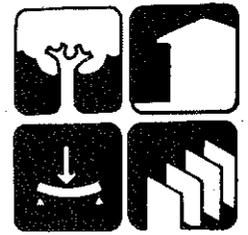


1

ENSAYOS PRELIMINARES DE
TIJERALES O CERCHAS



**PADT
REFORT**

PROYECTOS ANDINOS
DE DESARROLLO
TECNOLOGICO EN EL
AREA DE LOS RECURSOS
FORESTALES TROPICALES

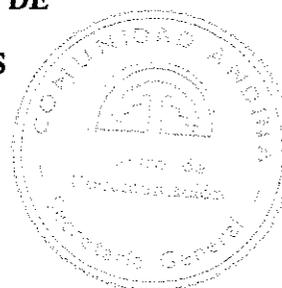


**GRUPO
ANDINO**

JUNTA DEL ACUERDO
DE CARTAGENA

6082-A

**ENSAYOS PRELIMINARES DE
TIJERALES O CERCHAS**



**JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA
PADT-REFORT
Lima, Junio de 1982
Revisado Julio de 1983**

ENSAYOS PRELIMINARES DE TIJERALES O CERCHAS

RESUMEN

Se presentan los resultados de un programa preliminar de ensayos de cerchas o tijerales de madera con distintos métodos de unión, variantes de elementos y luces de 6 y 8 metros. El objetivo de este programa fue la evaluación de la metodología de ensayo así como estudiar el comportamiento de tijerales diseñados analíticamente, diseño que luego se aplicaría a un número mayor de especímenes de ensayo. Se ensayaron un total de 12 tijerales, 5 de los cuales fueron reensayados luego de reparados.

La metodología de ensayos es adecuada para los fines de evaluar el comportamiento de estos elementos estructurales. En el diseño deberán incluirse verificaciones de los elementos de refuerzo (cartelas). La mayoría de fallas se producen por rotura de las cartelas o por pandeo de la cuerda comprimida. En el primer caso, las cartelas de madera contrachapada son de muy baja densidad y es recomendable reevaluar su comportamiento con material contrachapado de mejor calidad. Las cartelas de acero galvanizado se comportan adecuadamente siempre y cuando se verifique previamente su resistencia a todos los esfuerzos a los que estarán sometidas. Cuando las cartelas o uniones son adecuadas las fallas son de pandeo más que de resistencia de algún elemento. Sólo en un caso falló una cuerda inferior traccionada.

ENSAYOS PRELIMINARES DE TIJERALES O CERCHAS .

Resumen

Contenido

1. INTRODUCCION
2. RESUMEN DE LA METODOLOGIA DE ENSAYO
3. EQUIPO DE ENSAYO
4. GEOMETRIA, MATERIALES Y VARIACIONES DE LOS ESPECIMENES
5. RESULTADOS OBTENIDOS
6. ANALISIS DE RESULTADOS
7. CONCLUSIONES

Referencias

Anexo: Gráficos de los Registros de Ensayos

Lima, Junio de 1982

ENSAYOS PRELIMINARES DE TIJERALES O CERCHAS

1.- INTRODUCCION

Un número importante de tijerales (aproximadamente 640 unidades) se rán ensayados como parte de la 2da. Fase del "Estudio Integral de la Madera para la Construcción" ejecutado por los Países Andinos con la coordinación de la Junta del Acuerdo de Cartagena. Este programa de ensayos (1)* que tiene previsto el PADT-REFORT, está orientado a determinar la resistencia y serviciabilidad de tijerales ligeros, tales como los utilizados en viviendas o edificaciones pequeñas.

Las hipótesis que se toman en el análisis y diseño de tijerales crean la necesidad de desarrollar métodos semi-empíricos sencillos, que permitan al ingeniero modificar apropiadamente los resultados teóricos (3). Por otro lado, los ensayos que se realicen serán de utilidad para preparar tablas de tijerales típicos, que serán incluidos en la 1ra. edición del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (2).

Dado el costo y esfuerzo que se realizaría, se recomendó hacer un programa de ensayos preliminar, en donde, se evaluaría la flexibilidad de la metodología de ensayo propuesta, el funcionamiento del equipo de ensayo y se haría una primera evaluación de los criterios que se fijaron para la correcta interpretación de los resultados.

Se presenta a continuación un resumen de la metodología de ensayo descrita en la referencia (1), una breve descripción del equipo, las características de los tijerales ensayados, los resultados obtenidos, el análisis de éstos y por último las conclusiones que se han obtenido de este programa preliminar.

* Los números entre paréntesis indican las referencias que aparecen al final del informe.

2.- RESUMEN DE LA METODOLOGIA DE ENSAYOS

Los tijerales se ensayaron en posición vertical, simplemente apoyados y arriestrados en la cuerda superior. En los casos en que se cargó la cuerda inferior los ensayos se iniciaron colocando sobre ésta pesos uniformemente distribuidos, registrándose las deflexiones al centro y en los nudos antes y después de aplicar estas cargas. Luego se cargó la cuerda superior con fuerzas concentradas aproximadamente iguales, cuya magnitud fue incrementándose gradualmente hasta conseguir la falla. También en esta etapa del ensayo se hicieron lecturas de deflexiones, a intervalos de carga iguales. Para mayor información ver las referencias 1 y 4.

3.- EQUIPO DE ENSAYO

Las cargas son aplicadas mediante un sistema de dos cables y poleas que cargan la cuerda superior a intervalos iguales, dispuestos de tal manera que la fuerza vertical coincide con el plano del tijeral (fotografía 1 y 2). Las cargas en la cuerda inferior son aplicadas usando pequeños bloques de concreto suspendidos a intervalos iguales. Los apoyos del tijeral permiten giros a fin de que los extremos del tijeral puedan hacerlo libremente. (fotografía 3).

Los arriostres fueron listones de madera que se clavaron directamente en las cuerdas superiores (fotografía 1), uno por cada punto de aplicación de la carga. Se colocaron 8 cargas por tijeral.

Las deflexiones se determinaron con el auxilio de un alambre delgado (diámetro aproximado 0.3 mm) y de reglas milimetradas que fueron fijadas a la cuerda inferior. Se usaron espejos para la correcta lectura de las deflexiones eliminando el efecto de paralaje. (fotografía 1).

Las cargas concentradas en la cuerda superior son medidas indirectamente usando para ese fin dinamómetros que miden la tensión en los cables (1). Cada punto cargado está constituido por dos poleas -una a cada lado del tijeral- aplicando una fuerza vertical dirigida hacia abajo equivalente a 4 veces la tensión en el cable.

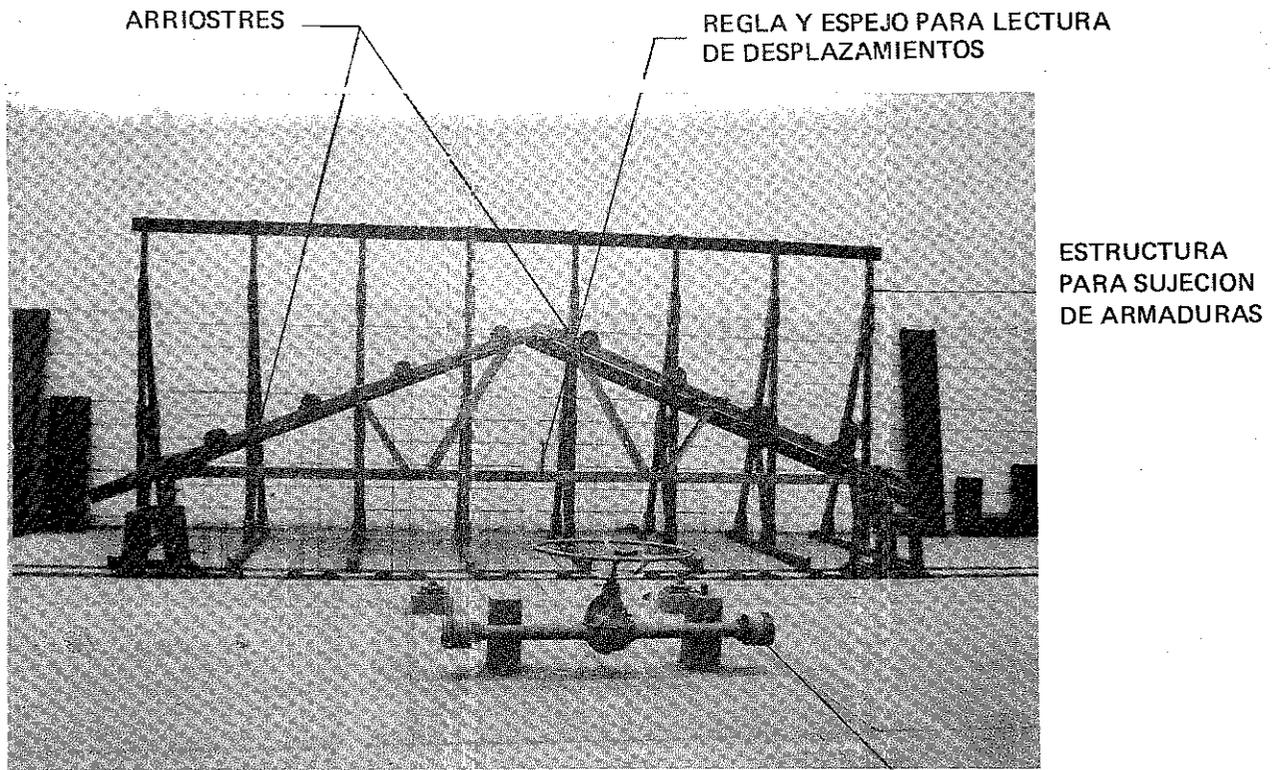


Foto 1 — SISTEMA DE POLEAS PARA ENSAYOS DE TIJERALES

TAMBOR PARA
RECOGER CABLES

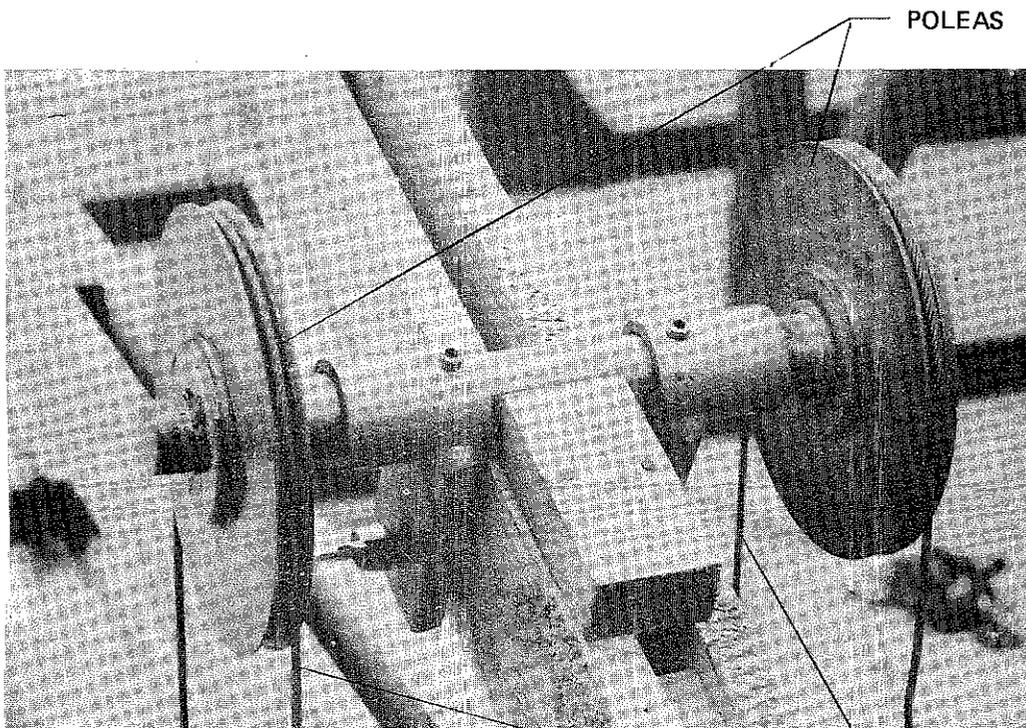
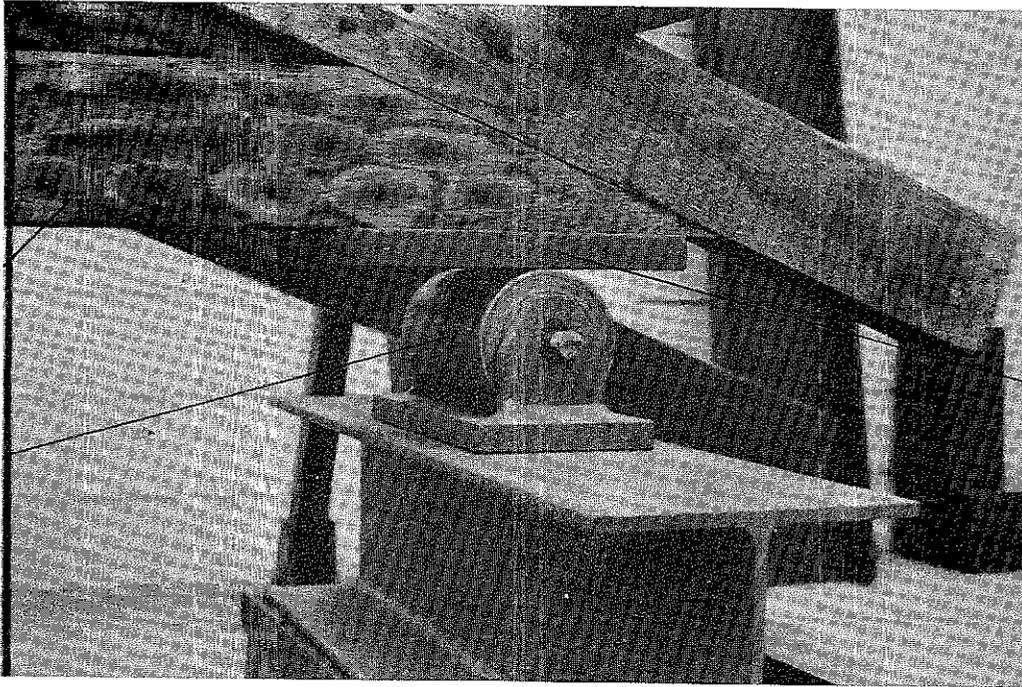


Foto 2 — CARGAS EN LA CUERDA SUPERIOR

CABLE

CUERDA
INFERIOR

RODILLO



PLANCHA
METALICA
DE APOYO

Foto 3 – APOYO DE TIJERAL

4.- GEOMETRIA, MATERIALES Y CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES

Se han ensayado un total de 12 tijerales con geometría similar a la mostrada en la Figura 1*. Los tijerales tuvieron luces de seis u ocho metros entre apoyos. Se usó madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*), cuyos esfuerzos admisibles se consideraron iguales a los de maderas del GRUPO ESTRUCTURAL C, dados en el Manual de Diseño (2). Se usaron también, tableros de madera contrachapada de la especie LUPUNA (*chorisia integrifolia*) y planchas de latón de 1/40" de espesor. Se usaron clavos comunes de alambre con punta de diamante los cuales fueron colocados según se muestra en la Figura 2.

Tres tipos de ensambles de nudos fueron utilizados. El primero, formado por cartelas de madera contrachapada, (Figura 3) el segundo formado por pletinas metálicas de latón, (Figura 4) y un tercer tipo de ensamble, formado por cartelas de madera que son abrazadas a modo de sandwich por las cuerdas superiores e inferiores (Figura 5). Este se usó únicamente en los nudos extremos (apoyos) de los tijerales con cuerdas dobles.

En la Tabla 1 se presenta la descripción completa de los tijerales ensayados. En ella se indica el estado de carga que se refiere a las cargas que han sido utilizadas para el diseño de tijerales. Estas son:

<u>ESTADO DE CARGA</u>	<u>CARGA EN kg/m</u>	
	<u>CUERDA SUPERIOR</u>	<u>CUERDA INFERIOR</u>
I	100	0
II	200	0
III	200	30

se indica también, la luz entre apoyos en metros, el tipo de cartela usada, las dimensiones de los clavos y las dimensiones de los elementos superiores, inferiores y diagonales, las cuales están expresadas en milímetros (dimensiones reales). Los tijerales 4v, 6v, 10v y 12v tienen cuerdas de elementos dobles con bloques espaciadores y sus diagonales de elementos simples que son abrazados por las cuerdas en los nudos.

* Las Figuras y Tablas se encuentran agrupadas al final del texto.

5.- RESULTADOS OBTENIDOS

En el anexo se presentan los diagramas de carga-desplazamiento registrados en los ensayos. El valor de la carga W corresponde a aquella uniformemente repartida calculada a partir de la tensión medida en el cable usando la expresión que se presenta más adelante. La deformación o desplazamiento es en el punto central de la cuerda inferior. La Figura 6 muestra un 'diagrama típico' donde se ilustra el significado de los valores presentados en la Tabla 2.

Algunos tijerales fueron reensayados una vez que se repararon y reforzaron las uniones o elementos que determinaron la falla. Estos aparecen referidos con el mismo número más la letra R. (ej. 8v y 8vR, 9v y 9vR).

La carga uniformemente repartida equivalente a las cargas concentradas aplicadas puede obtenerse de:

$$W = 32 \frac{T}{L}$$

en donde : T es la tensión en el cable en kg y L es la longitud en metros de la luz entre apoyos. El factor 32 proviene de las 8 cargas aplicadas por el número de ramas del cable actuando sobre cada polea.

En la misma tabla se presentan los valores de los desplazamientos calculados analíticamente suponiendo las uniones como articulaciones perfectas y las cargas aplicadas directamente de los nudos. Las cargas de diseño están implícitas en el estado de carga que se menciona en la sección anterior.

Una descripción cualitativa de los tipos de falla se presenta en la Tabla 3. Las Figuras 7 y 8 ilustran los tipos de falla que se han producido.

6.- ANALISIS DE RESULTADOS

TIJERALES CON CARTELAS DE MADERA CONTRACHAPADA

(1v, 3v, 5v, 7v, 9v y 11v)

Los tijerales con este tipo de cartelas presentan tres tipos de falla. El primero y más común es aquel debido a la rotura por corte de la cartela que une la cuerda superior con la inferior, la trayectoria que sigue la falla coincide con la línea de clavos paralela a la cuerda superior (Figura 8a). El segundo tipo de falla fue debido a la rotura por tracción de la cartela que une las cuerdas inferiores (Figura 8c). El tercer tipo de falla fue por rotura por tracción de la cuerda inferior (Figura 8). El pandeo de la cuerda superior se presenta, en algunos casos, simultáneamente a los tipos de falla anteriores.

Las cartelas de madera contrachapada fueron de la especie LUPUNA (*Chorisia integrifolia*) cuya densidad es mas bien baja (D.B. = 0.28). Por otro lado en el diseño de los tijerales se supuso que el contrachapado tendría una resistencia equivalente a una pieza de madera de igual espesor, hipótesis que no se verificó debido posiblemente a la baja densidad de la madera de las chapas.

La geometría de las cartelas fue determinada en función de los requisitos mínimos de espaciamiento de los clavos.

Las cabezas de los clavos penetraron en las chapas exteriores al incrementarse las cargas debilitando de esa forma dicha zona de la cartela y definiendo la falla a través de esta "línea" de menor sección. Debe verificarse la resistencia al esfuerzo cortante en las cartelas -aunque en algunos casos no se dispone de propiedades resistentes del material contrachapado- y usarse tableros de mayor densidad.

Se observa que a pesar de las fallas en las cartelas se obtuvieron cargas en el límite proporcional de 1.26 a 2.38 veces la carga de diseño. Asimismo, las cargas máximas alcanzaron factores de 1.79 a 3.12 veces la de diseño.

Los tijerales 5v y 9v, de 6 y 8 m. de luz, fallaron ambos por tracción en la cartela del empalme central inferior. Al repetir el ensayo, reparando esta unión, la falla se presenta de manera similar a la de otros tijerales con cartelas contrachapadas. Sólo el 5vR mejora un poco su resistencia. En el caso del espécimen 11v la falla fue por tracción en la madera de la cuerda inferior, no en el empalme; luego de repararse y reensayarse (11vR) la resistencia resulta menor y las deformaciones mayores que en el caso anterior, posiblemente debido a daños ocasionados en el ensayo inicial (Tabla 3).

Las deformaciones medidas en el ensayo con respecto de aquellas calculadas analíticamente -mediante métodos como el de trabajos virtuales suponiendo las uniones como articulaciones indeformables- dan una idea, no sólo de la aproximación del método, sino sobretodo de la influencia de las deformaciones de los nudos. De esta manera podrían evaluarse con mayor confianza los valores esperados. En promedio, para todos los tijerales con cartelas de madera contrachapada y para el límite proporcional esta relación es 1.57 con un coeficiente de variación (C.V.) de 0.20. Incluyendo los reensayados la relación es 1.60 y el C.V. 0.21. Para la carga máxima esta relación sube a 1.86 con C.V. 0.30 y 1.97 con C.V. 0.29.

TIJERALES CON CARTELA DE METAL (2v y 8v)

En el primer ensayo, ambos tijerales fallaron en la cartela que una la cuerda superior con la inferior. La cartela falló por tracción en una sección disminuida por las perforaciones de los clavos (Figura 8b). Se

cambió la pletina de apoyos de ambos tijerales remplazándola con una de 80 mm de ancho y 60 clavos (30 por lado) en lugar de una de 65 mm de ancho y 16 clavos (8 por lado) para el 2v y 22 clavos (11 por lado) para el 8v. En este segundo ensayo, la falla se produjo por el pandeo de la cuerda superior en el 2v y en el tijeral (8v) se produjo falla por extracción de clavos en la nueva cartela de apoyo así como también pandeo de la cuerda superior.

A pesar de las fallas en cartelas los ensayos iniciales presentan relaciones entre carga al límite proporcional y la de diseño mayores que 2. En la carga máxima estos valores son 2.96 y 2.2 para el 2v y 8v. Este último valor es un poco bajo pero mejora notablemente al volver a ensayarlo con la cartela de apoyo cambiada (8vR).

En los reensayos se observa, con respecto a la carga de diseño, una mejora del 50% en relación a las cargas en el límite proporcional y para las cargas máximas del 19% para el 2v y del 89% para el 8v.

Debe tenerse en cuenta la verificación de las cartelas para los esfuerzos de tracción y/o corte que se presentan, considerando para este efecto las secciones netas resistentes, descontando los orificios de los clavos.

Las relaciones de deformaciones ya registradas fueron mayores para el tijeral 2v (de 6m de luz) que para el 8v, como puede observarse en la Tabla 4. Es posible que esto se deba a la menor dimensión de los elementos de la cuerda superior.

TIJERALES CON CUERDAS DOBLES Y CARTELAS TIPO SANDWICH (4v, 6v, 10v y 12v)

La falla última se presenta debido al pandeo de la cuerda superior. En los

cuatro tijerales, las cartelas que unen la cuerda superior con la inferior sufren rajaduras y desplazamientos relativos, no obstante ello no se produce una disminución drástica en la rigidez del conjunto. El nivel de carga en el que se presentan las rajaduras coincide con el que en el diagrama carga-desplazamiento comienza la región no lineal. Las cargas en el límite proporcional son de 0.96 a 1.86 veces las cargas de diseño. Las cargas máximas son de 1.94 a 3.6 veces las mismas cargas de diseño.

Para el nivel de cargas en el límite proporcional las deformaciones son, en promedio 1.10 (C.V. = 0.22) las calculadas para dichas cargas. Esto indicaría un mejor comportamiento de las uniones comparando con las que usan cartelas. Al nivel de cargas máximas, sin embargo, estas relaciones aumentan grandemente siendo 5.13 para los de 6 m de luz (4v y 6v) y 2.57 para los de 8 m de luz (10v y 12v). En promedio son 3.85 (C.V. = 0.33). En este caso es evidente una gran contribución de la deformación de las uniones al total de las experimentadas por la estructura.

7.- CONCLUSIONES

Metodología.- La metodología de ensayo propuesta en la referencia (1) ha demostrado ser adecuada para analizar, observar y reportar un ensayo. Los resultados numéricos permiten evaluar factores de seguridad por resistencia y factores de corrección para la estimación de la deformación total del tijeral (3) en condiciones de servicio.

Equipo y registro.- El equipo de ensayo ha resultado versátil y simula adecuadamente las condiciones de arriostre lateral que puede tener un tijeral en servicio. El sistema de aplicación de cargas ha respondido adecuadamente. Un sistema automático de registro de fuerzas y desplazamientos sería un buen complemento para los ensayos. Con el fin de verificar

la fuerza realmente aplicada al conjunto podrían colocarse celdas de carga en los apoyos para registrar directamente este valor. O también hacerlo sólo en algunos ensayos para evaluar las pérdidas por fricción en el equipo.

Con respecto a la descripción del comportamiento del tijeral durante el ensayo, es importante registrar el nivel de carga para el cual se presentan los primeros signos de falla. Estos generalmente deben coincidir con la pérdida de linealidad en el diagrama carga-desplazamiento y por consiguiente indicarían una posible ubicación del límite proporcional.

Como puede observarse en casi todos los diagramas, el comportamiento de las cerchas no es estrictamente lineal inclusive desde los niveles iniciales de carga. Esto puede indicar, entre otras cosas, la adaptación del equipo a la forma de la cercha, el ajuste de las piezas y uniones a la forma realmente estable o resistente de la estructura y posteriormente el comportamiento marcadamente no lineal de las uniones y su contribución al comportamiento de toda la cercha. Esto dificulta la localización de un límite de proporcionalidad claramente definido.

Comportamiento Resistente.- El comportamiento estructural de los tijerales fue en general satisfactorio. Considerando todos los especímenes el promedio de la resistencia obtenida en los ensayos para la carga al límite proporcional con respecto a la de diseño es 1.73. La resistencia última con respecto a la de diseño es en promedio 2.64. Aunque el número de especímenes es distinto para los 3 tipos de uniones usados, se puede concluir que esta seguridad con respecto al diseño es mayor en los tijerales con cartelas metálicas (2.51 en el límite proporcional y 3.21 para la carga máxima). Le siguen los tijerales con cartelas de madera contrachapada (1.53 al L.P. y 2.06 a la carga máxima) y los con cartela de madera sólida (1.4 al L.P. y 2.7 a la carga máxima). Esta seguridad puede considerarse adecuada para ambas situaciones. Es indispensable mencionar la definición de la carga resistida en el límite proporcional que presenta las difi

cultades mencionadas anteriormente e influyen directamente en la magnitud de estos factores por lo que se considera que un mejor indicador de su comportamiento es la resistencia a la carga de rotura y colapso.

Deformaciones.- Las deformaciones que presentan los tijerales ensayados, medidas en el límite proporcional estimado, con respecto a las calculadas analíticamente varían desde 0.81 a 2.08. El promedio general es 1.45. Para la carga máxima este promedio es 2.38. Estos factores sugieren los incrementos en que sería necesario modificar las deformaciones calculadas analíticamente y que pueden considerarse son debidos a las deformaciones de las uniones.

Los tijerales con cartela de madera presentan un factor de 1.11 en el límite proporcional. Si se considera que solamente hay cartelas en las uniones de los apoyos puede concluirse que los métodos analíticos predicen bien esta deformación. Para la carga máxima este factor sube a 3.86 indicando un marcado comportamiento no lineal debido a los clavos. Esta gran diferencia en ambos factores cuantifica el comportamiento que puede observarse con claridad en los diagramas carga desplazamiento para estos tijerales (4v, 6v, 10v y 12v). Para los de cartela de madera contrachapada estos factores son 1.6 en L.P. y 1.97 para la carga máxima. Para los de cartela metálica estos factores son 1.44 en el L.P. y 1.84 para la carga máxima. Sin embargo la diferencia entre los especímenes de 6 y 8 m de luz es notable debiéndose quizás al número de clavos (al L.P., 1.91 para los de 6 m y 0.97 para los de 8m).

Ductilidad.- La relación entre la carga máxima y la carga al límite proporcional es en promedio 1.61. Las cerchas con cartelas de madera son las que mayor ductilidad presentan siendo 1.95 en promedio. Las cerchas con cartela metálica tienen solo 1.52 de ductilidad en promedio. Las de madera contrachapada son intermedias con 1.8.

Cartelas.- Las cartelas metálicas pueden ser apropiadas siempre y cuando se verifique con anterioridad su resistencia al corte ya que proveen a la estructura de rigidez adecuada. Las cartelas de madera contrachapada debe

rían ser de chapas de mayor densidad y de calidad estructural, pues los problemas en su comportamiento se pueden atribuir a la falta de estas características. Las cartelas de madera sólida son adecuadas aunque es recomendable usarlas de una sola pieza pues las deformaciones relativas entre las tablas que las constituyen son importantes. Es recomendable fabricar las uniones doblando las puntas de los clavos. De esta forma se incrementa el "agarre" de los clavos contra las cartelas.

Fallas.- En general las fallas se originaron por rotura de las cartelas de madera contrachapada o de latón, sean por corte o tracción, principalmente en los apoyos extremos. Posteriormente se presentó también pandeo de la cuerda superior, que produjo el colapso final. Sólo en un caso se presentó una falla por rotura en tracción de la cuerda inferior. (Tabla 3)

Pandeo.- En tres casos la falla se inició por pandeo de la cuerda superior. Esta está relacionada con el arriostre suministrado por los listones clavados en cada punto de aplicación de las cargas. (Se supuso que las cargas representan a las correas o viguetas que se apoyan sobre la cercha y a su vez impiden que ese punto se desplace lateralmente proporcionándole arriostre) La carga final de la cercha depende en estos casos de este arriostre, cuyo espaciamiento en una edificación real podría variar considerablemente.

Reconocimiento

Los ensayos fueron ejecutados por los ingenieros Luis Vargas L. y Fernando Alvarez P. El informe fue preparado por el Ing° Miguel Medina D. y revisado por el doctor Javier Piqué, los diagramas y dibujos fueron preparados por los señores Antonio Collao e Italo Macassi.

Agradecemos al Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) y a la Comunidad Económica Europea (CEE) cuyos aportes financieros han permitido desarrollar las actividades del PADT-REFORT. Nuestro agradecimiento al Profesor Fred J. Keenan de la Universidad de Toronto por sus valiosos comentarios y sugerencias para la mejor presentación de este informe.

REFERENCIAS

1. PADT-REFORT/JUNAC. 1981. Programa y Metodología para Ensayos a Escala Natural. Sub-proyecto 1: Estudio de la Tecnología e Ingeniería de la Madera. Junta del Acuerdo de Cartagena, Lima, Perú.
2. PADT-REFORT/JUNAC. 1979. Manual de Diseño para Maderas de la Sub-región Andina. 2a. Edición Preliminar. Junta del Acuerdo de Cartagena. Lima. Perú.
3. OZELTON, E.C., BAIRD, J.A. 1976. Timber Designer's Manual. Crosby Lockwood Staples. London. England
4. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1974. Standard Methods of Testing Truss Assemblies. ASTM E73-74. Annual Book of ASTM Standards. Part 18 . Philadelphia

ANEXO : GRAFICOS DE LOS REGISTROS DE ENSAYO

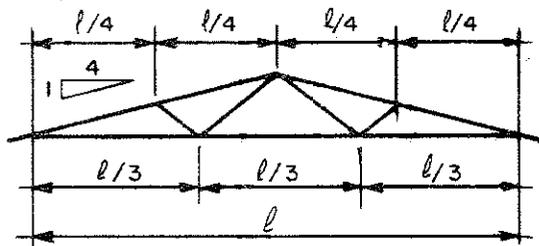


FIG. 1 GEOMETRIA BASICA DE LOS TIJERALES ENSAYADOS

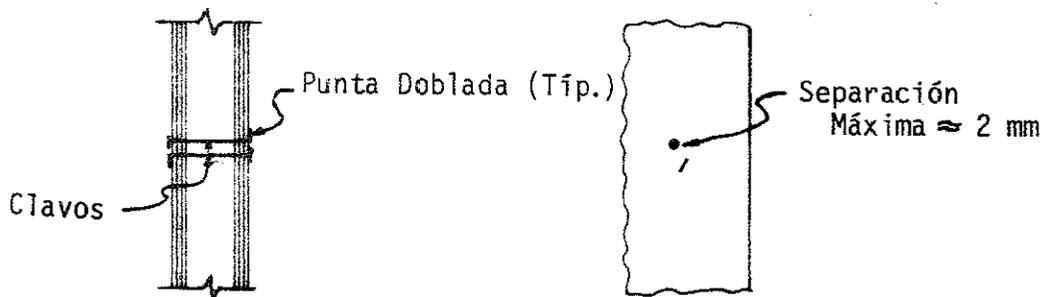


FIG. 2 DETALLE DE CLAVADO DE LAS CARTELAS O PLETINAS O ENSAMBLES TIPO SANDWICH

NUMERO TOTAL DE CLAVOS

TIJERAL	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1v	16(8)*	16(8)	4(2)	4(2)	12(6)	4(2)	4(2)	4(2)	6(3)
3v	32(16)	30(15)	8(4)	8(4)	22(11)	8(4)	8(4)	8(4)	12(6)
5v	38(19)	36(18)	8(4)	8(4)	24(12)	8(4)	10(5)	8(4)	12(6)
7v	22(11)	22(11)	6(3)	6(3)	14(7)	8(4)	6(3)	6(3)	8(4)
9v	44(22)	42(21)	10(5)	10(5)	28(14)	8(4)	10(5)	10(5)	16(8)
11v	50(25)	48(24)	10(5)	10(5)	32(16)	8(4)	12(6)	10(5)	16(8)

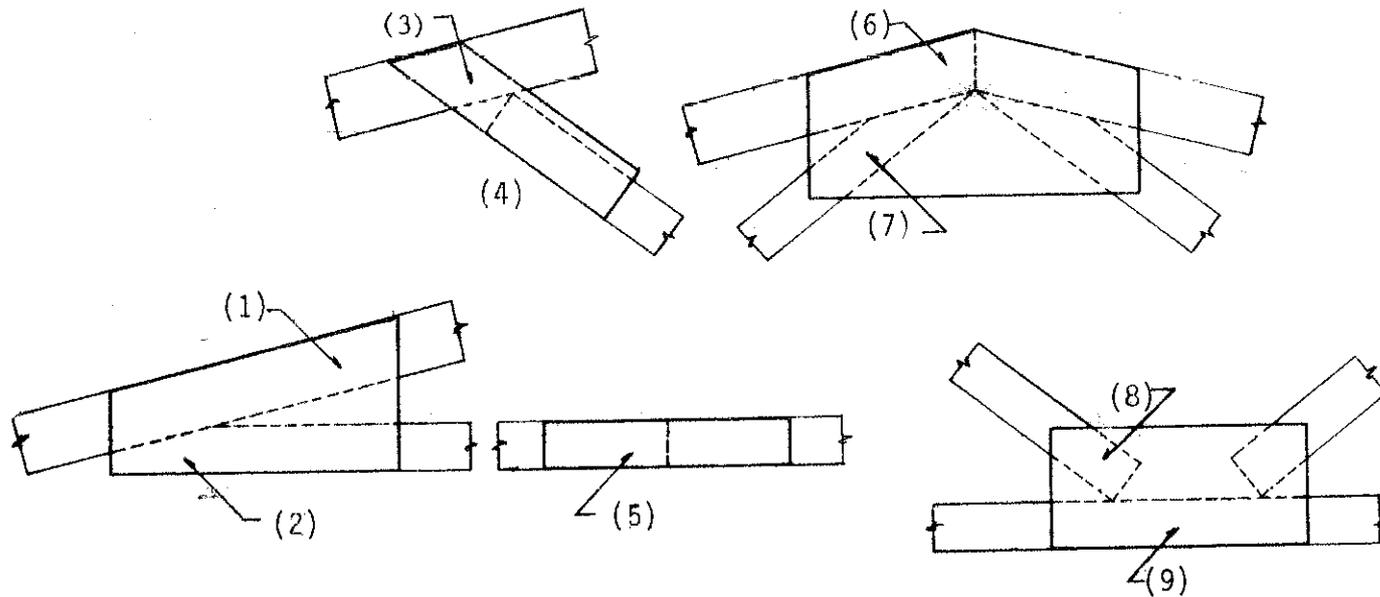


FIG. 3 NUDOS TÍPICOS CARTELAS DE MADERA CONTRACHAPADA

(*) La cifra en paréntesis indica el número de clavos por lado

FIG. 3 (CONT) MEDIDAS DE LAS CARTELAS USADAS (EN mm)

TIJERAL	FORMA									
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
1v	135	210	290	290	65	195	420	420	185	130
3v	180	305	450	390	65	230	440	690	215	350
5v	200	300	405	400	65	230	415	510	235	390
7v	185	275	345	395	65	215	430	510	220	340
9v	190	305	450	430	65	235	470	600	235	470
11v	190	315	490	425	65	250	550	690	265	420

TIJERAL	NUMERO DE CLAVOS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2v.	16(8)*	16(8)	4(2)	12(6)	4(2)	4(2)	4(2)	6(3)
8v.	22(11)	22(11)	6(3)	14(7)	8(4)	6(3)	6(3)	8(4)

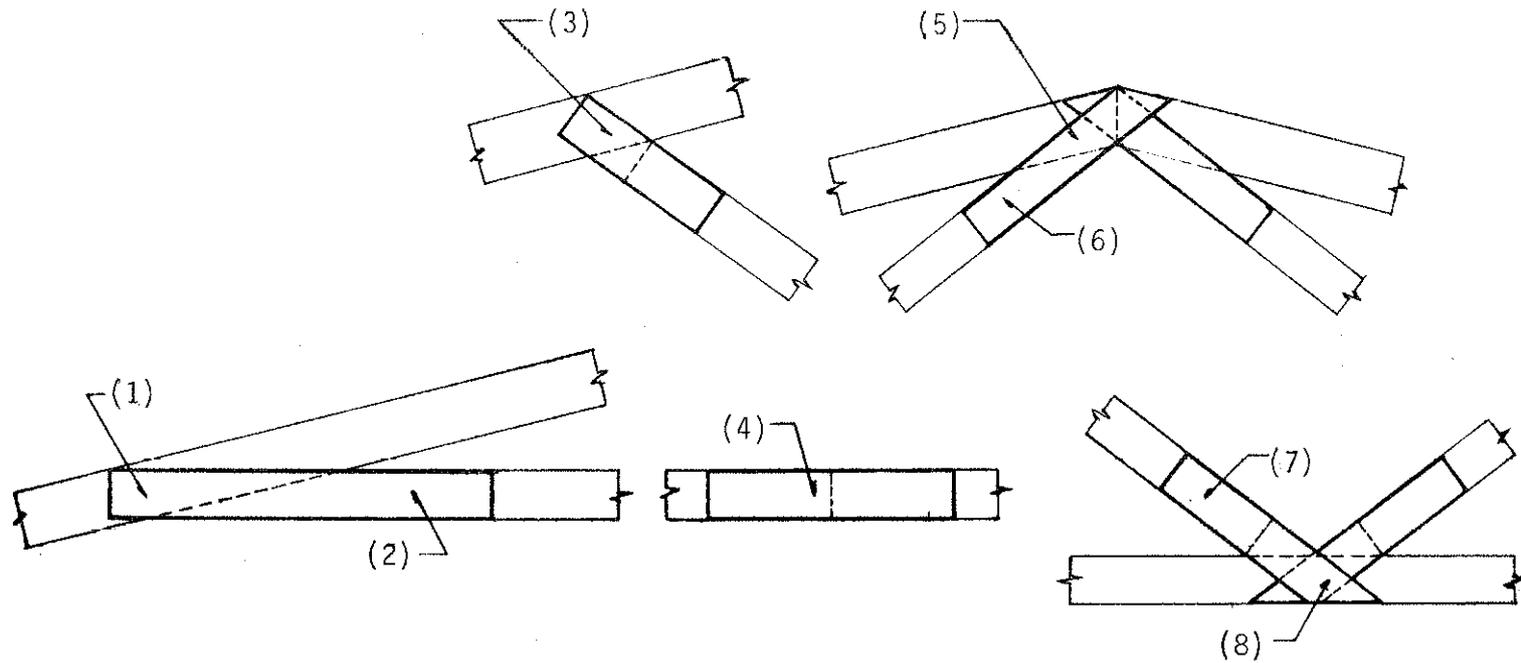


FIG. 4 NUDOS TÍPICOS PLETINAS DE METAL (Planchas de acero galvanizado de 1/40")
 (*) La cifra entre paréntesis indica el número de clavos por lado.

TIJERAL	NUMERO DE CLAVOS							DIMENSIONES DE CARTELAS		
	1	2	3	4	5	6	7	a	b	c
4v	16(8)*	16(8)	8(4)	8(4)	22(11)	8(4)	8(4)	175	175	690
6v	20(10)	24(12)	8(4)	10(5)	28(14)	8(4)	10(5)	230	275	780
10v	16(8)	16(8)	8(4)	8(4)	20(10)	8(4)	8(4)	217	217	740
12v	20(10)	16(8)	8(4)	8(4)	24(12)	8(4)	8(4)	272	217	850

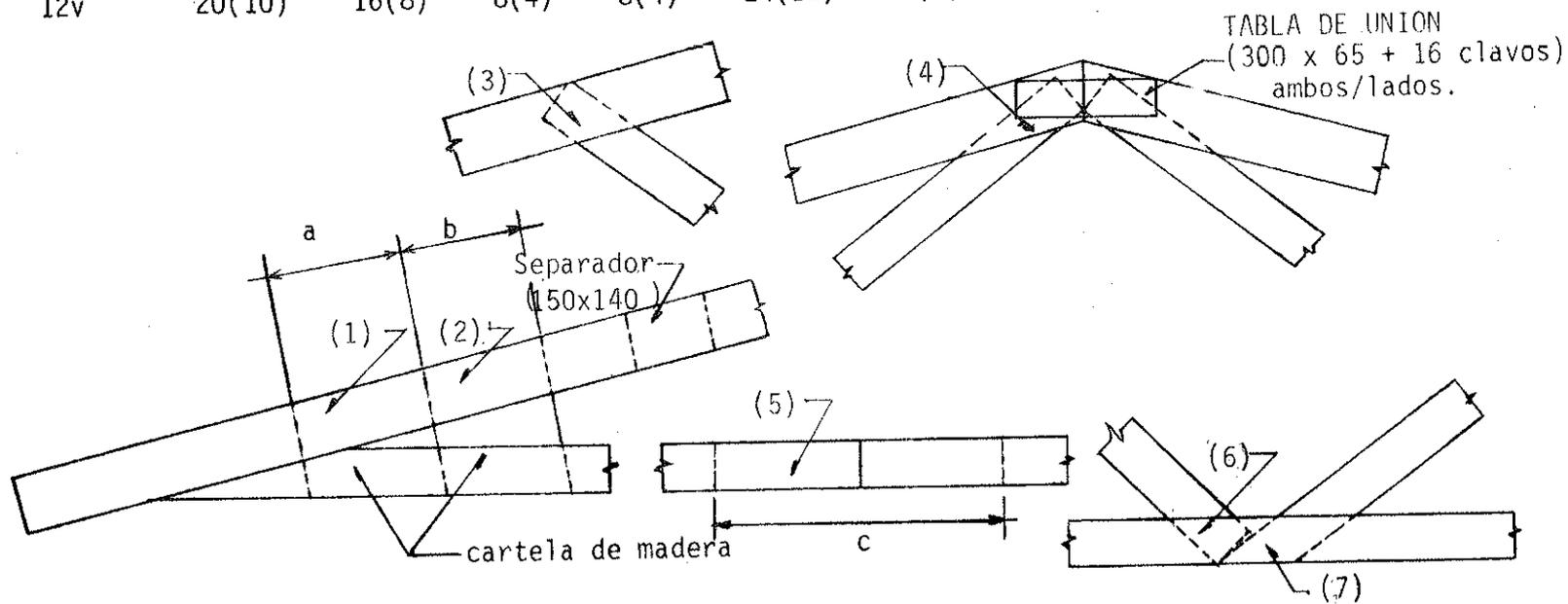


FIG. 5 NUDOS TIPO UNIONES TIPO SANDWICH

(*) La cifra entre paréntesis indica el número de clavos por lado.

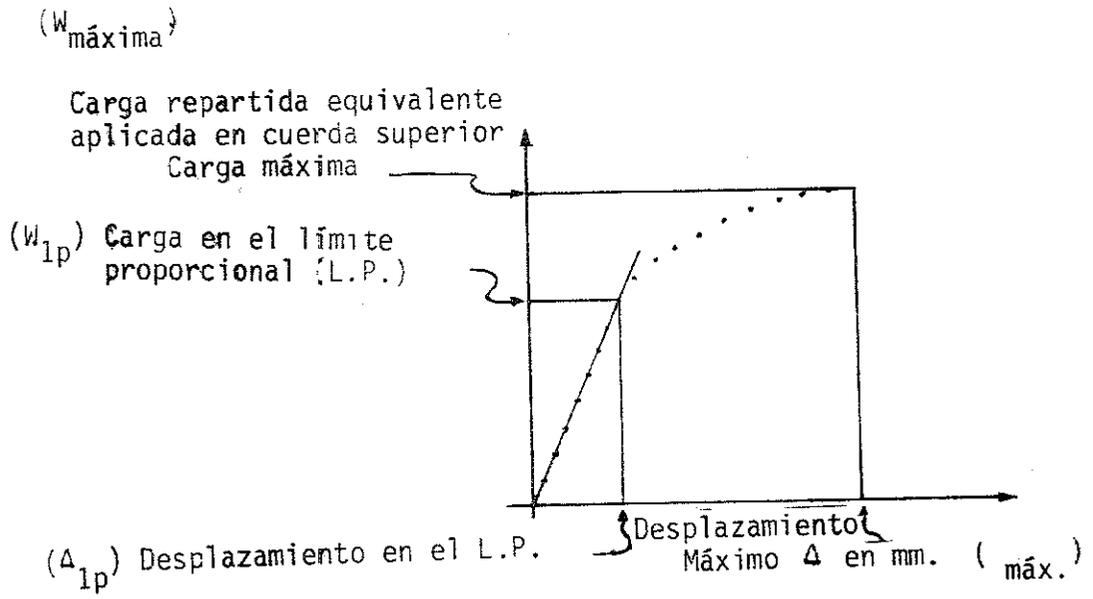


FIG. 6 DIAGRAMA CARGA-DEFLEXION TIPICO

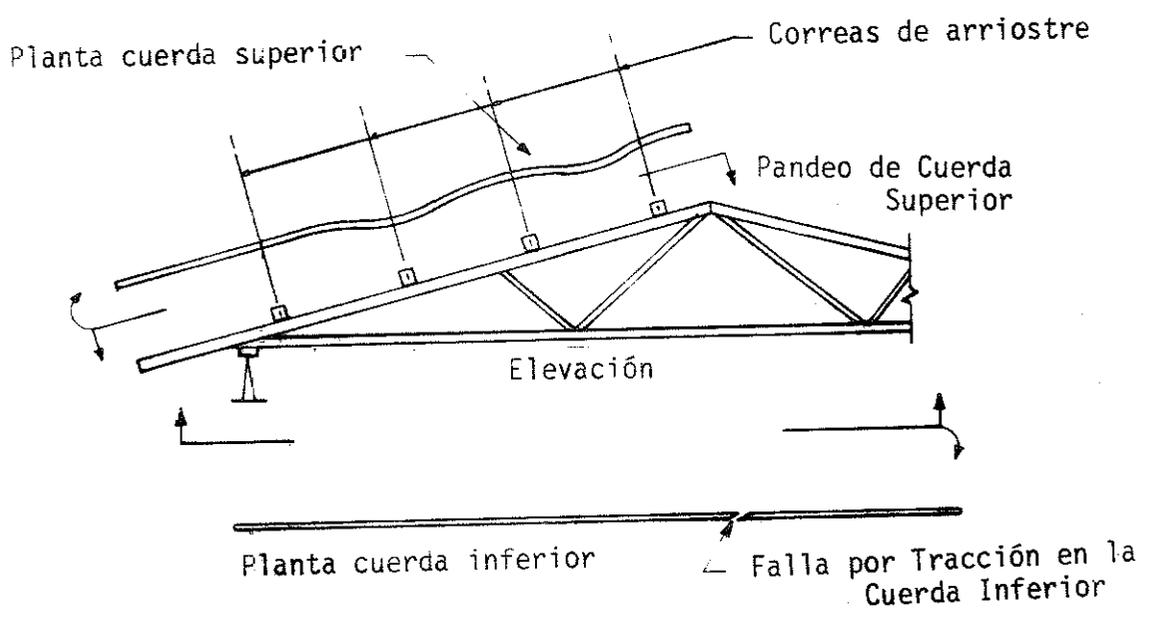
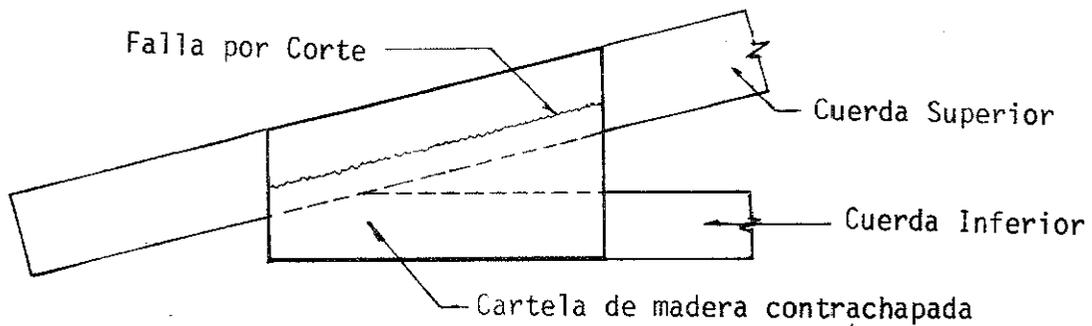
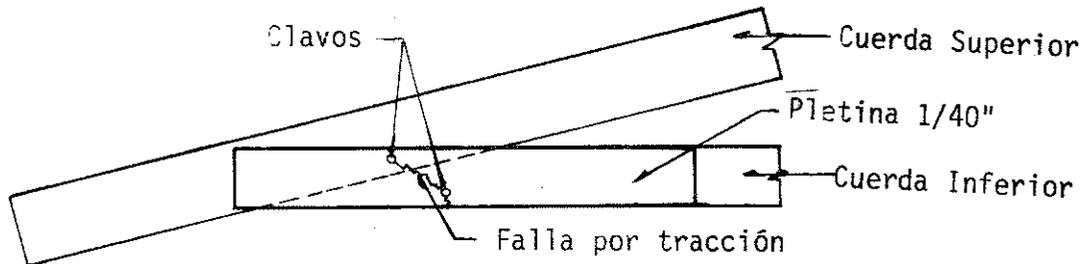


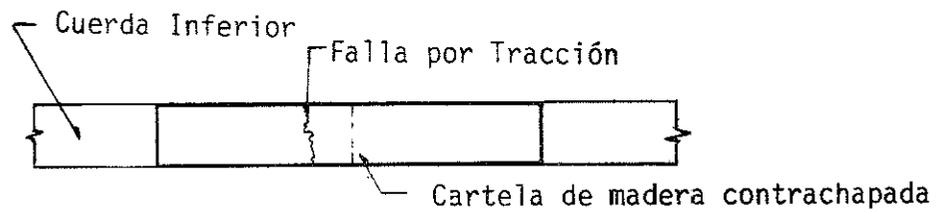
FIG. 7 FALLAS TIPICAS EN LOS ELEMENTOS DEL TIJERAL



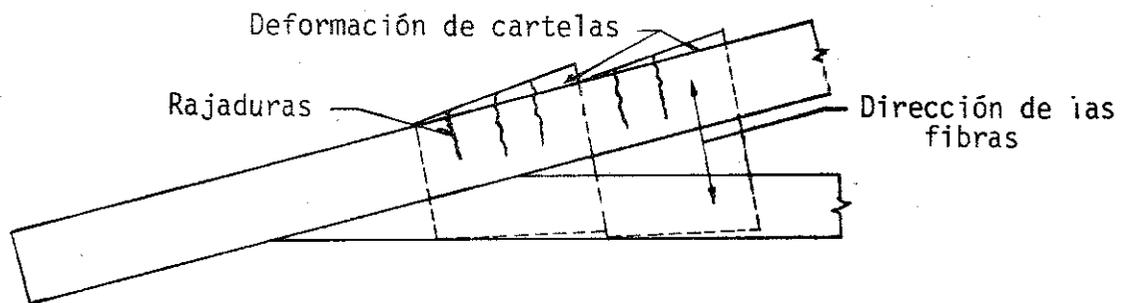
(a) Falla por corte de las cartelas de madera contrachapada



(b) Falla por tracción en las pletinas metálicas



(c) Falla por Tracción en el empalme de cuerdas inferiores



(d) Falla de las cartelas interiores en los ensambles tipo sandwich.

FIG. 8 FALLAS TÍPICAS EN LAS UNIONES.

5.8

2.8

TABLA 1 DESCRIPCION DE LOS ESPECIMINES

ESTADO CARGA	TIJERAL*	LUZ	CARTELAS	CLAVOS (pulg)	DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS (mm)		
					Cuerda Superior	Cuerda Inferior	Diagonal
I	1v	6m	Madera contrachapada 12 mm	3	40 x 90	40 x 65	40 x 65
I	2v	6m	Pletina 1/40" espesor	2 1/2	40 x 90	40 x 65	40 x 65
II	3v	6m	Madera contrachapada 12 mm	3	40 x 140	40 x 65	40 x 65
II	4v	6m	Madera Tornillo 20 mm	3	2 x 20 x 140	2 x 20 x 90	20 x 65
III	5v	6m	Madera contrachapada 12 mm	3	40 x 140	40 x 90	40 x 65
III	6v	6m	Madera Tornillo 20 mm	3	2 x 30 x 140	2 x 20 x 90	20 x 65
I	7v	8m	Madera contrachapada 12 mm	3	40 x 140	40 x 65	40 x 65
I	8v	8m	Pletina 1/40" espesor	2 1/2	40 x 140	40 x 65	40 x 65
II	9v	8m	Madera contrachapada 12 mm	3	40 x 140	40 x 90	40 x 65
II	10v	8m	Madera Tornillo 30 mm	4	2 x 30 x 140	2 x 30 x 90	30 x 65
III	11v	8m	Madera contrachapada 12 mm	3	40 x 140	40 x 90	40 x 65
III	12v	8m	Madera Tornillo 30 mm	4	2 x 30 x 140	2 x 30 x 90	30 x 65

* Todos los Tijerales tienen la geometría mostrada en la Fig. 1. Tipo W. Pendiente 1:4
La madera de los elementos fue de la especie Tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*).

TABLA 2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

TIJERAL	1v	2v	2vR*	3v	4v	5v	5vR	6v	7v	8v	8vR	9v	9vR	10v	11v	11vR	12v
LUZ	←-----6m----->								←-----8m----->								
ESTADO DE CARGA	I	I	I	II	II	III	III	III	I	I	I	II	II	II	III	III	III
W_{lp} (kg/m)	192	208	312	304	192	330	374	368	238	108	280	260	240	200	252	140	360
CUERDA SUPERIOR																	
$W_{m\acute{a}ximo}$ (kg/m)	304	296	352	624	405	454	555	720	290	220	416	404	405	388	356	280	648
CUERDA INFERIOR W (kg/m)	---	---	---	---	---	30	30	30	---	---	---	---	---	---	30	30	30
MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MADERA E **	90000																
Δ_{lp} (calculado)(mm)	14	15	23	19	10	26	29	18	26	12	30	23	21	12	25	12.5	24
$\Delta_{max.}$ (calculado)(mm)	22	22	26	38	21	36	42	34	31	24	45	36	36	24	34	25.1	42
Δ_{lp} (ensayo)(mm)	23	30	41	23	15	28	34	19	52	12	28	39	38	10	44	26	25
$\Delta_{max.}$ (ensayo) (mm)	67	51	52	91	113	42	58	165	73	32	60	70	70	60	64	58	110

* Los tijerales que llevan R fueron ensayados nuevamente luego de corregirse la primera falla.

** El m3dulo de elasticidad es 90000 Kg/cm² igual para todos los tijerales.

TABLA 3. DESCRIPCION DE LAS FALLAS TIPICAS

TIJERAL N°	FORMA DE FALLA
1v	Fallan uniones de ambos apoyos. En ambos casos el desplazamiento de la cuerda superior al incrementarse las cargas originan falla de la unión de la cartela con la cuerda superior. La cartela falla por corte siguiendo la línea definida por los clavos. (Fig. 8a).
2v	Falla brusca por tracción en pletina de apoyo izquierdo siguiendo una línea entre clavos. (Fig. 8b). Inicio de pandeo en cuerda superior. Pletina en unión central en compresión mostró indicios de pandeo.
2vR	Falla por pandeo de la cuerda superior (Fig. 7)
3v	Fallan uniones de ambos apoyos. En ambos casos el desplazamiento de la cuerda superior al incrementarse las cargas originan falla de la unión de la cartela con la cuerda superior. La cartela falla por corte siguiendo la línea definida por los clavos (Fig. 8a).
4v	Primeramente rajaduras en la cartela intermedia de madera en apoyos, paralela a sus fibras (Fig. 8d). Luego rotación de cartela. Finalmente se presenta notorio pandeo de la cuerda superior fuera del plano. Se observó deficiencia del arriostre lateral para este nivel de cargas.
5v	Falla brusca de cartela de madera contrachapada empalme central de cuerda inferior. La falla es de tracción en el contrachapado siguiendo línea perpendicular al alineamiento de los clavos. Aparecen rajaduras en la cuerda superior (zona adyacente al lado izquierdo del nudo central) siguiendo dirección de las fibras.
5vR	Pandeo de cuerda superior hasta la falla del elemento rajado en el ensayo previo (5v). Además falla cartela de contrachapado del nudo intermedio del lado izquierdo de cuerda superior.
6v	La falla se inicia en los apoyos donde se presentan rajaduras por corte paralelo a las fibras. Las cargas se siguen incrementando, sin embargo, hasta que se produce el pandeo de la cuerda superior lateral izquierda.

TABLA 3. (continuación)

TIJERAL N°	FORMA DE FALLA
7v	Fallan uniones de ambos apoyos. En ambos casos el desplazamiento de la cuerda superior al incrementarse las cargas originan falla de la cartela de madera contrachapada por corte paralelo a la línea definida por los clavos.
8v	Falla brusca por tracción en pletina metálica del apoyo izquierdo siguiendo una línea perpendicular a las líneas de clavos.
8vR	Falla del apoyo izquierdo por extracción de los clavos que sujetan la pletina metálica. Adicionalmente se presenta ligero pandeo de la cuerda superior.
9v	Falla por tracción de la cartela de madera contrachapada que une las cuerdas inferiores en la parte central siguiendo una perpendicular a las líneas de clavos.
9vR	Falla unión del apoyo izquierdo al cizallarse la cartela de madera contrachapada en la unión con la cuerda superior. La falla sigue la dirección de las líneas de clavos.
10v	Falla la unión del apoyo izquierdo con la cuerda inferior siguiendo la dirección de las fibras y el alineamiento de los clavos. Al fabricar la cercha se presentaron rajaduras iniciales durante el clavado que orientaron posteriormente la falla.
11v	Falló la cuerda inferior por tracción siguiendo la inclinación del grano.
11vR	Cuerda superior presenta arqueadura originada por el ensayo anterior. La falla se origina con el pandeo de la cuerda superior presentándose luego en la cartela de la unión del apoyo. Esta última debida posiblemente también al ensayo anterior.
12v	La falla se inicia en las cartelas de madera de los apoyos donde se presentan rajaduras por corte en la dirección paralela a las fibras como consecuencia del desplazamiento relativo entre las cuerdas superior e inferior. Aparece simultáneamente un ligero pandeo en la cuerda superior que al incrementarse con las cargas conduce a la falla final.

TABLA 4 RESULTADOS PARAMETRICOS DE LOS ENSAYOS

TIJERAL	1v	2v	2vR	3v	4v	5v	5vR	6v	7v	8v	8vR	9v	9vR	10v	11v	11vR	12v
ESTADO DE CARGA	I	I	I	II	II	III	III	III	I	I	I	II	II	II	III	III	III
Δ_{lp} ensayo/ Δ_{lp} calculado	1.65	2.00	1.81	1.24	1.50	1.08	1.16	1.07	2.02	1.00	0.93	1.68	1.76	.81	1.75	2.08	1.04
$\Delta_{m\acute{a}x.}$ ensayo/ $\Delta_{m\acute{a}x.}$ calc.	3.03	2.65	2.03	2.40	5.36	1.17	1.37	4.91	2.33	1.33	1.34	1.94	1.34	2.51	1.86	2.31	2.64
W_{lp} ensayo/ W_{lp} dise\~no	1.92	2.08	3.12	1.52	0.96	1.63	1.87	1.84	2.38	2.04	2.80	1.30	1.20	1.00	1.26	0.7	1.80
$W_{m\acute{a}x.}$ ensayo/ $W_{m\acute{a}x.}$ dise\~no	3.04	2.96	3.52	3.12	2.03	2.24	2.77	3.60	2.90	2.20	4.16	2.02	2.04	1.94	1.78	1.4	3.24
W_{lp} ensayo/ W_{lp} ensayo	1.58	1.42	1.13	2.05	2.11	1.38	1.49	1.96	1.22	1.08	1.49	1.55	1.70	1.94	1.45	2.0	1.80

FIGURAS Y TABLAS

ESPECIMEN Nº 1

Cuerdas simples
Cartelas de contrachapado 12 mm
Sin carga en cuerda inferior

W (kg/m)

500

400

300

200

100

20

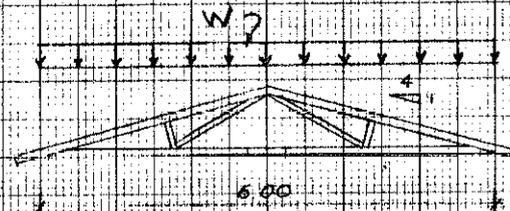
40

60

80

100

Δ (cm)



ESPECIMEN Nº 2

Cuerdas simples
Cartelas de latón (1/40")
Sin carga en cuerda inferior

$W (N/m)$

34

500

400

300

200

100

20

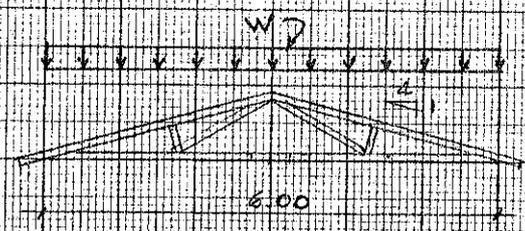
40

60

80

100

$\Delta (mm)$



ESPECIMEN N° 2-R

Cuerdas simples
Cartelas de latón (1/40")
Sin carga en cuerda interior

W
(kg/m)

500

400

300

200

100

10

20

30

40

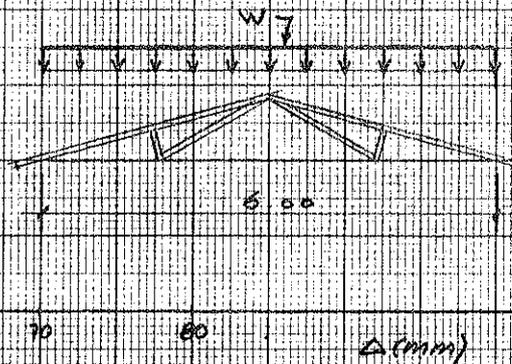
50

60

70

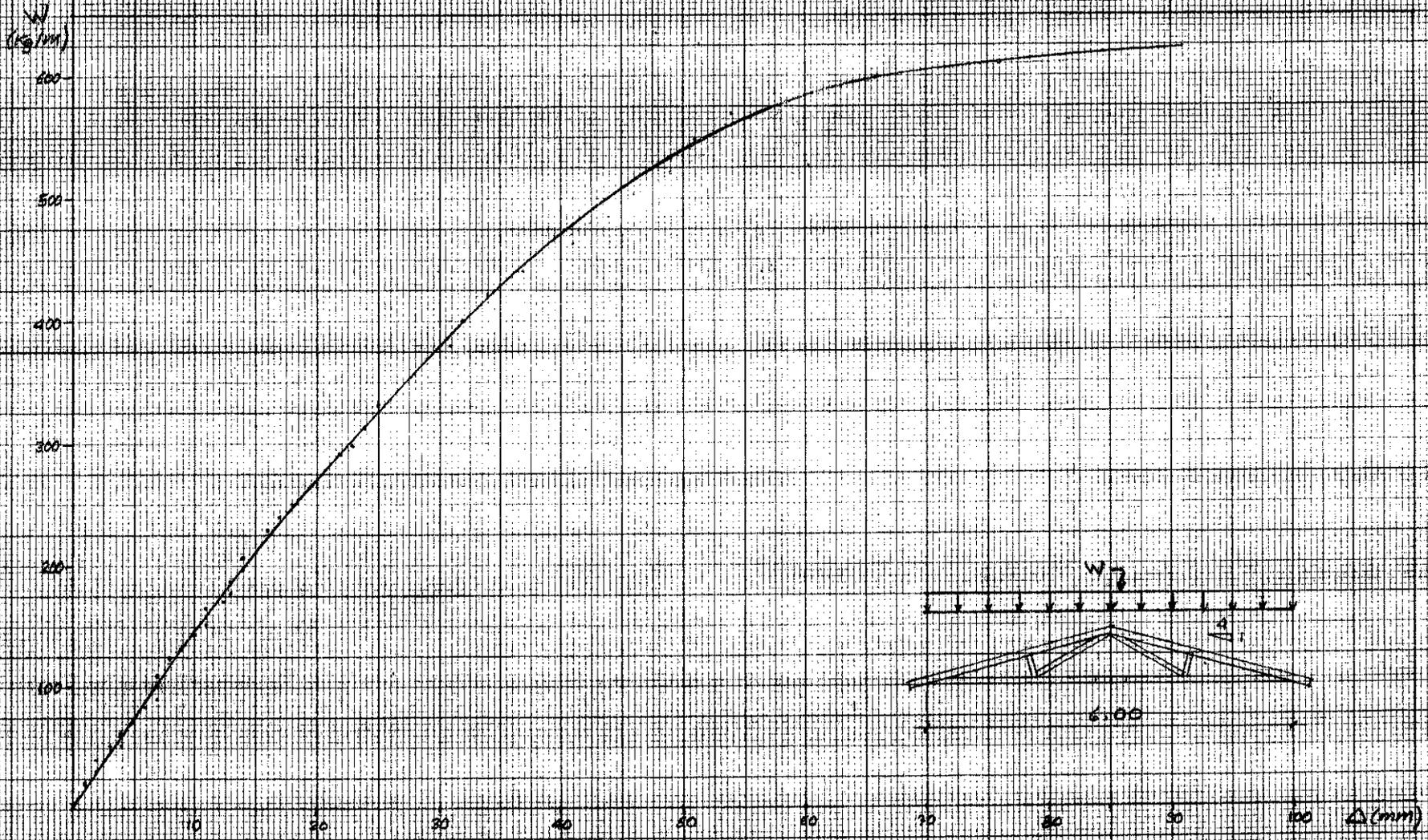
80

Δ (mm)



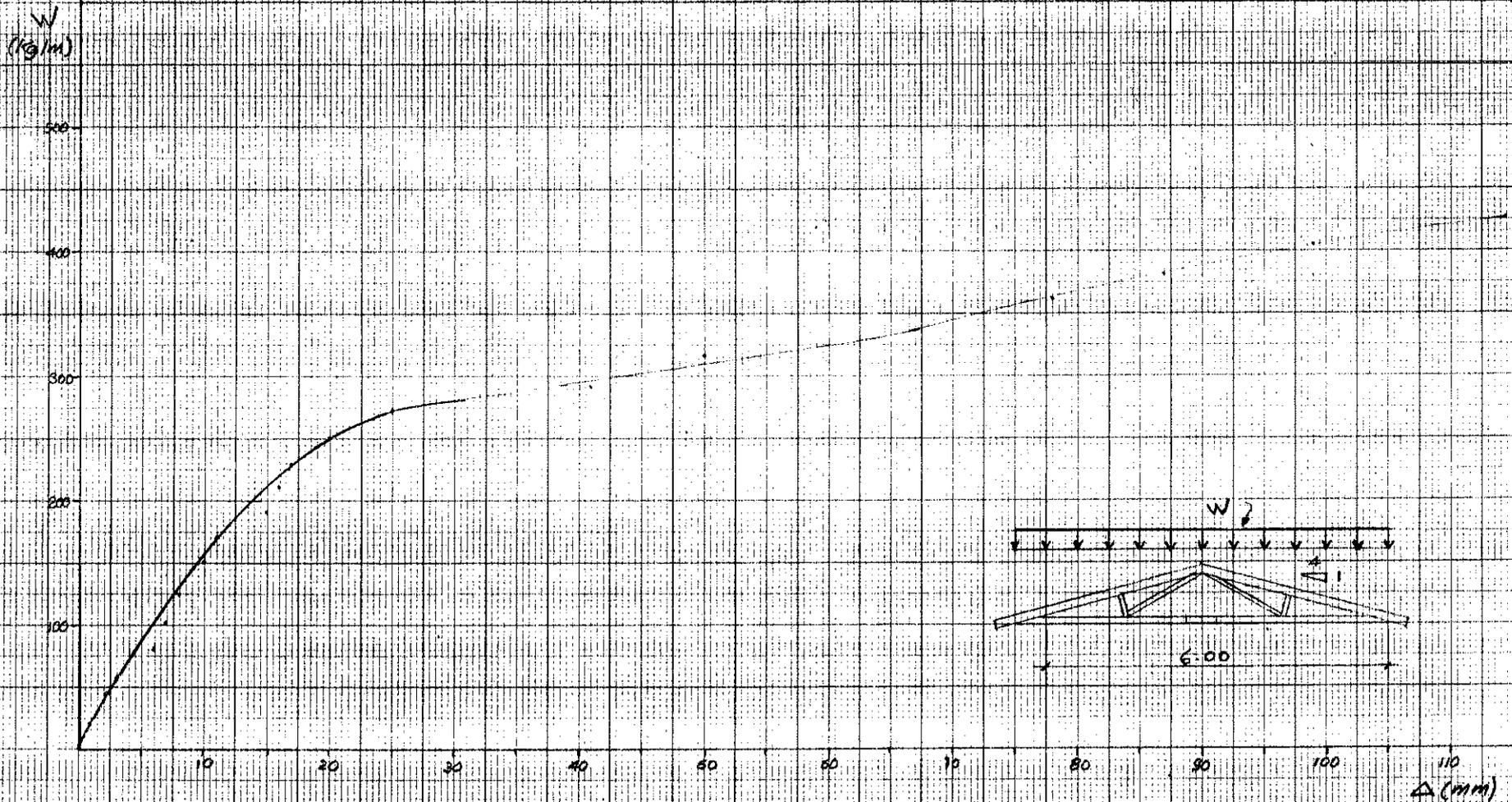
ESPECIMEN Nº 3

Cuerdas simples
Cartelos de contrachapado 12 mm
Sin carga en cuerda inferior



ESPECIMEN Nº 4

Cuerdas dobles, diagonales simples
Cartela de madera: 20 mm (solo en apoyo)
Sin carga en cuerda inferior



- 37 -

ESPECIMEN Nº 5

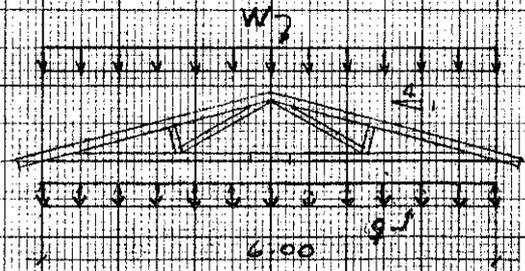
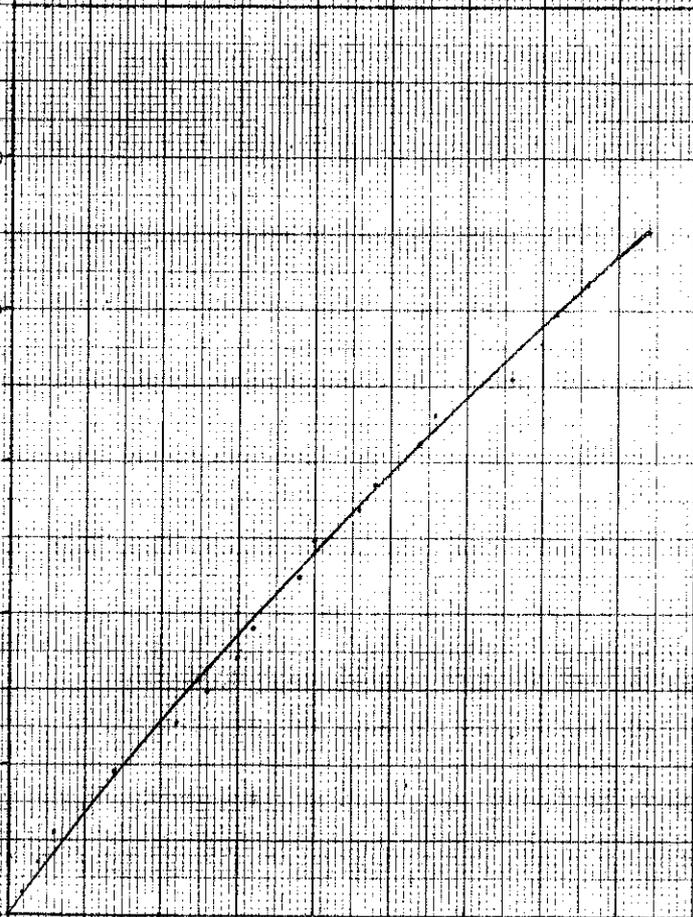
Cuerdas simples
Cartelas de contrachapado (12 mm)
Carga en cuerda inferior

W (kg/m)

38

500
400
300
200
100

10 20 30 40 50 60



Δ (mm)

ESPECIMEN N° 5-R

Cuerdas simples
Cartelas de contrachapado (12 mm)
Carga en cuerda inferior

W
(Kg/m)

-68

500

400

300

200

100

10

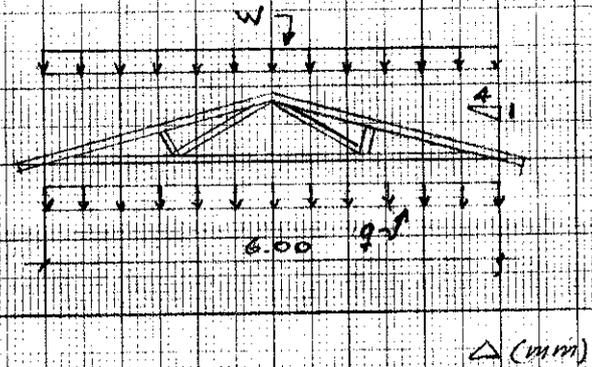
20

30

40

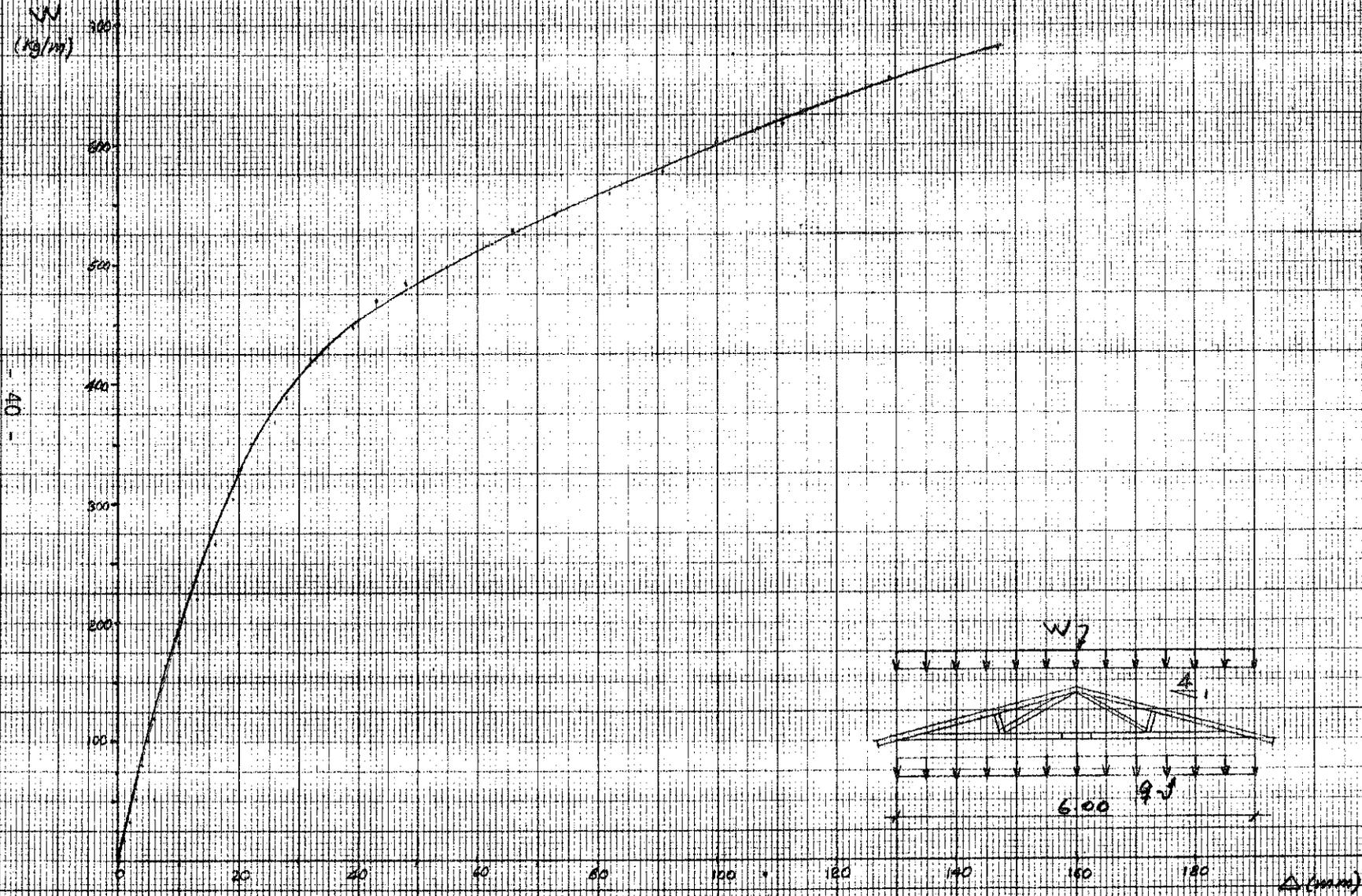
50

60



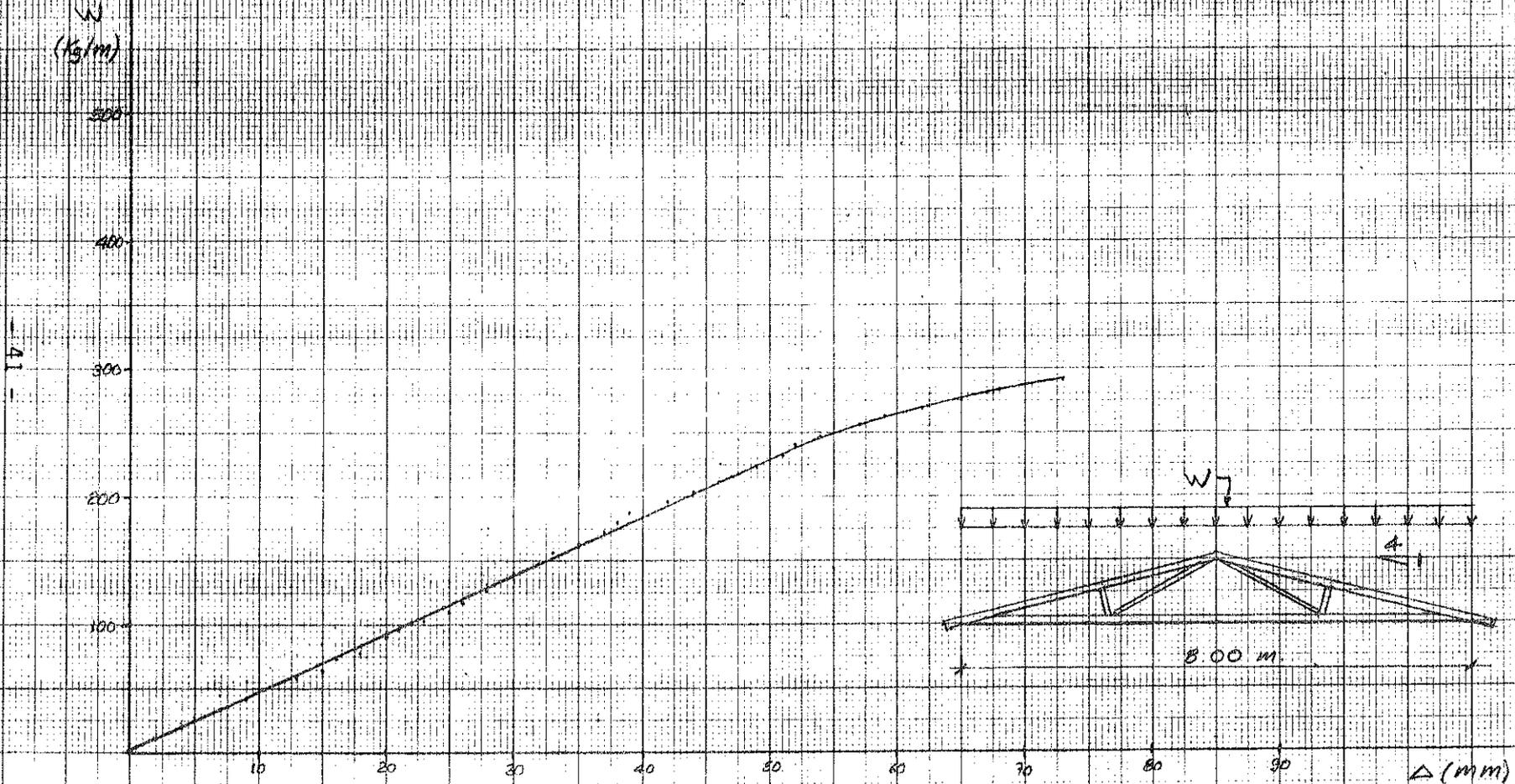
ESPECIMEN N° 6

Cuerdas dobles, diagonales simples
Carteles de madera, 20 mm (solo en apoyos)
Carga en cuerda inferior



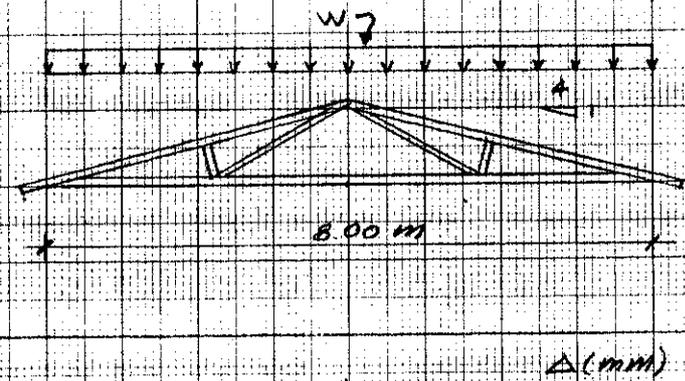
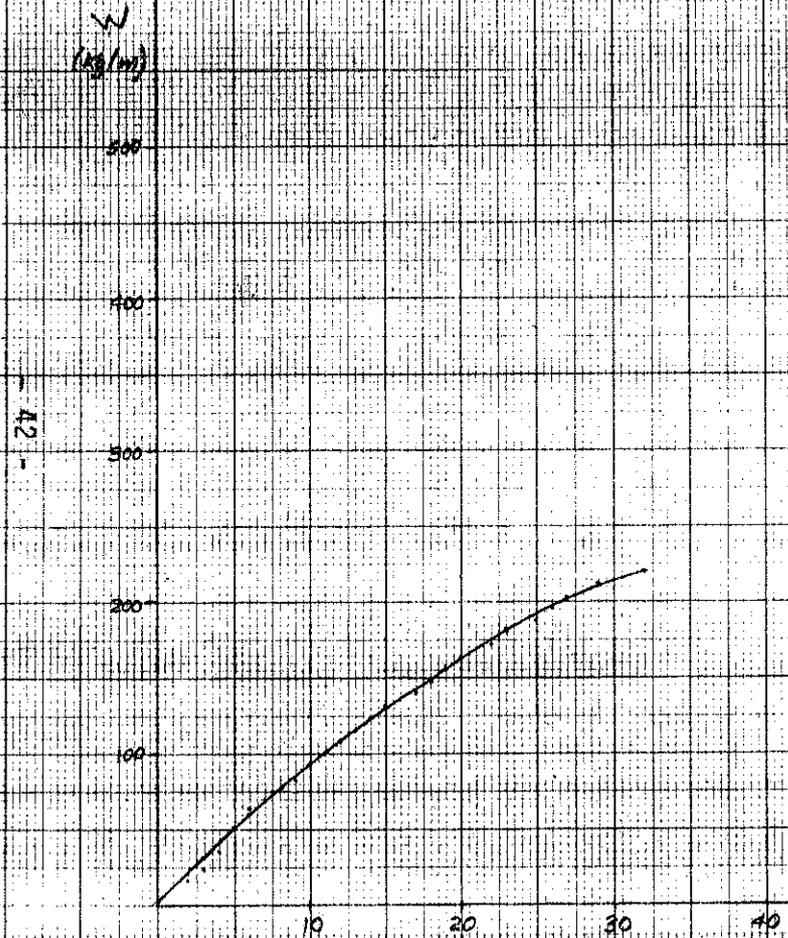
ESPECIMEN Nº 7

Cuerdas simples
Cartelas de contrachapado (12 mm)
Sin carga en cuerda interior



ESPECIMEN Nº 8

Cuerdas simples
Cartela de latón (1/40")
Sin carga en cuerda interior

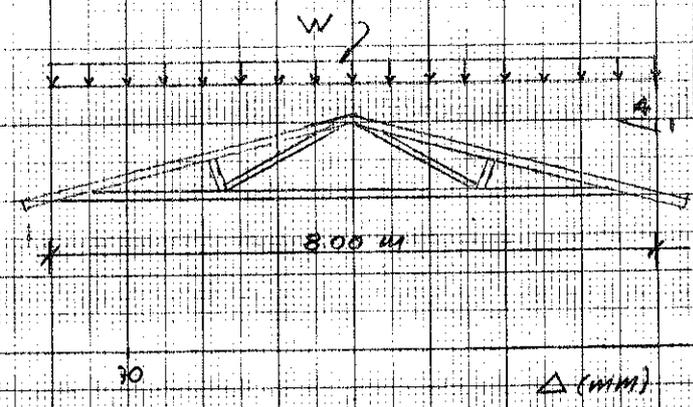
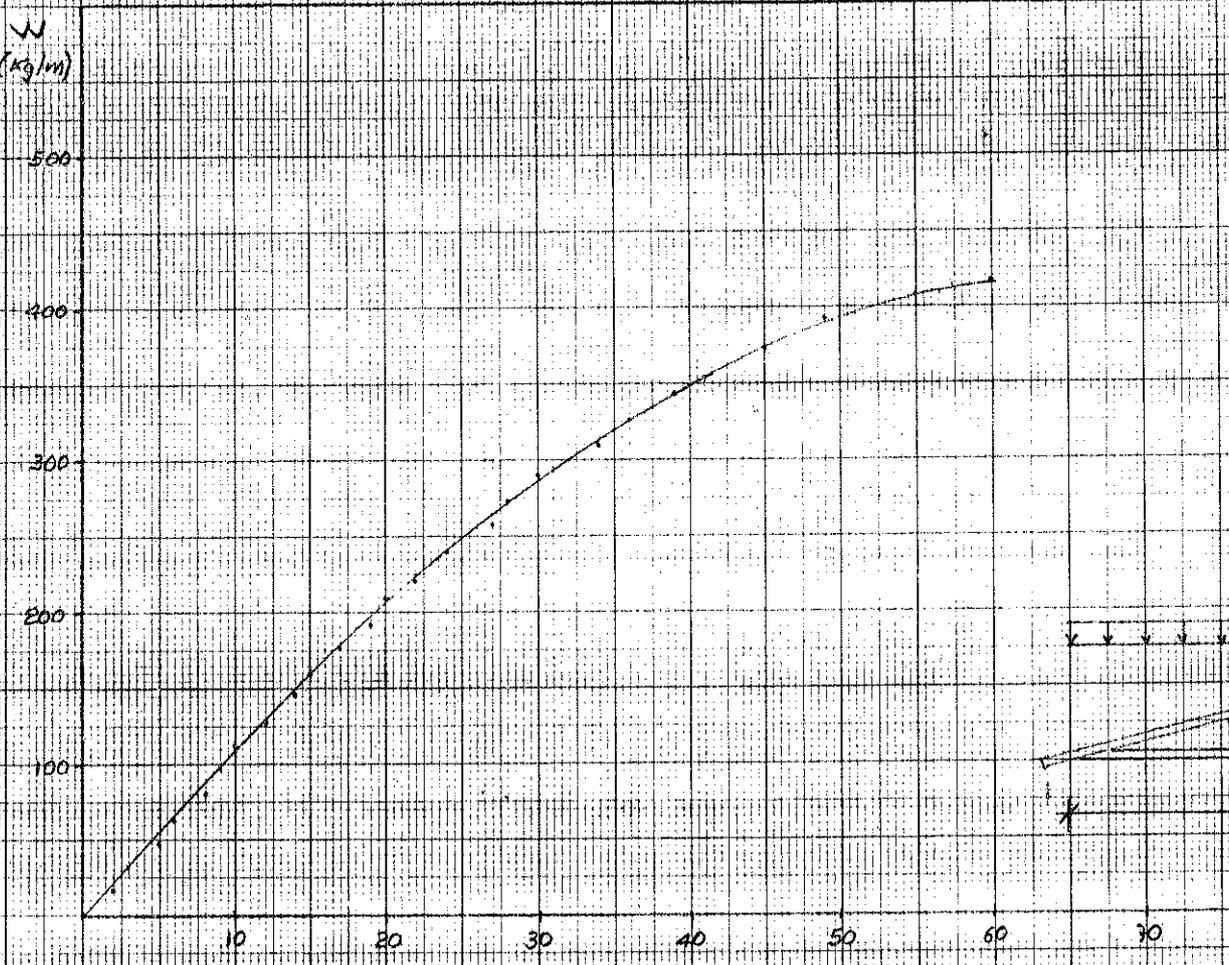


ESPECIMEN N° 8-R

Cuerdas simples
Cartela de latón (1/40")
Sin carga en cuerda inferior

W
(kg/m)

- 43 -



ESPECIMEN Nº 9

Cuerdas simples
Cartelas de contrachapado (12 mm)
Sin carga en cuerda inferior

W
(Kg/m)

500

400

200

100

10

20

30

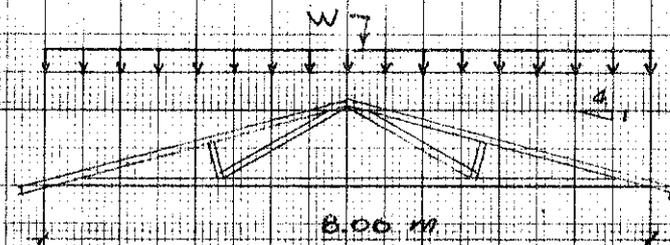
40

50

60

70

Δ (mm)



14

ESPECIMEN N° 9-R

Cuerdas simples
Cartelas de contrachapado (12 mm)
Sin carga en cuerda interior

W (kg/m)

45

500

400

300

200

100

10

20

30

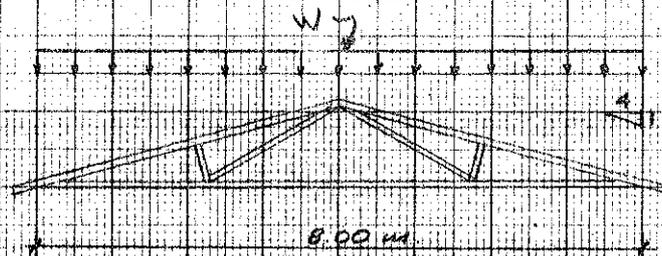
40

50

60

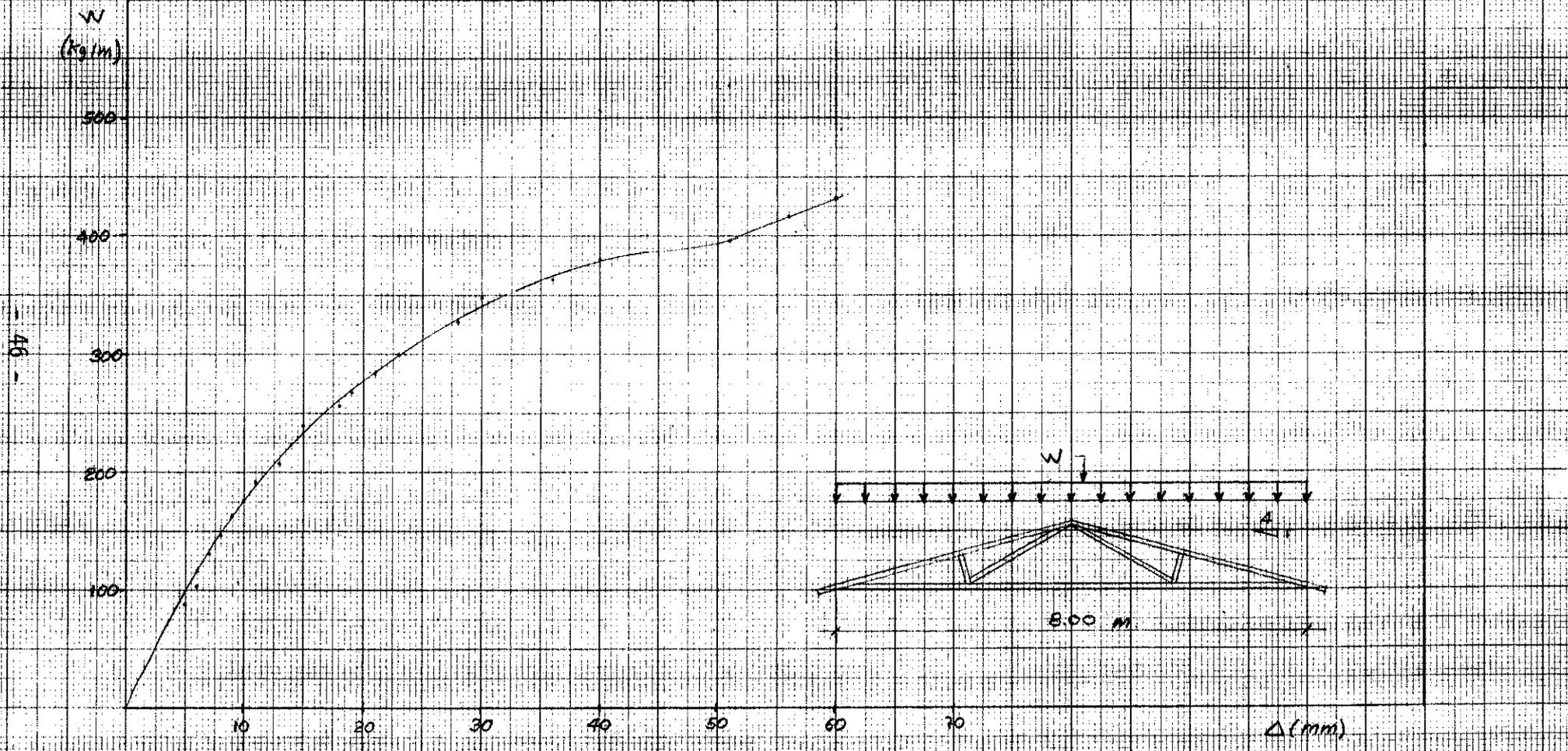
70

Δ (mm)



ESPECIMEN N° 10

Cuerdas dobles, diagonales simples
Cartelas de madera, 30 mm (solo en apoyos)
Sin carga en cuerda inferior



ESPECIMEN Nº 11

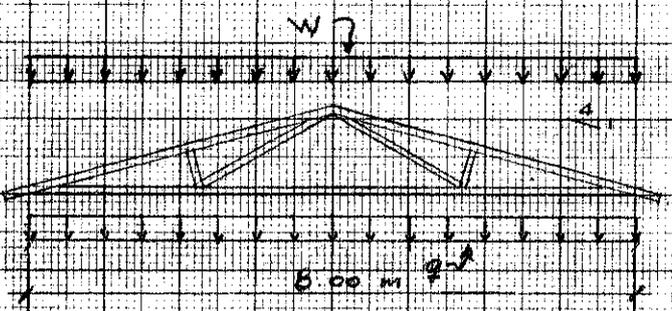
Cuerdas simples
Cartelas de contrachapado (12 mm)
Cargas en cuerda inferior

W (kg/m)

- A7 -

500
400
300
200
100

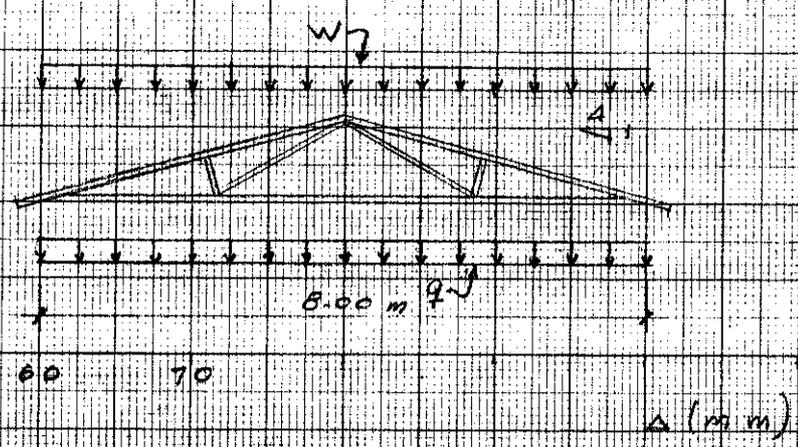
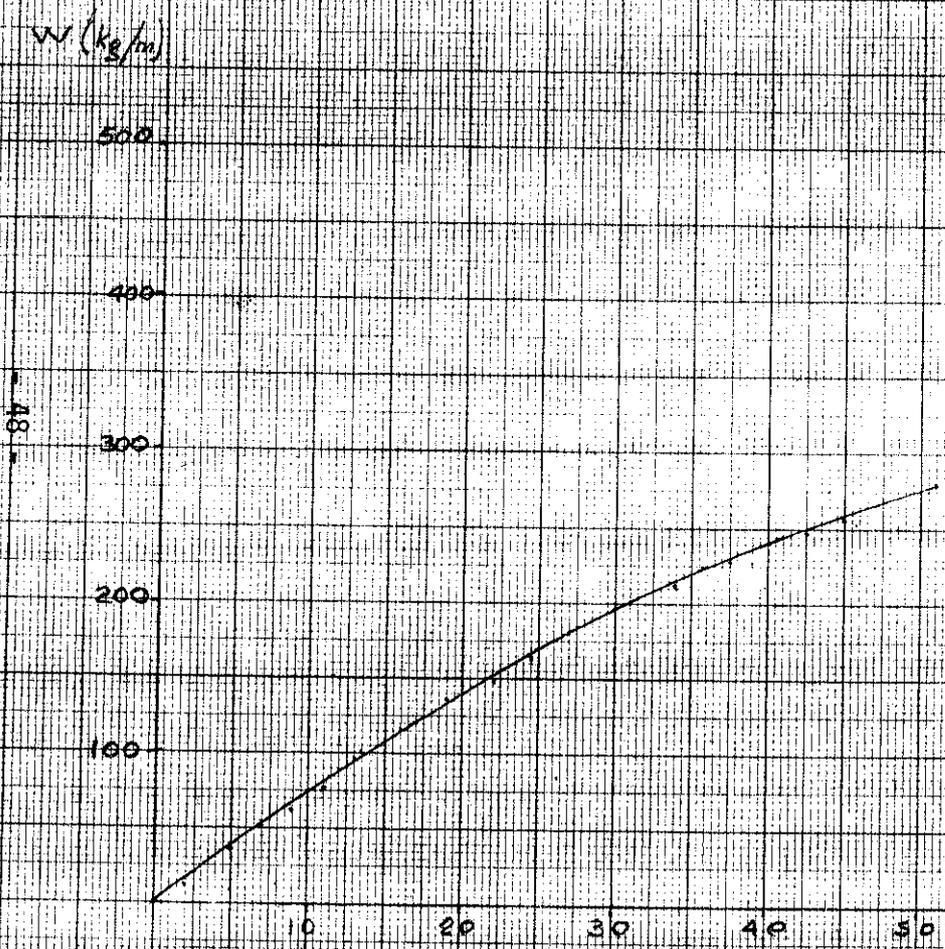
10 20 30 40 50



A (mm)

ESPECIMEN Nº 11-R

Cuerdas simples
Cartelas de contrachapado (12 mm)
Cargas en cuerda inferior



ESPECIMEN Nº 12

Cuerdas dobles

Cartelas de madera 30 mm (solo en apoyos)

Carga en cuerda inferior

W
(Kg/m)

600

500

400

300

200

100

0

20

30

40

50

60

70

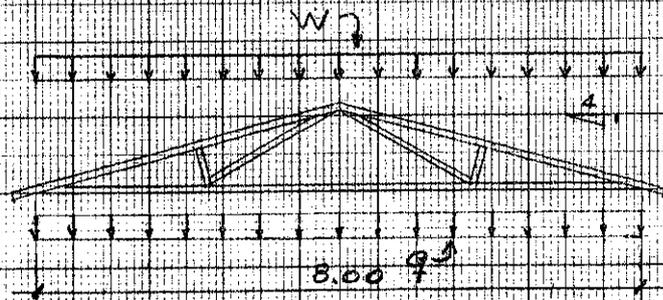
80

90

100

110

x (mm)



En setiembre de 1974, la Comisión del Acuerdo de Cartagena —su máximo organismo— aprobó la Decisión 89 constituyendo los Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales Tropicales (PADT-REFORT). Los PADT son uno de los instrumentos de política tecnológica del Acuerdo de Cartagena dentro del área de asimilación y generación de tecnología destinado a solucionar problemas subregionales de interés común y de importancia económica y social.

Los PADT-REFORT están constituidos por un conjunto de proyectos orientados a la utilización racional de la madera proveniente de los bosques tropicales de la Subregión y se realizan con la participación de instituciones nacionales con la coordinación de la Junta del Acuerdo de Cartagena. En los países la ejecución de las actividades de los PADT-REFORT es responsabilidad de las siguientes instituciones:

Bolivia	:	Centro de Desarrollo Forestal
Colombia	:	Instituto Nacional de Recursos Naturales y del Ambiente. INDERENA.
Ecuador	:	Programa Forestal del Ministerio de Agricultura y Ganadería.
Perú	:	Instituto Nacional Forestal y de Fauna. INFOR.
Venezuela	:	Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

La presente publicación es un informe de las investigaciones realizadas en el Laboratorio Andino de Ingeniería de la Madera (LADIMA) por el personal técnico de la Junta del Acuerdo de Cartagena.