos en ensayos a doble Cizallamiento.

En el Cuadro 6 se muestran los valores de diseño en Kg./perno, para diferentes espesores del elemento central y diferentes diámetros de pernos; carga paralela y perpendicular y a doble Cizallamiento.

Los coeficientes de correlación y las ecuaciones de regresión lineal encontrados para las variables densidad básica y carga al límite proporcional según sea paralela o perpendicular y L/D 2, 4 y 8 se presentan en el Cuadro 7.

CUADRO 5. CARGA AL LIMITE PROPORCIONAL EN UNIONES EMPERNADAS

Especie	Densidad básica	Compresión Paralela (LID)			Compresión Perpendicular (LID)		
		2	4	8	2	4	8
Almendro	0.65	530± 32	1222± 80	2022± 25	350± 25	809 ± 30	1455± 50
		20 10	20 10	20 10	20 10	20 10	20 10
		12 10	8 7	8 6	14 11	7 7	7 6
Cachimbo	0.59	694± 66	1357± 107	2177± 196	529± 121	919± 121	1750± 288
		20 10	20 10	20 10	20 10	20 10	20 10
		19 16	16 11	18 14	26 21	26 21	33 23
Chimicua	0.71	965± 59	1334± 74	2603± 71	538± 30	828± 35	2067± 101
		20 10	20 10	20 10	20 10	20 10	20 10
		12 12	11 8	5 4	11 10	8 8	10 9
Diablo Fuerte	0.53	662± 56	1302 ± 119	1702± 90	399± 22	745± 94	1451± 140
		20 10	20 10	20 10	20 10	20 10	20 10
		17 15	18 18	10 11	11 11	25 19	19 23
Manchinga	0.68	910± 56	1685±170	2533± 186	662± 96	1027± 93	2491± 123
		20 10	20 10	20 10	20 10	20 10	20 10
		12 10	20 14	15 11	20 17	18 15	10 8
Pumaquiro	0.67	893± 64	1378± 71	2779± 60	730± 48	930± 50	2288± 95
		20 10	20 10	20 10	20 10	20 10	20 10
		14 12	9 8	4 4	13 11	12 11	8 9
Tornillo	0.45	471± 52	886 ± 54	2038± 229	418± 27	639± 62	1709± 142
		20 10	20 10	20 10	20 10	20 10	20 10
		22 16	12 10	22 16	13 11	19 16	16 13

En cada cuadrícula, los números superiores son el promedio general y los límites de confianza en Kg. ($X \pm q$), en el medio derecho es el número de árboles (K), el medio izquierdo el número total de probetas (N), el inferior derecho el coeficiente de variación total en % (CVT) y el inferior izquierdo el coeficiente de variación entre árboles en % (CV1)

CUADRO 6. TABLAS DE DISEÑO A DOBLE CIZALLAMIENTO (Kg/perno)

L	D	L/D	ALMENDRO		CACHIMBO		CHIMICUA		DIABLO FUERTE		MANCHINGA		PUMAQUIPO		TORNILLO		PINO OREGON	
			c//	c⊥	c//	c⊥	c//	c⊥	c//	c⊥	c//	c⊥	c//	c⊥	c//	c⊥	c//	c⊥
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11								
1	1/4	4	285	89	357	87	339	94	328	81	340	92	445	103	271	68	-	-
	5/16	3	350	92	448	98	462	103	420	89	446	100	594	117	340	77	-	-
	3/8	2.-P	407	97	540	111	605	120	508	102	552	114	762	140	407	140	-	-
	7/16	2	449	98	629	121	789	138	592	111	663	130	937	168	480	107	-	-
	1/2	2	492	100	720	136	972	167	678	125	775	150	1124	217	550	124	-	-
1 1/4	1/4	5	354	111	414	5	2&	120	382	100	397	118	552	133	344	88	-	-
	5/16	4	446	118	559	17	531	126	613	107	532	122	696	138	424	91	-	-
	3/8	3	529	126	670	34	682	141	628	122	667	136	878	158	508	104	-	-
	7/16	3	600	128	787	45	1850	155	741	132	796	148	1081	177	594	118	-	-
	1/2	3	663	137	899	162	143	179	846	148	938	168	1439	211	745	137	-	-
1 1/2	5/8	0	767	142	1124	191	1711	230	1058	176	1210	212	1753	306	858	183	-	-
	-1/4	6	407	130	459	122	101.36	150	417	120	447	148	678	166	416	111	-	-
	5/16	5	529	142	626	135		152	583	127	601	148	835	167	508	112	-	-
	3	4	643	156	805	154	765	166	739	142	767	161	1003	180	611	129	-	-
	7/16	3	741	161	939	168	942	180	871	153	924	173	~12922	198	712	131	-	-
1 3/4	1/2	3	831	172	1079	187	1136	200	1006	172	1080	192	1456	228	815	150	1100	500
	5/8	2	985	182	1349	221	1621	245	1271	203	1408	233	i 19 0	298	1030	190	1380	570
	3/8	5	741	181	887	173	891	193	817	-163	853	190	~1291	214	712	142	-	-
	7/16	4	874	192	1096	-90	1041	205	1006	175	1043	199	1365	224	832	147	-	-
	1/2	4	980	201	1054	1211	1242	225	1163	194	1220	219	1621	251	951	166	-	-
2	5/8	3	1200	222	1574	29	1721	270	1483	230	1610	257	2187	309	1188	205	-	-
	3/4	2	1349	234	1889	210	2360	330	1779	266	1992	310	2815	401	11441	258	-	-
	3/8	5	840	278	261	11	1020	226-	894	187	929	223	1347	253	824	167	-	-
	7/16	5	988	29	1195	2	1357	233	1101	197	1137	230	1563	260	949	172	-	-
	1/2	4	1142	2,á8	1431	2:	1359	253	1314	217	1362	247	1782	277	1086	182	1370	670
2	5/8	3	1398	261	1788	2	1844	294	1676	254	1780	286	2370	333	1357	220	1820	760
	3/4	3	1628	279	2159	1	2418	348	2033	295	2207	330	3048	404	1230	263	2210	840

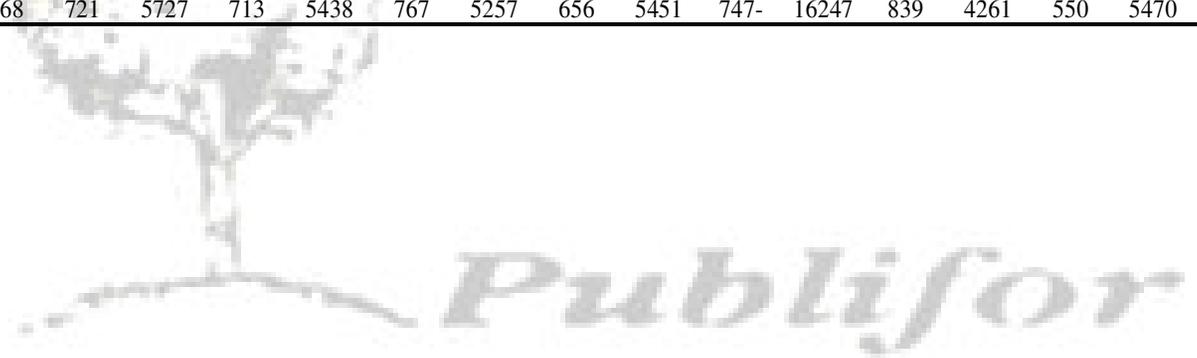
c// = compresión paralela c⊥ = perpendicular
 Pino oregón (*Pseudotsuga mensiesii*) (17)

CUADRO 6. TABLAS DE DISEÑO A DOBLE CIZALLAMIENTO (Kg/perno)
(CONTINUACION)

L	D	L/D	ALMENDRO		CACHIMBO		CHIMICUA		DIABLO FUERTE		MANCHINGA		PUMAQUIPO		TORNILLO		PINO OREGON	
			c//	c⊥	c//	c⊥	c//	c⊥	c//	c⊥	c//	c⊥	c//	c⊥	c//	c⊥	c//	c⊥
1	2	3	4		5		6		7		8		9		10		11	
21/4	1/2	5	1285	268	1538	259	1530	285	1418	244	1418	281	2009	317	1222	205	-	-
	5/8	4	1605	303	2012	307	1966	327	1867	282	1959	318	2572	258	1527	238	-	-
	13/4	3	1870	324	2428	253	2557	378	2264	325	2431	363	3278	430	183	282	-	-
	7/8	3	2113	342	2832	401	3249	436	2667	369	2926	414	4006	513	2138	334	-	-
21/4	1/2	5	1412	298	1654	281	1698	321	1523	268	1586	339	2244	357	1372	237	1480	840
	5/8	4	1784	337	2237	333	2724	359	2053	307	2129	349	274	392	1697	257	2140	950
	3/4	3	2120	368	2685	384	2732	409	2516	353	2672	394	3516	457	2W7	302	2710	1060
	7/8	3	2398	392	3147	436	3398	467	2963	397	3183	443	4505	533	2315	354	3210	1160
	1	3	2655	415	3593	492	4175	541	3387	448	3755	508	5520	W9	2715	415	3680	1270
2314	1/2	6	1523	325	1721	305	1869	362	1602	295	1682	357	~249P	1399	1510-	267	-	-
	5/8	4	1963	371	2250	358	2337	394	2189	337	2262	384	3068	438	1867	287	-	-
	3/4	4	2356	409	2953	413	2884	439	2739	380	2843	428	3720	488	2241	324	-	-
	7/8	3	2692	936	3461	475	3620	502	3435	432	3464	482	462	576	2613	375	-	-
	1	3	3014	466	3956	524	4325	568	3725	482	4045	539	IPé2	649	2986	430	-	-
3	112	6	1628	351	1835	329	2039	405	1667	322	1774	399	2712	449	1665	299	1490	1010
	5/8	4	2120	405	2509	386	2549	436	2338	364	2410	424	3348	478	2037	321	2290	1140
	3/4	4	2570	450	3222	445	3059	479	2957	410	3067	466	4012	524	2444	343	3080	12~O
	7/8	3	2968	486	3759	507	3763	540	3486	461	3770	520	4892	595	2852	394~'	3770	1390
	1	3	3322	519	4315	565	4543	604	4023	520	4319	581	5824	688	3257	452	9390	1520
31/4	112	65	1725	376	1940	352	2208	454	1717	348	1861	447	2954	500	1822	344	-	-
	5/8	5	2272	438	2629	413	2760	478	2421	394	2746	471	3647	526	2230	353	-	-
	3/4	45	2784	488	3332	471	3314	519	3072	444	3209	512	4351	577	2648	377	-	-
	7/8	4	3242	532	4072	537	3977	571	3776	494	3919	556	5140	635	3089	421	-	-
	1	3	3675	574	4653	599	4734	639	4316	551	4630	615	6093	714	3530	472	-	-
31/2	112	7	1798	396	2039	375	2379	506	1754	375	1951	503	3182	554	2005	388	1490	1140
	5/8	6	2423	467	2769	440	2973	521	2519	424	2675	513	3928	583	2401	390	2320	1330
	3/4	5	2968	525	3551	501	3569	559	3273	472	3415	551	4687	621	2852	412	3280	1480
	7/8	4	3498	578	4384	572	4163	615	4025	526	4173	599	5460	673	3326	441	4190	1630
	1	4	9357	625	5010	638	4961	680	4647	587	4877	662	443	757	3801	501	5000	1770

CUADRO 6. TABLAS DE DISEÑO A DOBLE CIZALLAMIENTO (Kg/perno)
(CONTINUACION)

L	D	L/D	ALMENDRO		CACHIMBO		CHIMICUA		DIABLO FUERTE		MANCHINGA		PUMAQUIPO		TORNILLO		PINO OREGON	
			c//	c⊥	c//	c⊥	c//	c⊥	c//	c⊥	c//	c⊥	c//	c⊥	c//	c⊥	c//	c⊥
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11								
3 3/4	1/2	8	1842	416	2159	401	2549	561	1779	402	2062	563	3432	618	2194	430	-	-
	5/8	6	2542	495	2866	465	3186	572	2604	455	2294	563	4236	634	2601	433	-	-
	3/4	5	3180	563	3724	531	3824	606	3430	506	3572	598	5053	676	3089	447	-	-
	7/8	4	3747	619	4579	605	4460	659	4223	563	4369	642	5857	721	3564	479	-	-
	1	4	4282	676	5367	676	5170	719	4928	622	5167	700	6777	786	4072	523	-	-
4	1/2	8	1985	434	2273	428	2718	624	1788	429	2136	625~	3681	694:	2172	493	149	1180
	5/8	6	2655	523	3021	490	3398	625	2676	485	2903	63iD,	4519	696	2805	474	2330-	1510
	3/4	5	3356	600	3840	559	4077	655	3576	540	3715	645	5387	731	3293	438	3340	1690
	7/8	5	3957	661	4784	638	4758	703	4410	594	4552	693		781	401 Q	518	4450	1860
	1	4	4568	721	5727	713	5438	767	5257	656	5451	747-	16247	839	4261	550	5470	2030



CUADRO 7. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN Y ECUACIONES DE LA REGRESIÓN LINEAL ENTRE LA DENSIDAD BÁSICA Y LAS CARGAS AL LÍMITE PROPORCIONAL

VARIABLE independiente X	VARIABLE dependiente Y	Coeficiente de Correlación	Fórmula de Estimación
Db	L/D 2 comp. para.	.80	- 304.86 + 1 700 X
Db	L/D 4 comp. para.	.73	150.14 + 1 900 X
Db	L/D 8 comp. para.	.74	379.46 + 3 140 X
Db	L/D 2 comp. para.	.56	- 421 + 1 540 X
Db	L/D 4 comp. para.	.76	190.95 + 1 058 X
Db	L/D 8 comp. para.	.60	272 + 2 648 X

CUADRO 8. CLASIFICACIÓN DE LAS ESPECIES SEGÚN RANGOS DE CARGAS AL LIMITE PROPORCIONAL

ESPECIE	DENSIDAD	CLASIFICACIÓN (L / D)					
		Compresión Paralela			Compresión Perpendicular		
		2	4	8	2	4	8
Tornillo	0.45	m	m	m	m	m	m
Diablo Fuerte	0.53	m	m	a	m	m	b
Cachimbo	0.59	m	m	m	m	a	m
Almendro	0.65	m	m	m	m	b	m
Pumaquiro	0.67	a	m	a	a	a	a
Manchinga	0.68	a	a	a	a	a	a
Chimicua	0.71	a	m	a	m	a	a

- a. Alta
- m. Media
- b. Baja

DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta los resultados de carga al límite proporcional, en uniones empernadas, Cuadro 5 y evaluándolos con los rangos de maderas y peruanas mostradas en el Cuadro 3, las especies en estudio pueden clasificarse en las categorías de alta y media; considerando que dichos rangos son los permitidos para uniones estructurales con pernos, dichas especies son aptas para estos usos. Cuadro 8.

De la observación y comparación de los valores de diseño, Cuadro 6, de las especies estudiadas y del pino oregón, especie de amplio uso en construcción, se desprende que aquellas especies de similar densidad que la especie de comparación (0.50), como son el tornillo (0.45) y el Cachimbo (0.59), tienen valores muy semejantes que aquella; además, si tenemos en cuenta que estas dos especies estudiadas tienen otras características adecuadas como son fácil de ser trabajadas y buenas propiedades mecánicas, se podrá inferir que son especies de notoria aptitud para uso estructural como son las uniones empernadas. Las otras especies estudiadas, con mayor densidad que el pino oregón la superan en valores de diseño.

Del análisis de relaciones efectuados entre las densidades de las maderas con las cargas al límite proporcional en los casos estudiados, se encontró que los coeficientes de correlación determinados son de rangos alto a muy alto, lo que nos indica una alta asociación o relación directa entre dichas variables, esto nos permitió encontrar las ecuaciones de estimación mediante el análisis de regresión lineal. En las Figuras 6 y 7, se dan las representaciones y la formulación de las ecuaciones respectivas de las variables densidad y cargas al límite proporcional para los L/D 2, 4 y 8 y para dirección de carga paralela y perpendicular, respectivamente.

Considerando los factores que afectan a las uniones empernadas y que puedan incidir en el diseño de una estructura, consideramos que el coeficiente más apropiado por contenido humedad, Cuadro 1, es de 1.0 correspondiente al de condición seca en servicio, en todo caso se tendrá en cuenta casos de servicio especiales. Cuando se trata de valores de ajuste por duración de carga, el coeficiente 0.90 es el más apropiado ya que es la condición de servicio más común; no debe perderse de vista también otras consideraciones que puedan afectar los valores de diseño como son defectos de la madera y estructura interna de ella, principalmente el grano inclinado; en todo caso se tendrá en cuenta los planos de Cizallamiento; el presente trabajo es a doble Cizallamiento; dimensiones de elementos de unión; así como en la fabricación de la unión debe tenerse en consideración los espaciamientos mínimos entre pernos según sea su disposición.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Según los valores de diseño, las especies estudiadas son aptas para uniones empernadas.
2. El tornillo y el cachimbo resaltan para el uso en uniones empernadas y son similares en valores de diseño al pino oregón.
3. En las especies estudiadas existe relación directa entre las densidades y las cargas al límite proporcional en uniones empernadas.

4. Se recomienda, en el diseño de una estructura emperrada, afectar los valores de diseño con los coeficientes de seguridad, según sean las condiciones de uso.

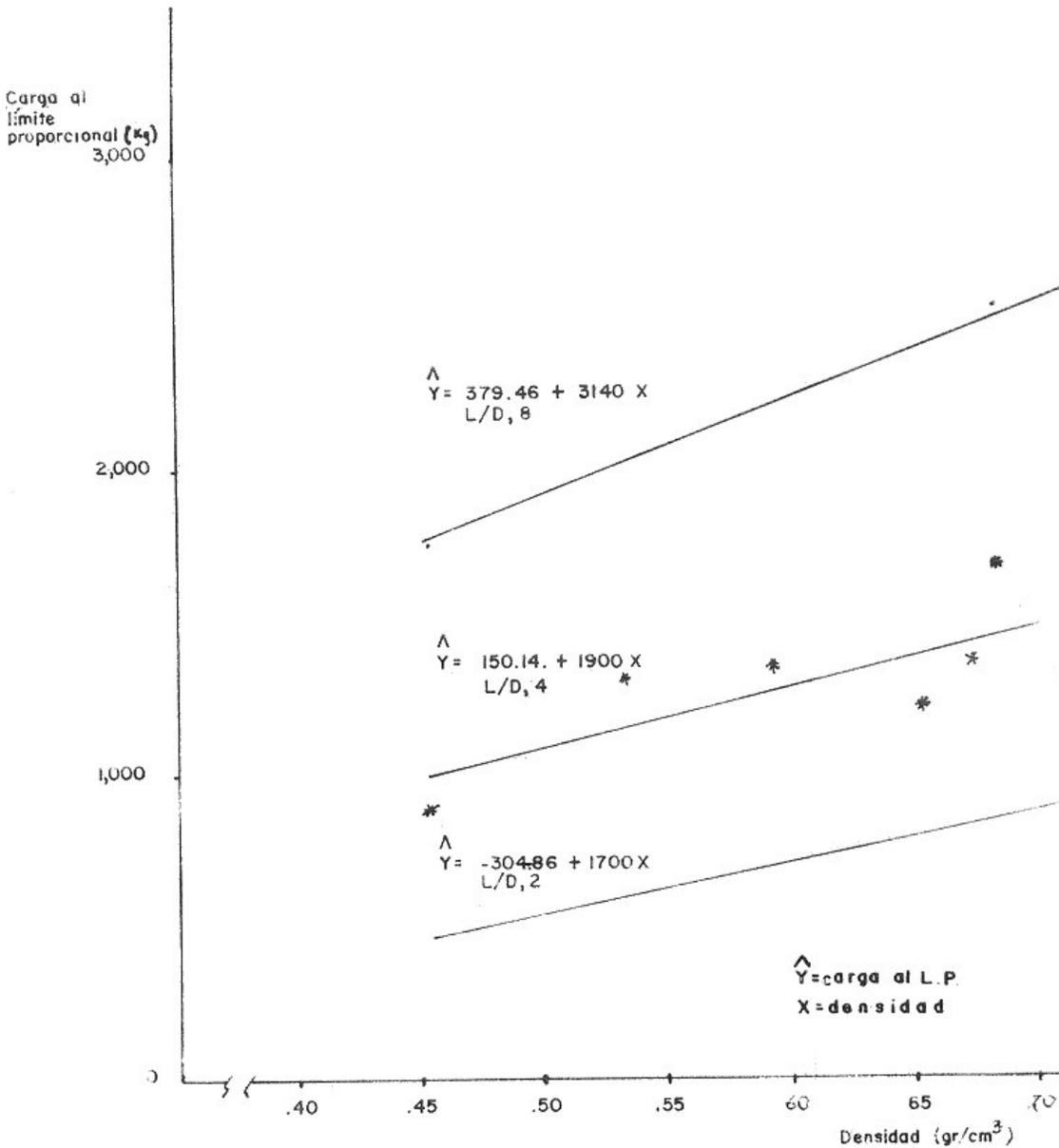


Fig. N° 6. Regresión Densidad Vs. Carga Al Límite Proporcional En Uniones Emperradas. Compresión Paralela.

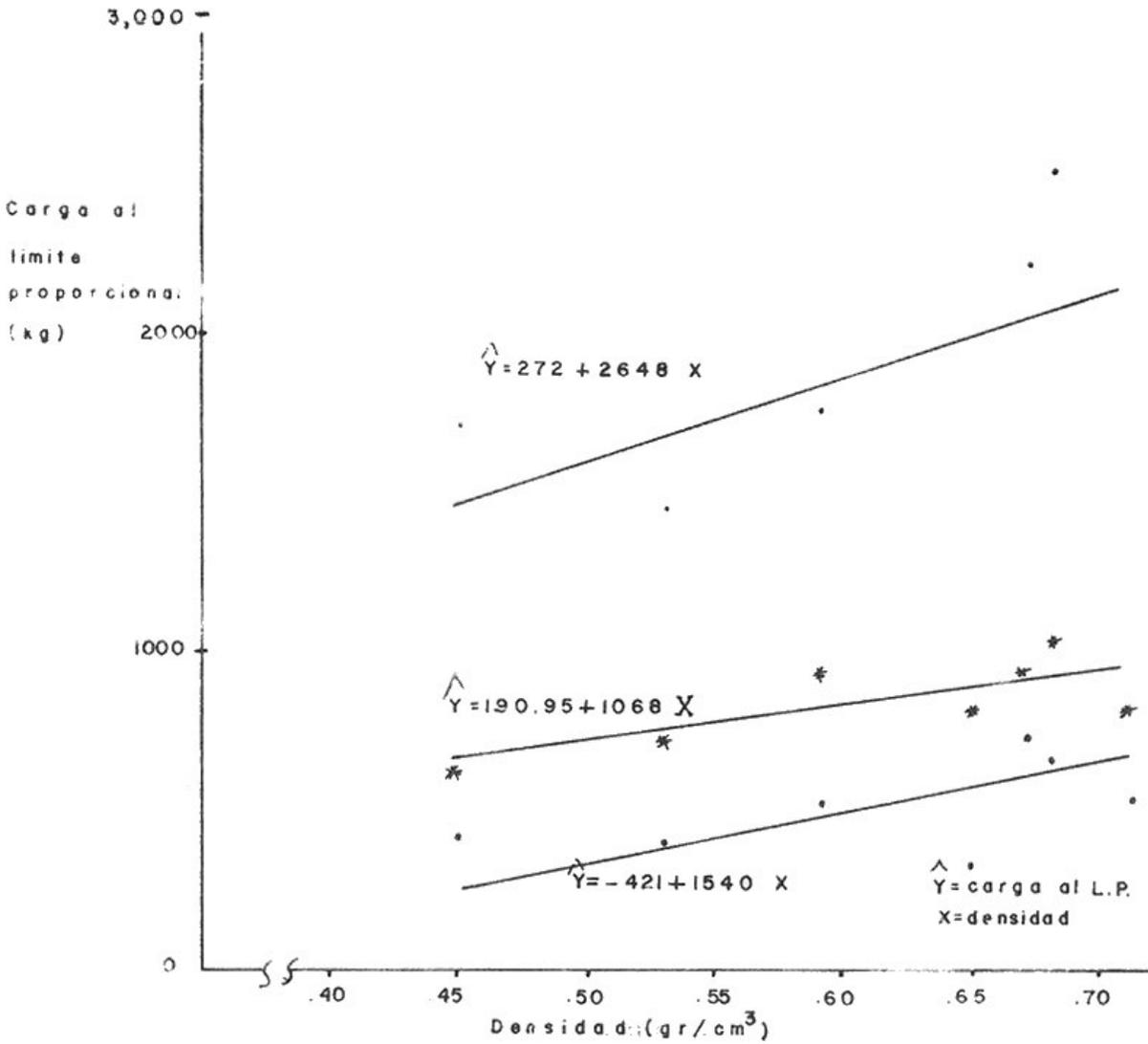


Fig. N° 7. Regresión Densidad Vs. Carga Al Límite Proporcional En Uniones Empernadas. Compresión Perpendicular.

BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION, 1972. Timber Construction Manual. Second Edition. John Wiley and Sons Inc. USA. 530 p.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1974. Book of A.S.T. M. Standards. Method of Testing Philadelphia. 466 p.
3. AROSTEGUI, V. A. 1978. Estudio Integral de la Madera para Construcción. Universidad Nacional Agraria. Lima. 184 p.
4. ARRUE, G.H. 1969. Uniones Empernadas de Madera de *Cedrelinga catenaeformis* Ducke (Tornillo). Tesis para optar Título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. 87 p.
5. ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. 1974. Normas de Estructuras de Madeiras. Sao Paulo. 35 p.
6. BRITISH STANDARD INSTITUTION. 1972. The Structural use of Timber. Norma CP 112: 1967. B.S. London. 120 p.
7. CALZADA, B.J. 1970. Métodos Estadísticos para la Investigación. Editorial Jurídica. Lima. 643 p.
8. CANADIAN STANDARD ASSOCIATION. 1976. Code for the Engineering design of wood C.S.A. Standard 086-1976. Rexdale. Ontario. 125 p.
9. CANADIAN WOOD COUNCIL. 1977. Bolts Lags and Screws and Timber connectors. Canadian Wood Construction. Ottawa 28 p.
10. COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS, 1972. Maderas. Método para realizar Análisis Estadísticos de las Propiedades. Norma 30: 1-012. COPANT. 9 p.
11. GARRAT, G. 1931. The Mechanical Properties of Wood. Wiley. New York. 276 p.
12. HANSEN, J.M. 1969, Diseño Moderno de Estructuras de Madera. Editorial Continental. México. 351 p.
13. HOYLE, R.J. 1972. Wood Technology in the Design of Structures. Mountain Press Publishing. London. 250 p.
14. INSTITUTO DE INVESTIGACION TECNOLOGICA INDUSTRIAL Y DE NORMAS TECNICAS, 1972. Maderas. Métodos de determinación de Contenido de Humedad. ITINTEC. Lima. 3 p.
15. LAMINATED TIMBER INSTITUTE OF CANADA. 1973. Timber Design Manual Canadian Wood Council. Ottawa. 458 p.
16. LEE, W.T 1978 Strengt of Bolted Wood Joints with Various Ratios of Timber Thicknesses. Forest Product Laboratory. Madison. 8 p.

17. NATIONAL DESIGN SPECIFICATIONS FOR WOOD CONSTRUCTION. 1977. National Forest Products Association. USA. 78 p.
18. PARKER, H. 1972. Diseño Simplificado de Estructuras de Madera. Limusa Wiley. México. 294 p.
19. TRAYER, W.G. 1932. The Bearing Strength of Wood Under Bolts. Forest Products Laboratory Madison. 40 p.
20. TIMBER ENGINEERING COMPANY. 1956. Timber Design and Construction Hand book. Mc Graw - Hill Books Co. USA. 622 p.
21. VALENZUELA, A.W. 1975. Estudio Tecnológico de Maderas del Perú. Normas y Métodos. Vol. II, Arco Uniones Estructurales. Universidad Nacional Agraria. Lima. 104p.
22. _____ 1975. Estudio Tecnológico de Maderas del Perú, Características Tecnológicas y Usos de la Madera de. 40 Especies del Bosque Nac. Alexander von Humboldt. Vol. 111. Área de Uniones Estructurales. Universidad Nacional Agraria. Lima. 171 p.
23. _____ 1978. Estudio Integral de la Madera para la Construcción. Área de Uniones Estructurales. Universidad Nacional Agraria. Lima. 184 p.
24. WOOD HAN D BOOK. 1974. Wood as an Engineering Materials. Forest Products Laboratory. Madison. 411 p.

