

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, Centro América

ANALISIS TEORICO PRACTICO  
DE VIGAS COMPUESTAS DE MADERA CORRIENTE  
Y MADERA CONTRACHAPEADA (PLYWOOD)

TESIS

Presentada a la Junta Directiva de la

Facultad de Ingeniería

de la

Universidad de San Carlos de Guatemala

por

OVIDIO CASTEJON GUERRA

Al conferírsele el título de:

INGENIERO CIVIL

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC  
DEPOSITO LEGAL

PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO

Guatemala, junio de 1969.

DL 08  
T(74)

JUNTA DIRECTIVA  
DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DE LA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

- |                |                           |
|----------------|---------------------------|
| Decano:        | Ing. Amando Vides Tobar   |
| Vocal Primero: | Ing. Marco Antonio Cuevas |
| Vocal Segundo: | Ing. Francisco Ubieto B.  |
| Vocal Tercero: | Ing. Adolfo Behrens       |
| Vocal Cuarto:  | Br. Alfredo Bonatti       |
| Vocal Quinto:  | Br. Eliseo Osorio         |
| Secretario:    | Ing. Héctor Centeno B.    |

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO

- |                      |                         |
|----------------------|-------------------------|
| Decano:              | Ing. Amando Vides Tobar |
| Vocal Primero:       | Ing. Otto E. Becker M.  |
| Examinador:          | Ing. Manuel A. Castillo |
| Examinador:          | Ing. Héctor Medrano     |
| Secretario Interino: | Ing. Jorge Luis Lazo M. |

DEDICO ESTE ACTO

A mi padre:

J. Armando Castejón F.

A mis hermanos

A mi novia:

Ana María Rodríguez F.

A mis compañeros y amigos

TESIS DE REFERENCIA  
NO  
SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA  
BIBLIOTECA CENTRAL - USAC.

## AGRADECIMIENTO

Quiero dejar patente mi agradecimiento a INDUSTRIA MADERERA LAS QUEBRADAS, por la colaboración que me prestaron para el desarrollo de este trabajo, donándome la madera contrachapeada que se usó en el mismo.

También quiero agradecer al personal del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería y Dirección General de Obras Públicas, quienes me prestaron su colaboración para la realización de los ensayos en este trabajo.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR:

Cumpliendo con lo establecido por la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, mi trabajo de tesis titulado:

**ANALISIS TEORICO PRACTICO  
DE VIGAS COMPUESTAS DE MADERA CORRIENTE  
Y MADERA CONTRACHAPEADA (PLYWOOD)**

Tema que me fue asignado por la Junta Directiva de la

Facultad de Ingeniería

PENSAMIENTO:

UN ENSAYO VALE MAS QUE MIL OPINIONES JUNTAS

## CONTENIDO

### INTRODUCCION

1

### CAPITULO I

#### GENERALIDADES

1

1. Descripción de los elementos y sus usos 1
2. Descripción de los materiales que se pueden usar en estas vigas 2
  - 2.1 Propiedades de madera corriente 3
  - 2.2 Propiedades de la madera contrachapada (plywood) 5
3. Descripción de las secciones a usarse 14
4. Comportamiento mecánico de las vigas 18
  - 4.1 Comportamiento de los patines 18
  - 4.2 Comportamiento del alma 19
  - 4.3 Comportamiento de las juntas alma-patín 19
  - 4.4 Comportamiento de los rigidizantes verticales 19
5. Fórmulas a emplearse en el diseño 20
  - 5.1 Diseño de patines de madera corriente 20
  - 5.2 Diseño de alma de madera contrachapada 23
  - 5.3 Diseño de juntas alma-patín 24
  - 5.4 Diseño de rigidizantes verticales 27
  - 5.5 Cálculo de la deflexión total 28
  - 5.6 Control de la estabilidad lateral 32

6.	Ejemplo ilustrativo usando fórmulas exactas	37
7.	Uso de fórmulas simplificadas en el cálculo	42
7.1	Ejemplo ilustrativo usando fórmulas simplificadas	42

## CAPITULO II

### ENSAYOS REALIZADOS 47

8.	Ensayos preliminares de los materiales a usar en las vigas de prueba.	47
8.1	Ensayos de madera corriente	47
8.2	Ensayos en la madera contrachapeada	48
9.	Ensayos en diferentes tipos de vigas	50
9.1	Vigas seleccionadas para los ensayos	50
9.2	Fabricación de las vigas	61
9.3	Ensayos realizados	63
9.4	Resultados obtenidos de los ensayos	63
9.5	Ensayo especial	77

## CAPITULO III

10.	Análisis económico comparativo de vigas compuestas y vigas del tipo tradicional.	123
-----	--	-----

## CAPITULO IV

11.	Conclusiones y recomendaciones	131
12.	Bibliografía	133



## INTRODUCCION

El presente trabajo tiene por objeto, hacer un análisis teórico y práctico del comportamiento de vigas armadas, compuestas de MADERA CORRIENTE (pino, conacaste, etc.) y MADERA CONTRACHAPEADA (Plywood).

En otros países con el objeto de obtener un mejor aprovechamiento de la madera, se han hecho ensayos con este tipo de vigas y se ha llegado a recomendar fórmulas y métodos de fabricación.

Se tratará aquí de comprobar la aplicación práctica de esas fórmulas usando materiales nacionales, se recomendarán esfuerzos de trabajo y métodos de fabricación.

Espero colaborar con este trabajo para alcanzar un mejor conocimiento de la aplicación de los materiales nacionales.

## CAPITULO I

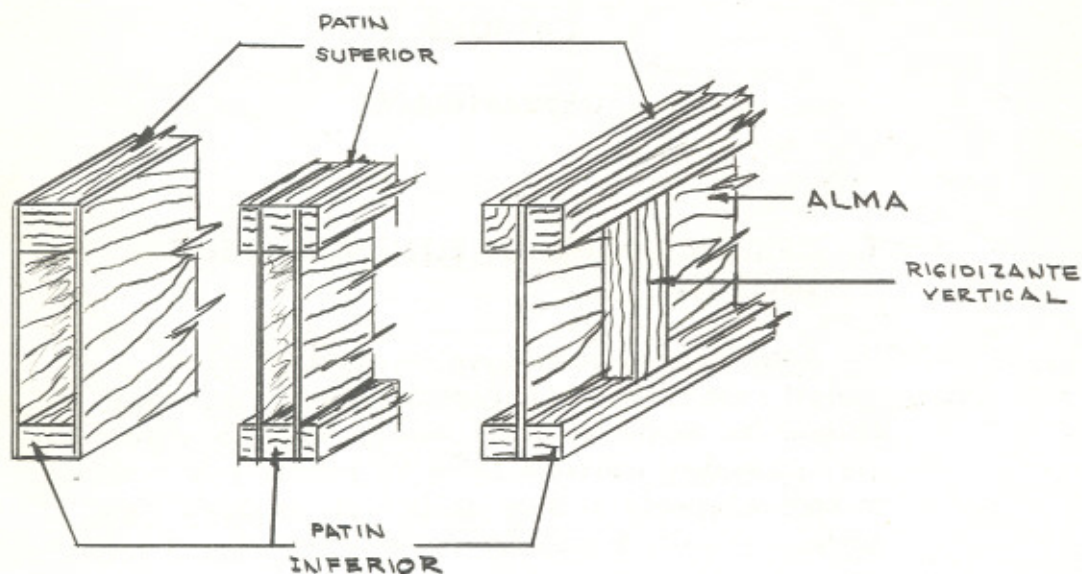
### GENERALIDADES

#### 1. DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS Y SUS USOS (fig. 1)

Estas vigas se constituyen de madera corriente y madera contrachapeada (plywood) y por ser armadas se colocan los materiales donde trabajan con más eficiencia. La madera corriente forma los patines y la madera contrachapeada el alma de la viga, teniendo rigidizantes verticales espaciados convenientemente. Entre las cualidades de estos elementos se puede mencionar - que: son de poco peso, de fácil fabricación, fácil transporte y buena apariencia.

Estas vigas pueden usarse en entresijos, techos de casas de habitación, garages, fábricas y en toda estructura de madera donde interese que luzca como un elemento decorativo.

En cuanto a dimensiones se refiere, no hay más limitaciones que las que dicta el diseño; el peralte deberá ser función del ancho de los pliegos de la madera contrachapeada que se fabrica en nuestro medio para evitar desperdicios; la longitud no tiene limitación - ya que se pueden hacer empalmes tanto en el alma, como en los patines.



## VIGAS COMPUESTAS

### 2. DESCRIPCION DE LOS MATERIALES QUE SE PUEDEN USAR EN ESTAS VIGAS

Este tipo de vigas se fabrican usando madera corriente para los patines y madera contrachapeada para el alma y se unen por medio de cola.

Es indispensable conocer las características mecánicas de cada material aislado, para luego determinar las propiedades de la sección compuesta.

Las propiedades mecánicas que interesan, son los esfuerzos de trabajo y los módulos de elasticidad de los materiales usados.

## 2.1 Propiedades de la madera corriente

En el presente trabajo llamamos **Madera Corriente** a la madera aserrada que no ha sufrido ninguna transformación industrial, que cambie sus propiedades mecánicas.

Se han realizado en el Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería y Dirección General de Obras Públicas, estudios sobre 66 especies, de las cuales 55 se hicieron a solicitud del F.Y.D.E.P. y el resto como tesis de graduación profesional.

\* De los estudios realizados, se obtuvieron las propiedades físicas y los esfuerzos de ruptura para las especies analizadas; de las que se han tabulado en el cuadro I, II especies de las más comunes en Guatemala.

### 2.1.1 Cálculo de esfuerzos básicos

Los esfuerzos básicos se obtienen a partir de la siguiente ecuación:

$$S_T = \frac{S_R (1 - C_V) \times \frac{2}{3} \times H}{2} \quad (1)$$

\* Los valores de los cuadros I y II fueron preparados por el Ing. Emilio Beltranena y presentados en el Segundo Congreso de Ingeniería.

donde:

- $S_T$  = Esfuerzos básicos  
 $S_R$  = Esfuerzos promedios de ruptura obtenidos en los ensayos  
 $C_V$  = Coeficiente de variación estadístico, el cual no se usó rígidamente, sino que se aproximó a 15, 20, 25 y 30%, siendo 15% el mínimo usado.  
 $2/3$  = Factor que toma en cuenta el efecto de disminución de resistencia por cargas permanentes, durante largos períodos de tiempo.  
 $2$  = Factor para tomar en cuenta las cargas accidentales.  
 $H$  = Factor de corrección para que los esfuerzos básicos se adapten a madera verde o poco sa sonada y se obtiene según la fórmula:

$$H = 1 - h (HV - HC) \quad (1a)$$

donde:

- $h$  = Variación de resistencia (en %) para cada 1% de cambio de humedad (difícil de determinar)  
 $HV$  = 25 límite mínimo en % de humedad contenido para madera verde  
 $HC$  = Humedad promedio de cada especie ensayada

### 2.1.2 Esfuerzos de trabajo

El valor de esfuerzos básicos encontrados en la fórmula (1) corresponden a los esfuerzos de trabajo para madera que no tiene defectos que afecten sus propiedades (nudos, grietas, fibras inclinadas, etc. etc.)

Los esfuerzos de trabajo en caso de que la madera tenga defectos, se pueden obtener usando como factores de seguridad de 1.5 a 2 a criterio del diseñador; para mayor información en la obtención de esfuerzos de trabajo, se puede consultar el Wood Handbook # 72 (pág. 143-164) del U.S. Department of Agriculture Washington D.C. o las normas D 245 de la A.S.T.M. (En algunos trabajos de tesis anteriores se han reproducido las recomendaciones).

## 2.2 Propiedades de la madera contrachapeada

Se conoce con el nombre de madera contrachapeada y Plywood, al material elaborado de madera en forma de chapas pegadas, alternas con la dirección de las fibras 90° entre sí.

La tendencia a pandearse y agrietarse, con los cambios de humedad y temperatura en la madera corriente ocurre debido a que esta tiene más resistencia en el sentido paralelo a las fibras, que en el perpendicular a las mismas; esta desventaja se corrige en la madera contrachapeada alternando la dirección de las fibras en las distintas chapas, con esto se logra uniformizar la resistencia en los dos sentidos, con lo que se evitan los alabeos y agrietamientos; además por ser la madera contrachapeada, prácticamente un producto de fábrica se puede controlar más eficientemente sus características mecánicas y físicas.

En Guatemala se produce madera contrachapeada de diferentes tipos, caracterizándose por la clase de madera usada en la chapa exterior, que es la que le dá el nombre usado para distinguirla, ya que interior-

mente puede variar la madera de las chapas.

Actualmente la compañía Industria Maderera Las Quebradas, fabrica cuatro tipos de madera contrachapeada, que son: banak, laurel, negrito y castaño; cuyos espesores varían de  $3/16''$  hasta  $3/4''$ ; con órdenes especiales la fábrica está en capacidad de fabricar espesores mayores.

El número de chapas para cada espesor de madera contrachapeada varía de 3 para el de  $3/16''$  y  $1/4''$ , hasta 7 chapas para el de  $3/4''$ .

Las características mecánicas de la madera contrachapeada se investigaron en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería y la Dirección General de Obras Públicas en ensayos realizados a solicitud de Industria Maderera Las Quebradas, cuyos resultados se tabulan en el Cuadro III.

Se analizaron tres tipos de madera contrachapeada siendo estos: banak, laurel y negrito.

Para la obtención de los esfuerzos básicos se procedió en la misma forma como se hizo para la madera corriente, con la diferencia que no se hizo en corrección por humedad, ya que la madera contrachapeada se obtiene seca.

Los valores encontrados para esfuerzos básicos se tabulan en el Cuadro IV.

Los esfuerzos de trabajo se obtienen a partir de los básicos calculados (Cuadro IV) usando un factor de seguridad de 1.25 por ser la madera contrachapeada más uniforme y porque no presenta los defectos de la madera corriente (nudos, grietas, fibras inclinadas, etc.)

## CUADRO I

PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE MADERAS GUATEMALTECAS  
 RESULTADOS DE ENSAYOS EN PIEZAS PEQUEÑAS A LA HUMEDAD INDICADA

1 Especie	2 Peso seco Aparente gr/cm <sup>3</sup>	3 Humedad contenida %	4 Flexión Estática Kg/cm <sup>2</sup>	5 Módulo Elasticidad Kg/cm <sup>2</sup>	6 Compresión Paralela Kg/cm <sup>2</sup>	7 Compresión perpend. Kg/cm <sup>2</sup>	8 Tensión paralela Kg/cm <sup>2</sup>	9 Tensión perpend. Kg/cm <sup>2</sup>	10 Corte paralelo Kg/cm <sup>2</sup>	11 Clivaje Kg.	12 Dureza Kg.	13 Extracc. Clavos Kg.
CIPRES	0.51	12.5	674	0.88x10 <sup>5</sup>	363	114	863	26	92	34	321	115
PINO	0.50	19.3	527	0.94x10 <sup>5</sup>	367	90	1055	26	93	46	285	---
CAOBA	0.48	19.2	705	0.89x10 <sup>5</sup>	399	124	655	29	114	56	312	165
CANOJ	0.65	21.7	473	1.00x10 <sup>5</sup>	259	49	693	44	92	64	249	---
CEDRO	0.43	18.1	355	0.51x10 <sup>5</sup>	241	98	370	46	75	55	227	89
CENICERO	0.61	17.6	651	0.84x10 <sup>5</sup>	414	149	491	33	97	41	471	148
CONACASTE	0.42	14.7	396	0.56x10 <sup>5</sup>	235	71	462	39	83	36	228	54
CHICHIQUE	0.72	21.0	939	1.53x10 <sup>5</sup>	591	155	1254	26	88	52	597	---
CHICHIPATE	0.72	13.0	1124	1.48x10 <sup>5</sup>	655	285	1125	44	148	65	1044	296
MARIO	0.62	17.6	483	0.94x10 <sup>5</sup>	373	132	824	33	109	54	447	210
P.VOLADOR	0.65	15.0	778	1.23x10 <sup>5</sup>	454	174	1096	36	117	60	615	262

## OBSERVACIONES:

Columna 1.- Nombres comunes en Guatemala.

Columna 2.- Peso aparente madera seca al horno.

Columna 3.- Humedad contenida en la madera al hacer los ensayos (promedio).

Columna 4.- Módulos de ruptura. El L. elástico proporcional es de 60-70% del valor del M. ruptura.

Columna 5.- Módulo de elasticidad en flexión.

Columna 7.- Compresión perpendicular —aplicación de carga: tangencial— con carga radial valores son un poco mas altos.

Columnas 9, 10 y 11: Cargas aplicadas radiales (en relación a capas a anillos de crecimiento).

Columna 12.- Dureza tangencial —la radial es un poco mayor— Valores de col. 12. carga para hacer penetrar en la madera, semiesfera de 1.12 cm de diámetro.

Columna 13.- Extracción de clavos radial —tangencial da valores mas altos— Se anota en cuadro, carga para extraer clavo común de 3 mm de diámetro. embutido en la madera 3.2 cm.

Todos los valores anotados son promedios aritméticos, se omitieron decimales, aproximando a la cifra entera inmediata, para los valores en



C U A D R O II

ESFUERZOS BASICOS - MADERAS GUATEMALTECAS APLICABLES

A MADERA VERDE O POCO SASONADA Y MADERA SECA AL AIRE (a) (b) (c)

Especie	1 Peso seco aparente gr/cm <sup>2</sup>	2 Flexión Estática Kg/cm <sup>2</sup>	3 Módulo Elasticidad Kg/cm <sup>2</sup>	4 Compresión paralela Kg/cm <sup>2</sup>	5 Compresión perpend. Kg/cm <sup>2</sup>	6 Tensión paralela Kg/cm <sup>2</sup>	7 Tensión perpend. Kg/cm <sup>2</sup>	8 Corte paralelo Kg/cm <sup>2</sup>	9 Clivaje Kg/cm	10 Dureza Kg.	11 Extracc. clavos Kg.
CIPRES	0.51	160	0.75x10 <sup>5</sup>	70	23	160	7	7	8	225	19
PINO	0.50	120	0.80x10 <sup>5</sup>	70	30	190	8	10	15	230	--
CAOBA	0.48	160	0.76x10 <sup>5</sup>	70	45	125	7	10	16	265	30
CANOJ	0.65	130	1.00x10 <sup>5</sup>	70	20	100	10	10	19	200	--
CEDRO	0.43	95	0.46x10 <sup>5</sup>	40	35	80	10	7	16	180	19
CENICERO	0.61	130	0.72x10 <sup>5</sup>	65	45	100	10	10	11	350	30
CONACASTE	0.42	95	0.56x10 <sup>5</sup>	35	20	90	10	7	9	195	9
CHICHIQUE	0.72	245	1.38x10 <sup>5</sup>	120	60	235	7	9	12	450	--
CHICHIPATE	0.72	210	1.2 x10 <sup>5</sup>	105	55	160	10	15	25	730	55
MARIO	0.62	100	0.85x10 <sup>5</sup>	60	45	145	8	12	20	360	40
VOLADOR	0.65	165	1.05x10 <sup>5</sup>	75	35	155	10	11	24	430	50

OBSERVACIONES: (Cuadro II)

a) Solo se permiten incrementos sobre estos esfuerzos, para madera seca al aire en caso que las piezas sean de grosor menor de 10 cm.

b) Columna 3: Para madera seca tomar módulo de elasticidad de cuadro I.

Columna 6: Se sugiere tomar para tensión paralela los valores de flexión (columna 2)

Columna 10: Para madera seca tomar dureza indicada en cuadro I.

c) Para obtener esfuerzos permisibles de trabajo, deben usarse los datos de este cuadro.

CUADRO III

PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LA MADERA CONTRACHAPEADA  
A LA HUMEDAD INDICADA

Clase	Humedad %	Densidad gm/cm <sup>3</sup>	Módulo de Elasticidad en Flexión Kg/cm <sup>2</sup> E <sub>f</sub>	Módulo de Elasticidad en Corte Kg/cm <sup>2</sup> G	Módulo de Elasticidad en Tensión Kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzos de Ruptura				Corte Deslizante Kg/cm <sup>2</sup>
						Compresión Kg/cm <sup>2</sup>	Flexión Kg/cm <sup>2</sup>	Tensión Kg/cm <sup>2</sup>	Corte Kg/cm <sup>2</sup>	
BANAK	7.88	0.50	0.69 x 10 <sup>5</sup>	0.37 x 10 <sup>4</sup>	2.84 x 10 <sup>5</sup>	192.5	437.4	374.5	79.7	12.0
LAUREL	9.52	0.72	0.84 x 10 <sup>5</sup>	0.33 x 10 <sup>4</sup>	2.13 x 10 <sup>5</sup>	197.6	426.6	357.9	72.1	10.4
NEGRITO	9.12	0.51	0.75 x 10 <sup>5</sup>	-----	2.40 x 10 <sup>5</sup>	223.4	505.3	366.5	81.8	----

Los valores del módulo de elasticidad a corte y esfuerzo de corte deslizante, se obtuvieron de los ensayos en las vigas cortas como se explica en la página No.

**CUADRO IV**  
**ESFUERZOS BASICOS DE LA MADERA CONTRACHAPEADA**

Tipo de madera contrachapeada	Compresión Kg/cm <sup>2</sup>	Flexión Kg/cm <sup>2</sup>	Tensión Kg/cm <sup>2</sup>	Corte Kg/cm <sup>2</sup>	Corte deslizante Kg/cm <sup>2</sup>
BANAK	59.4	133.2	103.5	23.6	3.00
LAUREL	58.4	118.8	105.0	18.7	2.6
NEGRITO	69.9	157.8	100.3	24.5	----

Para la obtención de los esfuerzos de trabajo se recomienda usar un factor de seguridad de 1.25 excepto para corte deslizante en el que se puede usar el valor de esfuerzo básico como esfuerzo de trabajo.

### 3. DESCRIPCION DE LAS SECCIONES A USARSE

Estos miembros compuestos de madera corriente y madera contrachapeada (plywood) se arman de tal forma que la madera corriente forme los patines de la viga localizados en la parte superior e inferior de la misma, estos trabajan a compresión o a tensión, respectivamente; la madera contrachapeada (plywood) forma el alma de la viga y su función es absorber los esfuerzos de corte. El alma y los patines van unidos entre sí por cola, conectores o clavos; en la junta entre el patín y el alma se producen esfuerzos de corte que llamaré CORTE DESLIZANTE.

Cuando sea necesario se puede usar en el alma varias capas de madera contrachapeada unidas entre sí por cola para absorber esfuerzos de corte. Según su forma las secciones a usarse se agrupan en los siguientes tipos:

#### 3.1 Vigas Tipo A (fig. 2)

Se llaman vigas I y están compuestas de un alma de madera contrachapeada y cuatro piezas de madera corriente, dos de las cuales forman el patín a compresión y las otras dos el patín a tensión, estos van unidos al alma por medio de cola.

Estas vigas tienen poca estabilidad lateral; pero por su forma puede supervisarse mejor su fabricación y controlar su deterioro con el tiempo.

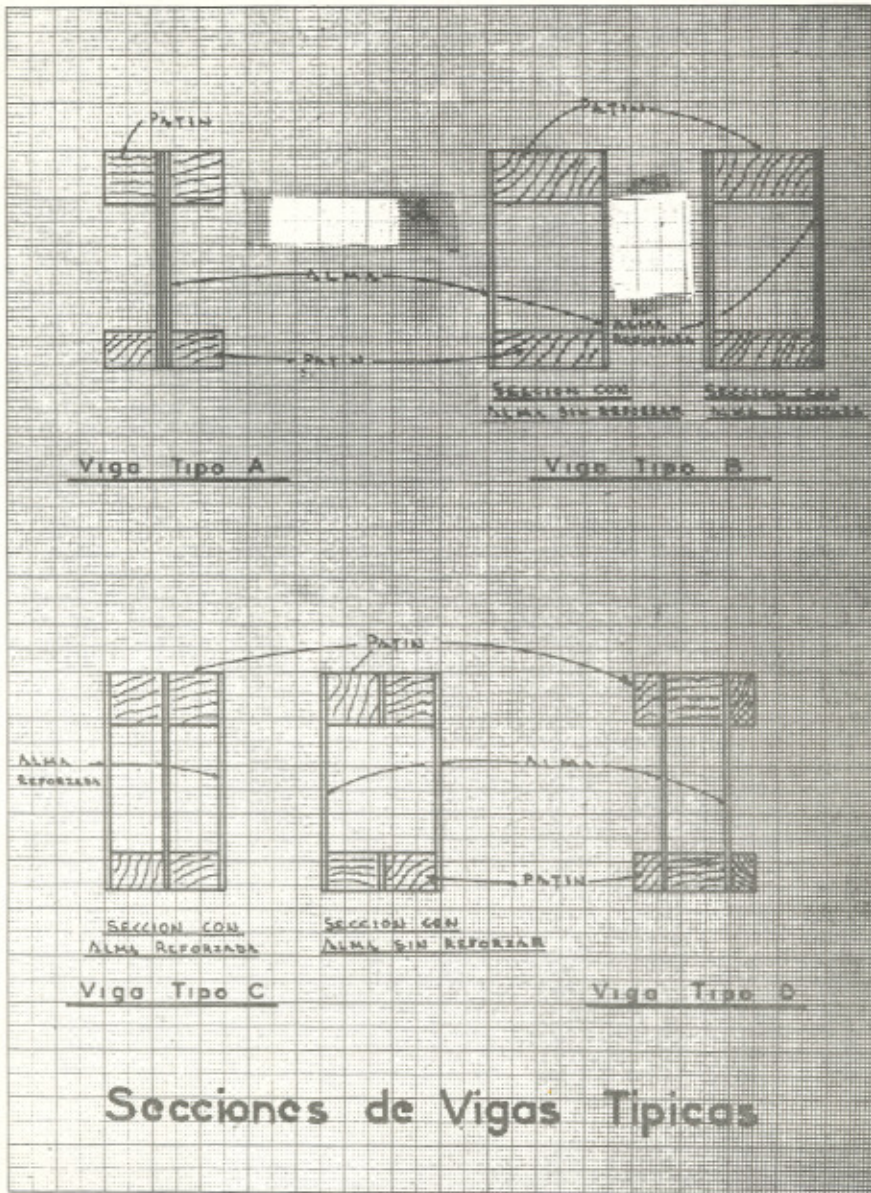


FIG #2

### 3.2 Vigas Tipo B (fig. 2)

Se llaman vigas cajón y están compuestas por dos piezas de madera contrachapeada en el alma y dos piezas de madera corriente que forman el patín a compresión y el patín a tensión; estos van unidos al alma por medio de cola, clavos o conectores.

En estas vigas se puede reforzar el alma en las secciones longitudinales donde se requiere para absorber esfuerzos de corte, colocándose las piezas de refuerzo cacheteadas por el lado de afuera o bien por el lado de adentro, en el segundo caso se hace necesario usar planchas de relleno (como se muestra en la fig. 2) en la sección donde no lleva reforzada el alma, lográndose así vigas de apariencia exterior uniforme.

Estas vigas tienen más estabilidad lateral que las Tipo A, pero por su forma es más difícil supervisar su fabricación y controlar su deterioro con el tiempo.

### 3.3. Vigas Tipo C (fig. 2)

Estas son iguales en apariencia a las tipo B, la única diferencia esencial estriba en que los refuerzos en el alma no se colocan pegados al alma principal, sino al centro de la viga, haciéndose necesario el uso siempre de planchas de relleno, en la zona donde el alma no va reforzada.

Las vigas de este tipo debido a la forma de su sección, tienen más resistencia al corte deslizante, ya que los esfuerzos de esta naturaleza se distribuyen en una mayor área entre los patines y el alma.

### 3.4 Vigas Tipo D (fig. 2)

Estas vigas están formadas por 6 piezas de madera corriente en los patines y dos piezas en el alma de madera contrachapeada, armándose de tal forma que de las tres piezas de madera corriente de cada patín, una quede en medio y dos del lado afuera de las piezas del alma, lográndose con esto una viga de apariencia de la Tipo A, pero con más resistencia al pandeo lateral que aquella y una mejor distribución del esfuerzo de corte entre las dos piezas del alma.

## 4. COMPORTAMIENTO MECANICO DE LAS VIGAS

En general el comportamiento mecánico de las vigas es esencialmente el mismo para los diferentes tipos de vigas y su teoría de diseño es semejante a la de las vigas de acero de alma llena.

### 4.1 Comportamiento de los patines

La parte superior e inferior de estas vigas lo constituyen los patines de madera corriente (pino, conacaste, etc.) que se diseñan para absorber los esfuerzos de tensión y compresión producidos por el momento flexionante de la viga al estar bajo carga.

Como la madera es un material cuya resistencia en tensión es de 3 a 4 veces mayor que en compresión, el patín a tensión puede usarse de menor espesor que el de compresión, quedando a criterio del diseñador hacer la sección asimétrica o simétrica. En el segundo ca

so se facilita más el trabajo de cálculo y de fabricación.

#### 4.2 Comportamiento del alma

El alma se diseña para absorber esfuerzos de corte en la viga bajo carga. La madera contrachapeada se fabrica con chapas que tienen sus fibras alternas de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  o bien con fibras a  $45^\circ$  y  $135^\circ$  con respecto al eje longitudinal de los pliegos.

En Guatemala únicamente se fabrica el primer tipo, así que el estudio se llevará a cabo con este material.

#### 4.3 Comportamiento de las juntas alma-patín

Los patines de madera corriente y el alma de madera contrachapeada se unen por medio de cola, clavos o conectores. Entre ambos materiales se produce un esfuerzo de corte que llamaré corte deslizante, el cual transmite la cola con que se hace la junta.

#### 4.4 Comportamiento de los rigidizantes verticales

En estas vigas se usan rigidizantes verticales con los siguientes objetivos:

1. Distribuyen las cargas concentradas en una mayor porción del elemento portante.
2. Evitan el pandeo del alma dándole más rigidez
3. Sirven como elemento de empalme entre dos pie-



zas discontinuas

4. Se aprovechan para facilitar la fabricación de las vigas.

Estos rigidizantes tiene el mismo ancho de los patines, variando el espesor según sea necesario.

En ensayos realizados por la American Plywood Association de EE.UU. se llegó a la conclusión que el espaciamento máximo entre los rigidizantes debe ser 1.20 mts. (48").

## 5. FORMULAS A EMPLEARSE EN EL DISEÑO (fig. 3)

El comportamiento mecánico para los diferentes tipos de vigas es esencialmente el mismo, aplicándose las mismas fórmulas para el cálculo.

### 5.1 Diseño de patines de madera corriente

El diseño de los patines debe hacerse de tal forma que no excedan los esfuerzos de trabajo permitidos para la especie de madera usada; estos esfuerzos se pueden obtener a partir del Cuadro II.

Los patines se diseñan, para absorber esfuerzos ya sea de compresión o de tensión, usando las siguientes fórmulas:

#### a) Patín a compresión (fig. 3)

El patín a compresión se debe diseñar usando la -

fórmula:

$$S_c = \frac{M C_c}{I_c} \quad (2)$$

donde:

$S_c$  = Esfuerzo de trabajo para compresión paralela a la fibra, para la madera usada en Kg/cm<sup>2</sup>. (#/pulg<sup>2</sup>)

$M$  = Momento máximo que actúa en la viga en Kg-cm. (#-pulg)

$C_c$  = Distancia del eje neutro hacia la cara en compresión de la viga en cm(pulg)

$I$  = Inercia de la sección transformada en cm<sup>4</sup> (pulg<sup>4</sup>) (ver ejemplo de cálculo)

b) Patín a tensión (fig. 3)

El patín a tensión debe diseñarse usando la siguiente fórmula:

$$S_t = \frac{M C_t}{I_t} \quad (3)$$

donde:

$S_t$  = Esfuerzo de trabajo para tensión paralela a la fibra para la madera usada en Kg/cm<sup>2</sup> (#/pulg<sup>2</sup>)

$M$  = Momento máximo que actúa en la viga en Kg-cm (#-pulg)

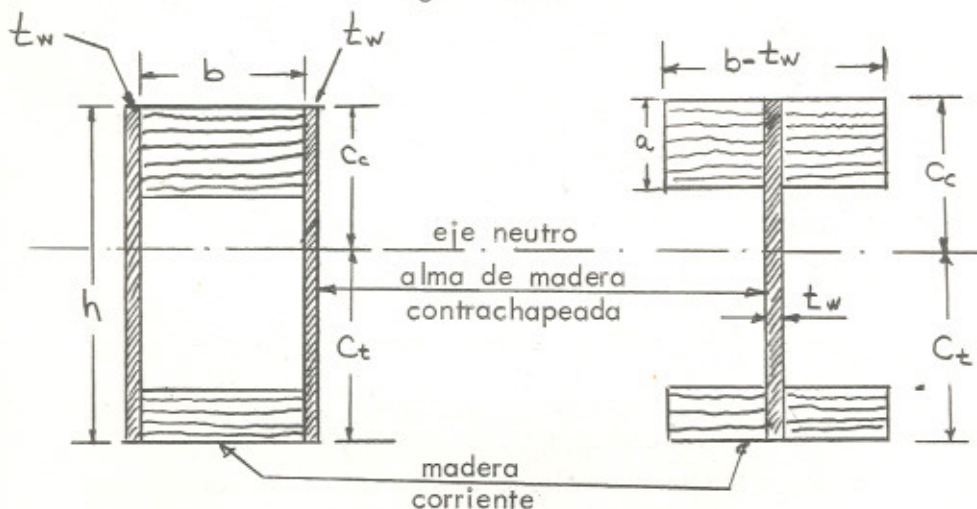
$C_t$  = Distancia del eje neutro hacia la cara en tensión de la viga en cm (pulg)

$I_t$  = Inercia de la sección transformada en  $\text{cm}^4$  (pulg<sup>4</sup>)  
(ver ejemplo de cálculo)

El valor de la inercia de la sección transformada, debe calcularse usando la relación existente entre el módulo de elasticidad a flexión de la madera contrachapeada usada en el alma, y el módulo de elasticidad a flexión de la madera usada en los patines.

En el caso de que se trate de una sección simétrica, el cálculo se facilita, ya que entonces el eje neutro está al centro geométrico de la sección, por lo que bastará chequear el patín a compresión ya que el de tensión quedará del lado seguro, por ser el esfuerzo de tensión de la madera mayor que el de compresión.

Fig. No. 3



SECCIONES CON LA NOMENCLATURA USADA  
EN LAS FORMULAS

Para una primera aproximación del tamaño de los patines, se procede asumiendo el peralte de las vigas y el espesor de los patines; y luego calculando el área de los patines con la fórmula 4, de la que se despeja el ancho para cada patín.

$$A = \frac{M}{S h_1} \quad (4)$$

donde:

A = Área del patín considerado en  $\text{cm}^2$  (pulg<sup>2</sup>)

M = Momento que actúa en la viga en kg-cm

S = Esfuerzo de trabajo a compresión o tensión, según el patín que se trate

$h_1$  = Distancia entre los centroides de los patines

En el caso de ser una sección simétrica sólo se calcula el patín a compresión.

## 5.2 Diseño del alma de madera contrachapeada

El alma absorbe los esfuerzos de corte y debe diseñarse de tal forma que no se excedan los esfuerzos de trabajo en corte para el tipo de madera contrachapeada usada (ver Cuadro IV).

Para el diseño del alma se debe usar la siguiente fórmula:

$$v = \frac{V Q}{I_t t_w} \quad (5)$$

donde:

- $v$  = Esfuerzo de trabajo permitido a corte para la madera usada en el alma en  $\text{kg/cm}^2$  ( $\#/\text{pulg}^2$ )  
 $V$  = Corte total en la sección considerada en  $\text{kg}$  ( $\#$ )  
 $Q$  = Primer momento (estático) respecto al eje neutro de la sección transformada, usando los módulos de elasticidad a flexión  $\text{cm}^3$  ( $\text{pulg}^3$ )  
 $I_t$  = Inercia de la sección transformada en  $\text{cm}^4$  ( $\text{pulg}^4$ )  
 $t_w$  = Espesor real total de la madera contrachapeada en el alma en  $\text{cm}$  ( $\text{pulg}$ )

### 5.3 Diseño de las juntas entre patines y alma

Entre los patines y el alma se produce un esfuerzo llamado corte deslizando, y la junta alma-patín es la que transmite este esfuerzo.

Para efectuar esta junta se usará de preferencia la que se aplicará en todo el espesor del patín o en una porción de éste en forma de franjas cuando el diseño lo permita (ver fig. 4)



Fig. No. 4

El diseño debe hacerse de tal forma que no se excedan los esfuerzos de trabajo para corte deslizante (ver Cuadro IV).

Para el diseño debe usarse la siguiente fórmula:

$$s = \frac{V Q_p}{2 a I_t} \quad (6)$$

donde:

$s$  = Esfuerzo de trabajo para corte deslizante dado en el cuadro IV en  $\text{kg/cm}^2$  ( $\#/\text{pulg}$ )

$V$  = Corte total máximo en  $\text{kg}$  ( $\#$ )

$Q_p$  = Primer momento (estático) respecto al eje neutro del patín considerado en  $\text{cm}^3$  ( $\text{pulg}^3$ )

$a$  = Espesor total de las franjas pegadas, valor que será como máximo el espesor del patín considerado en  $\text{cm}$  ( $\text{pulg}$ )

$I_t$  = Inercia de la sección transformada en  $\text{cm}^4$  ( $\text{pulg}^4$ )

La fórmula anterior es aplicable para vigas tipo A y B, pero para las C y D debe calcularse el esfuerzo de corte deslizante para cada junta alma-patín por separado, dividiendo la fuerza de corte proporcionalmente al espesor de cada parte del alma.

Debe calcularse usando la siguiente fórmula:

$$s = \frac{V Q_p}{a I_t} \frac{t_c}{t_w} \quad (6a)$$

donde:

- $s$  = Esfuerzo de corte deslizante en la cara de madera contrachapeada seleccionada kg/cm (#/pulg<sup>2</sup>)
- $V, Q$  e  $I_t$  = Tienen igual significado que la fórmula (6)
- $t_c$  = Espesor del alma considerada en cm (pulg)
- $t_w$  = Espesor total del alma o sea la suma de todas sus partes en cm (pulg)
- $a$  = Ancho total de franjas de cola en cada parte del alma en cm (pulg), se debe tomar en cuenta el número de caras pegadas en cada parte del alma.

En las vigas tipo B puede efectuarse la junta por medio de clavos únicamente. Y debe calcularse por la siguiente fórmula:

$$P = \frac{V Q_p}{n I_t} \quad (7)$$

donde:

- $P$  = Valor de soporte lateral por clavo en kg (#)
- $V, Q$  e  $I$  = Tienen el mismo significado que en la fórmula (6)
- $n$  = Número de clavos usados por unidad de largo del patín en cm (pulg) (será generalmente un valor decimal)

(SIN EMBARGO, DEBE PREFERIRSE EL TIPO DE JUNTA HECHA CON COLA).

#### 5.4 Diseño de rigidizantes verticales

Se debe usar rigidizantes verticales especialmente en los apoyos y en los puntos donde hayan cargas concentradas.

Para su diseño debe usarse las siguientes fórmulas:

$$e = \frac{P}{S_{cL} b} \quad (8)$$

donde:

- e = Espesor del rigidizante en cm (pulg)
- P = Carga concentrada en kg
- $S_{cL}$  = Esfuerzo de trabajo en compresión perpendicular a la fibra en la madera del patín dado en el Cuadro II en  $\text{kg/cm}^2$  (#pulg<sup>2</sup>)
- b = Ancho del patín en cm (pulg)

$$e = \frac{P}{2 h s} \quad (9)$$

donde:

- e = Espesor del rigidizante en cm (pulg)
- P = Carga concentrada en kg (#)
- h = Peralte total de la viga
- s = Esfuerzo de trabajo permitido en corte deslizante en la madera contrachapeada dado en el Cuadro IV

Se usará el mayor valor obtenido al aplicar las fórmulas



mulas (7) y (8)

## 5.5 Cálculo de la deflexión total

5.5.1 La deflexión total de estas vigas es producida una parte por flexión y la otra por el esfuerzo cortante.

El valor correspondiente al esfuerzo cortante llega a ser hasta 1.5 veces el valor de la deflexión por flexión y por lo tanto no puede despreciarse como se hace en vigas de alma llena.

El valor de la deflexión total ( $\Delta_t$ ) deberá calcularse por la suma de la deflexión debida a flexión ( $\Delta_f$ ) más la deflexión debida a corte ( $\Delta_v$ )

$$\Delta_t = \Delta_f + \Delta_v \quad (10)$$

### 5.5.2 Deflexiones permitidas

El valor de la deflexión total de diseño no deberá exceder los siguientes valores:

#### Vigas de piso

Sólo carga viva	1/360
Carga muerta + viva	1/240

#### Vigas de techo                      con cielo                      sin cielo

Sólo carga muerta	L/240	L/360
Carga muerta + viva	L/180	L/240

Con el objetivo de contrarrestar la deflexión de las vigas, se les introduce a veces durante la fabricación, una deflexión opuesta a la que se producirá al aplicar la carga.

### 5.5.3 Cálculo de la deflexión debida a flexión

La deflexión debida a flexión ( $f$ ) se calcula con las mismas ecuaciones usadas en vigas de alma llena y se expresa con la siguiente ecuación general

$$f = k \frac{W L^3}{E I_t} \quad (11)$$

donde:

$f$  = Deflexión debida a flexión en cm (pulg)

$k$  = Factor dependiendo del tipo de carga y de los apoyos

$W$  = Carga total en kg (#)

$L$  = Luz libre de la viga en cm (pulg)

$E$  = Módulo de elasticidad a flexión de la madera de los patines  $\text{kg/cm}^2$  (#/pulg<sup>2</sup>)

$I_t$  = Inercia de la sección transformada  $\text{cm}^4$ (pulg<sup>4</sup>)

Para el caso de viga simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida, la fórmula anterior se convierte en:

$$f = \frac{5 W L^3}{384 E I_t} \quad (11a)$$

donde:

$W$  = Es el valor total de la carga distribuida en kg (#)

Para el caso de vigas simplemente apoyadas y con una carga concentrada al centro de la luz, se debe usar la fórmula

$$\Delta_f = \frac{P L^3}{48 E I_t} \quad (11b)$$

donde:

$P$  = Valor de la carga concentrada kg (#)

#### 5.5.4 Cálculo de la deflexión debida a corte

La deflexión debida al esfuerzo de corte en el al ma es más difícil de calcular. De un gran número de pruebas realizadas por el Forest Products Laboratory de Estados Unidos, se llegó a la conclusión que para calcular la deflexión total aproximada de estas vigas, en el caso de vigas con carga concentrada, se calcula la deflexión por flexión y esta se incrementa en un 150% para incluir la deflexión por corte.

Para el caso específico de vigas simplemente apoyadas y con carga uniformemente distribuida se debe usar el método que indica que se calcule la deflexión aproximada debida a flexión ( $\Delta_f$ ) y se multiplique por un factor que depende de la relación entre la luz libre y el peralte de la viga obteniéndose de esta manera la deflexión total en la viga ( $\Delta_t$ ).

Se usarán los siguientes factores para el cálculo

de la deflexión total permitiéndose la interpolación para valores intermedios.

<u>Luz</u> Peralte	<u>Factor</u>
10	1.5
15	1.2
20	1.0

#### 5.5.4.1 Cálculo exacto de la deflexión de corte

En el caso de que se quiera un valor más exacto de la deflexión total, se usará para el cálculo de la deflexión de corte la fórmula de American Plywood Association EE. UU. que es la siguiente:

$$v = \frac{P L h^2 K C}{G I_g} \quad (12)$$

donde:

- $v$  = Deflexión debida al corte en la viga en cm (pulg)
- $P$  = Carga total en kg (#) actuando sobre la viga ( $W L$  en caso de carga distribuida)
- $L$  = Luz libre de la viga en cm (pulg)
- $h$  = Peralte total de la viga en cm (pulg)
- $G$  = Módulo de elasticidad a corte en la madera contrachapeada dado en cuadro III en  $\text{kg/cm}^2$  ( $\#/ \text{pulg}^2$ )
- $I_g$  = Inercia de la sección sin transformar o sea tomando  $t_w$  real, en  $\text{cm}^4$  ( $\text{pulg}^4$ ) (ver ejemplo)

- \* C = Coeficiente que depende de la forma como se aplica la carga a la viga (ver gráfico #1)
- \* K = Coeficiente determinado por el tipo de sección de la viga (ver gráfico #1)

Es de hacer notar que el valor  $I_g$  es la inercia de la sección sin transformar y no es por tanto igual a  $I_t$  usado en el cálculo de la deflexión por flexión (ver ejemplo de cálculo con fórmulas exactas página # 37 )

### 5.6 Control de la estabilidad lateral

La resistencia de estos miembros a deformarse en dirección lateral es importante, ya que una viga de mucho peralte y angosta puede fallar por pandeo antes de alcanzar el esfuerzo flexionante de falla en el plano de aplicación de las cargas.

Ensayos realizados por el Forest Products Laboratory indican que esta condición no es crítica para vigas de este tipo proporcionadas convenientemente siempre que las luces no sean grandes y que la relación entre  $\frac{I_{xx}}{I_{yy}}$  no exceda de 30.

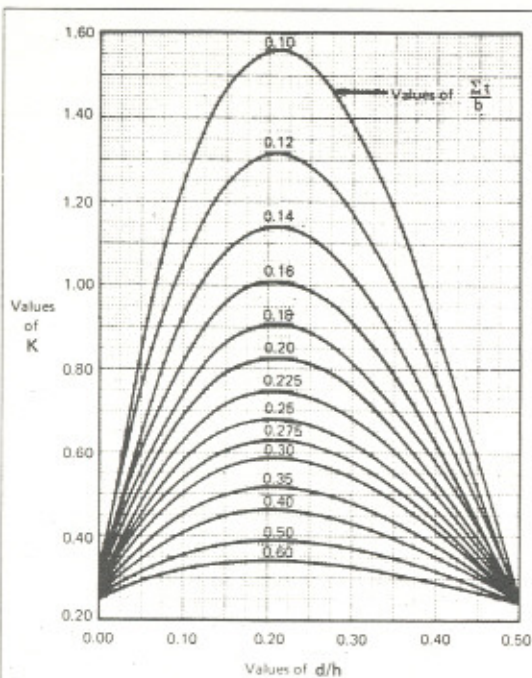
Forest Products Laboratory recomienda las siguientes reglas prácticas:

1. Si la relación entre  $I_{xx}$  e  $I_{yy}$  no excede de 5 no se requiere ningún soporte lateral.

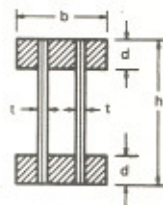
---

\* Los coeficientes C y K fueron obtenidos de un gran número de ensayos realizados por American Plywood Association y se pueden obtener del gráfico #1.

2. Si la relación entre  $I_{xx}$  e  $I_{yy}$  está entre 5 y 10 los extremos de las vigas deben soportarse lateralmente en el patín inferior.
3. Si la relación entre  $I_{xx}$  e  $I_{yy}$  está entre 10 y 20 deben soportarse lateralmente en los extremos ambos patines.
4. Si la relación entre  $I_{xx}$  e  $I_{yy}$  está entre 20 y 30, un borde ya sea arriba o abajo debe estar sujeto lateralmente (un piso, un cielo).
5. Si la relación entre  $I_{xx}$  e  $I_{yy}$  está entre 30 y 40, las vigas deben ser restringidas por soportes laterales espaciados no más de 2.4 mts. (8').
6. Si la relación entre  $I_{xx}$  e  $I_{yy}$  es arriba de 40, las vigas deben forzarse por cualquier medio a de flectarse en dirección de la carga, evitando o res tringiendo la deflexión lateral.



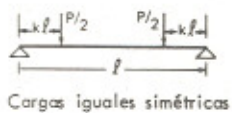
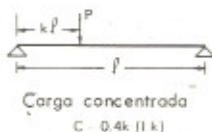
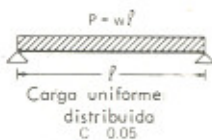
SECCION SIMETRICA  
RESPECTO A AMBOS  
EJES



Valores de  $\frac{t}{b}$

$$K = \frac{1}{4} \left[ 1 + \frac{12d^3 - 18hd^2 + 6h^2d}{h^3} \left( \frac{1}{\frac{t}{b}} - 1 \right) \right]$$

SECCION CONSTANTE.



COEFICIENTES DE CARGA

VALORES DE K Y C PARA VIGAS COMPUESTAS

## 6. EJEMPLO ILUSTRATIVO USANDO LAS FORMULAS EXACTAS



Carga viva	=	80 Kg/mt
Peso propio	=	10 Kg/mt
Carga muerta	=	70 Kg/mt
Carga total	=	160 Kg/mt

### MATERIALES

Alma = madera contrachapeada tipo Banak  
 Patines = madera seca cenicero

### ESFUERZOS DE TRABAJO

Madera contrachapeada tipo Banak (Cuadros III y IV)

$$\text{Esfuerzo de corte } v = \frac{23.8}{1.25} = 18.9 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo de corte deslizante } S = 3 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Módulo de elasticidad en flexión } E = 0.69 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Módulo de elasticidad en corte } G = 0.37 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$$

Madera corriente Cenicero (Cuadros I y II)

$$\text{Esfuerzo de compresión perpendicular} = \frac{4.5}{1.5} =$$



$$= 30 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo de compresión paralela} = \frac{6.5}{1.5} = 43.4$$

$$\text{Kg/cm}^2$$

$$\text{Módulo de elasticidad en flexión } E = 0.84 \times 10^5$$

$$\text{kg/cm}^2$$

Momento:

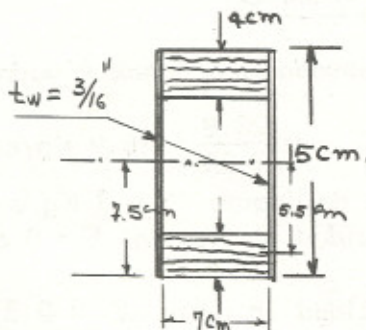
$$M = \frac{W L^2}{8} = \frac{160 \times 2.4^2}{8} = 115 \text{ Kg-mt} = 11500$$

$$\text{Kg-cm}$$

Corte:

$$V = \frac{W L}{2} = \frac{160 \times 2.4}{2} = 192 \text{ Kg}$$

usando  $h = 15 \text{ cm}$  y diseñando una sección simétrica, después de varios tanteos se llegó a la sección siguiente:



Transformando la madera contrachapeada (Banak) a madera corriente (Cenicero)

$$K = \frac{E. \text{ Banak}}{E. \text{ Cenicero}} = \frac{0.69 \times 10^5}{0.84 \times 10^5} = 0.82$$

$$t_w \cdot K = 0.82 \times 0.95 = 0.78 \text{ cm}$$

Propiedades de la sección

$$\text{Primer momento } Q = 7 \times 4 \times 5.5 + \frac{0.78 \times 7.5^2}{2}$$

$$Q = 154 + 2.2 = 176 \text{ cm}^3$$

$$\text{Momento del patín } Q_f = 154 \text{ cm}^3$$

\* Inercia de la sección transformada

$$I_t = 2 \times 7 \times 4 \times 5.5^2 + 2 \times \frac{1}{12} \times 7 \times 4^3 + \frac{1}{12} \times 0.78 \times 15^2$$

$$I_t = 1691 + 74 + 146 = 1911 \text{ cm}^4$$

Inercia de la sección sin transformar

$$* I_g = 2 \times 7 \times 4 \times 5.5^2 + 2 \times \frac{1}{12} \times 7 \times 4^3 + \frac{1}{12} \times 0.95 \times 15^2$$

$$I_g = 1691 + 74 + 178 = 1943 \text{ cm}^4$$

Chequeo de esfuerzo de compresión en el patín

$$S_c = \frac{M \cdot c}{I_t} = \frac{11500 \times 7.5}{1911} = 42.1 \text{ Kg/cm}^2$$

---

\* Nótese que para el cálculo de  $I_t$  se usó el espesor transformado de la madera contrachapeada y para  $I_g$ , el espesor real de la misma.

$$S_c \text{ permitido} = 43.4 \text{ Kg/cm}^2 > 42.1 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (bien)}$$

Chequeo de esfuerzo de corte en el alma.

$$v = \frac{V Q}{I_t t_w} = \frac{192 \times 176}{1911 \times 0.95} = 18.6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$v_{\text{permitido}} = 18.9 \text{ Kg/cm}^2 > 18.6 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (bien)}$$

Chequeo de esfuerzo de corte deslizante

$$S = \frac{V Q}{2 a I_t} = \frac{192 \times 154}{2 \times 4 \times 1911} = 1.93 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S_{\text{permitido}} = 3 \text{ Kg/cm}^2 > 1.93 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (bien)}$$

Cálculo del espesor de refuerzos verticales

$$a.- e = \frac{P}{S_{c1} \cdot b}$$

$$P = V \text{ (corte)}, b = 7 \text{ cm}$$

$$e = \frac{192}{30 \times 7} = 0.91 \text{ cm}$$

$$b.- e = \frac{P}{2 h S}$$

$$e = \frac{192}{2 \times 15 \times 3} = 2.4 \text{ cm}$$

Mínimo e recomendable = 4 cm

∴ usar rigidizantes de 4 x 8 cms. en los puntos intermedios y en los apoyos, espaciados 1.20 mts.

## CHEQUEO DEFLEXION

1.- Deflexión total

$$\Delta_t = \Delta_f + \Delta_v$$

Deflexión por flexión

$$\Delta_f = \frac{5 W L^3}{384 E I} = \frac{5 \times 384 \times 260^3}{384 \times 0.84 \times 10^5 \times 1911} =$$

$$= 0.55 \text{ cm}$$

Deflexión por corte

$$\Delta_v = \frac{P L h C K}{G I_g} = \frac{384 \times 240 \times 15^2}{0.37 \times 10^4 \times 1943} = 43 C K$$

Del gráfico # 1

$$C = 0.05$$

$$a/h = 4/15 = 0.266$$

$$K = 1.23$$

$$t_w/b = 0.95/7.95 = 0.12$$

$$\Delta_v = 2.86 \times 0.05 \times 1.23 = 0.176 \text{ cm}$$

$$\Delta_t = \Delta_f + \Delta_v$$

$$\Delta_t = 0.550 + 0.176 = 0.760 \text{ cm}^2$$

$$\Delta_t \text{ permitida} = \frac{L}{240} = \frac{240}{240} = 1 \text{ cm}$$

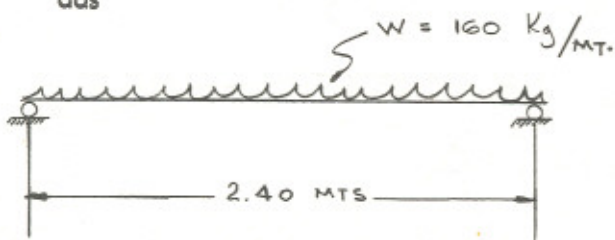
## 7. USO DE FORMULAS SIMPLIFICADAS EN EL CALCULO

Las fórmulas aplicadas en el problema anterior se pueden simplificar si se usa para el cálculo del primer momento y el momento de inercia solo el valor que corresponde a los patines despreciando el valor que corresponde a la madera contrachapeada, además en la inercia se desprecia el valor de inercia de cada patín con respecto a su propio centroide.

El cálculo del espesor de los rigidizantes verticales de los apoyos se puede hacer por medio de la fórmula (8), y para los rigidizantes intermedios usar como espesor 6 veces el espesor de la madera contrachapeada usada en el alma.

El cálculo de la deflexión se hace encontrando primero la deflexión debida a flexión y afectándola según el tipo de carga, con uno de los factores explicados en la sección 5.5.4 página # .

### 7.1 Ejemplo ilustrativo usando fórmulas simplificadas



$$M = 11500 \text{ Kg-cm}$$

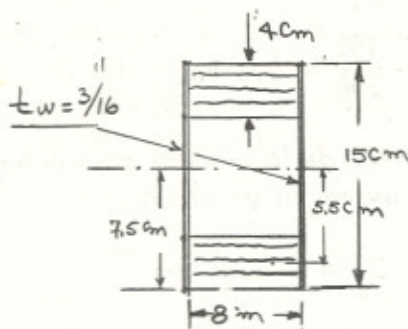
$$V = 192 \text{ Kg}$$

$$A = \frac{M}{S_c h_1} = \frac{11500}{43.4 \times 11} = 24 \text{ cm}^2 \text{ (área de los patines a compresión)}$$

$$b = 7 \text{ cm}$$

$$a = \frac{24}{7} = 3.4 \text{ cm}$$

Después de varios tanteos se llegó a:



$$Q = 8 \times 4 \times 5.5 = 154 \text{ cm}^3$$

$$I = 2 \times 8 \times 4 \times 5.5^2 = 1940 \text{ cm}^4$$

Chequeo de esfuerzo de compresión en el patín

$$S_{c//} = \frac{M c}{I} = \frac{11500 \times 7.5}{1940} = 43 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S_c \text{ permitido} = 43.4 \text{ Kg/cm}^2 \quad 43 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (bien)}$$

Cálculo del alma

$$t_w = \frac{V Q}{I v} = \frac{192 \times 176}{1940 \times 18.9} = 0.92 \text{ cm} (2t_w \text{ de } 3/16 \text{ plg})$$

Chequeo de esfuerzo de corte deslizante

$$S = \frac{V Q}{2 a I} = \frac{192 \times 176}{2 \times 4 \times 1940} = 2.18 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S_{\text{permitido}} = 3 \text{ Kg/cm}^2 > 2.18 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (bien)}$$

Cálculo del espesor de refuerzos verticales

$$a.- e = \frac{P}{S_{c1} \cdot b} = \frac{V}{S_{c1} \cdot b}$$

$$e = \frac{192}{30 \times 8} = \frac{192}{240} = 0.8 \text{ cm}$$

$$e = 6 t_1 \text{ (espesor de la madera contrachapeada usada en el alma)}$$

$$e = 6 \times \frac{3}{16} \times 2.54 = 2.86 \text{ cm}$$

$$e_{\text{mínimo}} = 4 \text{ cm}$$

∴ usar rigidizantes verticales de 4 x 8 cm espaciados 1.20 mts (máximo = 1.20 mts)

### CHEQUEO DEFLEXION

1.- Deflexión total

$$\Delta_t = f \Delta_f$$

f = factor de página

para L/h = 16 ; f = 1.16

$$\therefore \Delta_t = \frac{1.16}{384 EI} \frac{5WL^3}{384 \times 0.84 \times 10^5 \times 1940} = \frac{1.16 \times 5 \times 384 \times 240^3}{384 \times 0.84 \times 10^5 \times 1940}$$

$$\Delta_t = 1.16 \times 0.541 = 0.63 \text{ cm}$$

$$\Delta_t \text{ permitido} = \frac{L}{240} = \frac{240}{240} = 1 \text{ cm (bien)}$$



## CAPITULO II

### ENSAYOS REALIZADOS

#### 8. ENSAYOS PRELIMINARES DE LOS MATERIALES A USAR EN LAS VIGAS DE PRUEBA

En vista de que uno de los fines que se persigue - en este trabajo, es determinar, cual es la seguridad que ofrecen esta vigas, usando en el cálculo las fórmulas indicadas en el Capítulo I, se principio determinando las propiedades mecánicas para los materiales empleados en la fabricación de las vigas de prueba.

Las propiedades mecánicas que interesan son: esfuerzo de compresión paralela a la fibra en la madera de los patines, esfuerzo de corte en el alma, esfuerzo de corte deslizante, módulos de elasticidad de flexión y corte para la madera contrachapeada, y el módulo de elasticidad de flexión de la madera corriente.

##### 8.1 Ensayos de madera corriente

Siendo la madera corriente, un material que está sujeto a muchas variaciones, en su propiedades mecánicas, aun dentro de una misma especie; se procedió a controlar las propiedades que nos interesarían en este material que son: humedad, módulo de elasticidad a flexión y esfuerzo de compresión paralela.

Para este trabajo se usó madera secada al horno con humedad de 13%, la especie seleccionada fue el pino blanco por ser la más barata en la localidad.

El módulo de elasticidad se obtuvo de ensayos en especímenes pequeños de 2.54 x 2.54 cm. de sección y 41 cm de largo como recomienda las normas de la A. S.T.M. y se encontró un valor promedio de  $E = 1.07 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ .

El esfuerzo de compresión se obtuvo de ensayos realizados como recomienda las normas de la A.S.T.M. en especímenes de 20 cm de largo con sección de 5 x 5 cm y se obtuvo un promedio de esfuerzo de compresión de 313 kg/cm.

Estos ensayos se hicieron en especímenes que se obtubieron durante el proceso de fabricación del material que sirvió para fabricar las vigas; tratando de obtener un promedio más representativo del material usado en los patines.

## 8.2 Ensayos en la madera contrachapeada

La madera contrachapeada por ser un material prácticamente de fábrica, está sujeto a menos variaciones en sus propiedades mecánicas. En la madera contrachapeada que se emplea en el alma de estas vigas es necesario conocer, el esfuerzo de corte, el esfuerzo de corte deslizante y el módulo de elasticidad de flexión y de corte.

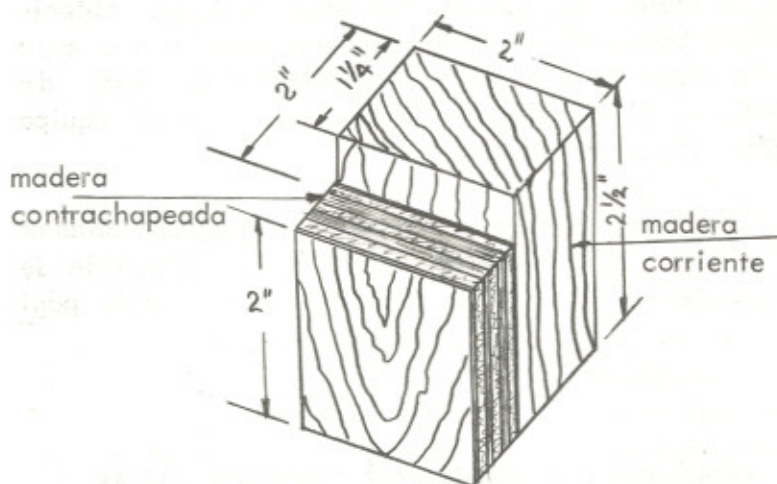
La madera contrachapeada usada en este trabajo, fue donada para este fin a solicitud del autor, por In-

industria Maderera Las Quebradas, obteniéndose de dos tipos: banak y laurel en diferentes espesores.

Para la madera contrachapeada se usaron los valores de módulo de elasticidad a flexión y los de corte del Cuadro III.

Los valores que se hizo necesario determinar fueron el de corte deslizante y el módulo de elasticidad de corte, porque no se habían obtenido anteriormente.

Para la obtención del corte deslizante se procedió como recomienda las normas de la A.S.T.M. para pruebas de corte en la madera y el espécimen de prueba se muestra en la fig. #5.



ESPECIMEN DE PRUEBA PARA CORTE DESLIZANTE

Fig. No. 5

Los ensayos se hicieron usando la madera de los patines y madera contrachapeada tipo banak, utilizándose para hacer la junta, cola, de la misma que se empleó en la fabricación de las vigas, y la presión de pegado se aplicó con clavos de 2 pulgadas a un grupo y con prensas a otro grupo.

Los especímenes se dejaron durante 8 días para su secado, antes de ensayarlos y una vez ensayados se promediaron los esfuerzos de corte deslizante de ruptura obtenidos, resultando valores de  $27.4 \text{ kg/cm}^2$  y  $29.3 \text{ kg/cm}^2$  para los especímenes pegados con clavo y cola respectivamente.

Sin embargo se usaron finalmente los valores obtenidos en vigas cortas (ver pág. ) en vista de que estos por obtenerse de especímenes más grandes, como lo son las vigas, dan valores más bajos, que los obtenidos con especímenes pequeños; debiéndose esto a que en las vigas la junta se hace imperfecta por falta de presión uniforme debido a sus dimensiones y al equipo usado al aplicar la presión.

Otros de los valores que se hizo necesario obtener fue el valor de módulo de elasticidad a corte, este se obtuvo de las vigas cortas como se explica en la página .

## 9. ENSAYOS EN DIFERENTES TIPOS DE VIGAS

### 9.1 Vigas seleccionadas para los ensayos

La falla de estas vigas, se produce cuando alguna

de las partes que la forman alcanza su esfuerzo de ruptura que puede ser en: el patín a compresión, el patín a tensión, el alma de madera contrachapeada o en la junta alma-patín.

El diseño de las vigas para ensayo se hizo de tal forma que al ser cargadas se produjera la falla prevista, excepto la falla a tensión, debido a que para producirla se necesitan secciones asimétricas, las que solo son recomendables usar en vigas muy peraltadas y en este trabajo no se hizo posible económicamente.

Para el diseño se usaron los esfuerzos de ruptura de los materiales que las forman, que aunque no se ajustan exactamente a la teoría elástica empleada en los cálculos, debido a que los materiales al fallar están trabajando arriba de su límite proporcional, nos dan una idea más clara del tipo de falla que se espera producir.

Se fabricó y se ensayó un total de 74 vigas para observar su comportamiento real bajo carga, se diseñaron las vigas fabricadas de diferentes luces, peraltes y dimensiones de sus partes, para obtener las fallas deseadas.

La fabricación y los ensayos se hicieron en dos grupos, de tal forma que el primero nos sirvió para obtener una primera experiencia de su comportamiento y poder ajustar los valores de diseño, no obstante se agrupan las vigas no importando en que grupo fueron fabricadas y ensayadas, y usando como criterio de agrupación sólo el tipo de falla ocurrida así:

a) Vigas para fallar en compresión

- b) Vigas para fallar a corte en el alma
- c) Vigas para fallar a corte deslizante
- d) Vigas especiales

a) Vigas para fallar en compresión

Estas vigas se diseñaron de tal forma que el esfuerzo de ruptura del patín a compresión fuera alcanzado en primer lugar y con suficiente margen con respecto a los esfuerzos de falla en otras zonas de la sección.

Se diseñaron estas vigas con una luz total de 240 cms (8') con 15 cm de peralte, con variaciones en las dimensiones de los patines y espesor del alma; se diseñaron tanto del tipo A (Sec. I) como del tipo B (Sec. cajón), aunque del primer tipo en menor número por ser estas de más difícil fabricación en nuestro caso.

El tipo de carga de diseño se muestra en la fig. #6

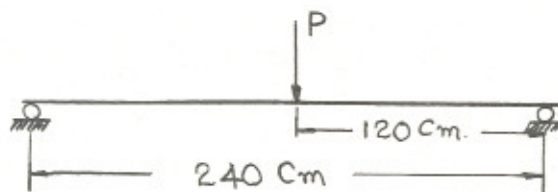


Fig. No. 6

### b) Vigas para fallar a corte en el alma

Se diseñaron de tal forma que el esfuerzo de ruptura para corte en el alma usada, del Cuadro III fuera alcanzado antes y con suficiente margen con respecto a los esfuerzos de falla.

Se diseñaron vigas tipo A y B con alma de un espesor tal que la falla se produjera a corte, usándose luces cortas de 118 cms y peraltes de 20 cm para tener margen sobre la falla a compresión

El tipo de carga de diseño se muestra en la fig. #7

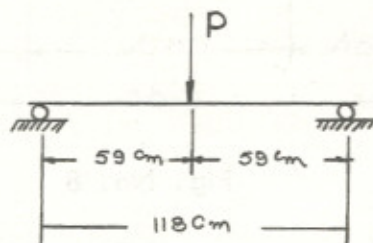


Fig. No. 7

### c) Vigas para fallar a corte deslizante

Se diseñaron de tal forma que el esfuerzo de ruptura fuera alcanzado antes y con suficiente margen sobre los demás esfuerzos. Usándose para este cálculo el valor de esfuerzo de ruptura para corte deslizante obtenido del primer grupo de vigas ensayadas que se chequeó con el segundo.

Se hicieron en las mismas dimensiones generales

que los del grupo anterior y para cargar de igual manera.

d) Vigas especiales

Se diseñaron estas vigas con objeto de cargarlas en los cuartos extremos de la luz como se indica en la figura #8.

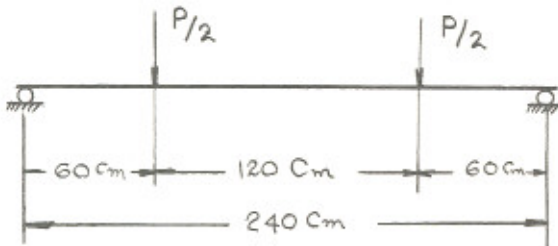


Fig. No. 8

Se diseñó un subgrupo con sección longitudinal continua para que fallara a corte en las zonas comprendidas entre ab o cd y el otro subgrupo se diseñó y fabricó con refuerzo en el alma colocado en los cuartos extremos y prolongados una distancia igual a  $1/2$  peralte (7.5 cm) hacia el tramo central. (Ver secciones en las gráficas de vigas 15V y 16S).



Para cada grupo de vigas se hicieron los cálculos respectivos, los que se tabulan en el Cuadro V donde:

La columna 1 corresponde al número de orden de los subgrupos de vigas, y la letra que le acompaña define el tipo de falla prevista, siendo C para compresión, V para corte y S para corte deslizante.

La columna 2 tiene la nomenclatura usada para identificar cada tipo de viga según las características de la sección, y consta de dos letras y dos dígitos. La primera letra corresponde al tipo de viga según clasificación hecha en el Capítulo I, la segunda letra indica la clase de madera contrachapeada usada en el alma y es: B para Banak y L para laurel; el primer número fraccionario indica el espesor de la madera contrachapeada en pulgadas y el segundo, el peralte total de la viga en cm. Así por ejemplo la viga cuya identificación es AB  $3/8$  20 corresponde a una viga tipo A, con madera contrachapeada banak de  $3/8$ " de espesor en el alma y 20 cm. de peralte total.

En las columnas 3 y 4 se han tabulado las propiedades de la sección para cada grupo de vigas.

En las columnas 5, 6 y 7 se tabularon los valores de primer momento ( $Q$ ), inercia de la sección transformada ( $I_t$ ) e inercia de la sección sin transformar ( $I_g$ ) de acuerdo a las fórmulas exactas dadas en el Capítulo I.

En las columnas 8, 9 y 10 se tabulan las cargas teóricas de trabajo de cada grupo de vigas que se calcularon usando las fórmulas del Capítulo I con los esfuerzos básicos dados en los Cuadros II y IV, aplicán-

doles un factor de seguridad de 1.5 a la madera corriente y 1.25 para la madera contrachapeada.

En las columnas 11, 12 y 13 se tabularon las cargas teóricas de falla usando para calcularlas los esfuerzos de ruptura de los Cuadros I y III y para compresión el valor  $313 \text{ kg/cm}^2$  encontrado para la madera usada en los patines, descrito en este capítulo sección 8.1

Por último en la columna 14 se han tabulado un factor K que se calculó dividiendo la carga de falla teórica inmediata superior y la menor entre la menor; este factor nos indica la seguridad que se tiene que la falla menor se produzca, por ejemplo la viga 10C que tiene las siguientes cargas de falla: compresión 1,420 kg., corte en el alma 3,600 kg y corte deslizante 2,400 kg, es indudable que la falla se producira alrededor de 1,420 kg siendo para este caso el factor

$$K = 2,400 \div 1,420 = 1.69$$

De cada subgrupo de vigas se fabricaron de 3 a 5 con características idénticas en cuanto a luces, clase y tamaño de sus partes.

Las deflexiones calculadas para cada subgrupo se tabularon en el cuadro VI, para una carga P de 1,000 kg y se calcularon usando  $1.07 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  como módulo de elasticidad para la madera corriente, y los valores tabulados en el cuadro II de módulo de elasticidad de flexión y corte para la madera contrachapeada, calculándose estas deflexiones teóricas usando métodos exactos.

CUADRO V

PROPIEDADES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE VIGAS SEGUN EL TIPO DE FALLA

(2) Clasificación	(3) Patines C.m.	(4) Alma	(5) $Q(Cm^3)$ Primer momento	(6) $I_t(Cm^4)$ I. Sección transformada	(7) $I_g(Cm^4)$ I. Sección sin transf.	(8) (9) (10) Cargas teóricas de trabajo			(11) (12) (13) Cargas teóricas de falla			(14) K	
						Compresión Kg	Corte Kg	C. deslizante Kg	Compresión Kg	Corte Kg	C. deslizante Kg		
<b>VIGAS PARA FALLAR POR CORTE DESLIZANTE</b>													
3/4 20	9.7 x 3.7	2 de 3/8 <sup>00</sup> B	354	5684	6122	956	1150	855	6000	4840	3420	1.41	
3/4 20	9 x 3.3	1 de 3/4 <sup>00</sup> B	322	5026	5464	852	1130	820	5400	5100	3320	1.54	
3/8 20	8 x 5	2 de 3/8 <sup>00</sup> B	365	5497	5937	930	1030	1100	5850	4560	4400	1.04	
3/4 20	9.7 x 3.7	2 de 3/8 <sup>00</sup> L	367	5862	6122	989	1150	780	6230	4400	3120	1.41	
<b>VIGAS PARA FALLAR POR CORTE EN EL ALMA</b>													
3/8 20	9 x 3.3	1 de 3/8 <sup>00</sup> B	271	4609	4829	776	590	750	4900	2570	3050	1.18	
3/16 20	8 x 5	1 de 3/16 <sup>00</sup> B	316	4934	4984	825	274	975	5230	1170	3950	3.38	
1/4 20	8 x 5	1 de 1/4 <sup>00</sup> L	326	4992	4989	836	286	865	5290	1560	3460	2.22	
3/8 20	8 x 5	2 de 3/16 <sup>00</sup> B	333	5083	5302	856	534	950	5400	2310	3840	1.67	
1/2 20	8 x 5	2 de 1/4 <sup>00</sup> L	342	5221	5512	875	690	852	5510	2840	3640	1.28	
<b>VIGAS PARA FALLAR A COMPRESION</b>													
3/4 15	7.1 x 3.5	2 de 3/8 <sup>00</sup> B	172	2042	2227	226	780	595	1420	3600	2400	1.69	
3/4 15	7.1 x 3.5	2 de 3/8 <sup>00</sup> L	186	2116	2227	234	762	536	1470	3430	2150	1.46	
3/4 15	7.1 x 3.5	1 de 3/4 <sup>00</sup> B	172	2042	2227	226	780	595	1420	3600	2420	1.71	
3/4 15	7 x 4	2 de 3/8 <sup>00</sup> B	189	2117	2300	234	763	650	1475	3380	2630	1.79	
3/8 15	7 x 4	2 de 3/16 <sup>00</sup> B	172	1940	2034	215	416	600	1360	1750	2420	1.38	
<b>VIGAS ESPECIALES</b>													
3/8 15	7 x 4	2 de 3/16 <sup>00</sup> B	172	1940	2034	215	208	300	1360	875	1340	1.53	
3/8 15	7 x 4	2 de 3/16 <sup>00</sup> B	172	1940	2034	215	416	300	1360	1750	1340	1.01	

C U A D R O V I

DEFLEXIONES TEORICAS CALCULADAS PARA  
LAS VIGAS ENSAYADAS CON P = 1000 Kg

VIGA	DEFLEXION DEBIDA A MOMENTO $\Delta_f = \text{CM}$	DEFLEXION DEBIDA A CORTE $\Delta_v = \text{CM}$	DEFLEXION TOTAL $\Delta_t = \text{CM}$
1S	0.056	0.202	0.258
2S	0.064	0.214	0.278
3S	0.058	0.179	0.237
4S	0.054	0.228	0.282
5V	0.069	0.454	0.523
6V	0.065	0.670	0.735
7V	0.064	0.584	0.648
8V	0.063	0.356	0.419
9V	0.061	0.295	0.356
10C	1.320	0.510	1.830
11C	1.280	0.540	1.820
12C	1.320	0.510	1.830
13C	1.270	0.510	1.780
14C	1.300	0.850	2.150
15V	0.955	0.432	1.379
16S	0.956	0.288	1.241

## 9.2 Fabricación de las vigas

Todas las vigas de este trabajo se fabricaron en la sección de prefabricados del Laboratorio de Materiales, a costo y bajo la dirección del autor.

La madera para los patines y toda la de las almas se cortó en el taller de prefabricados con una exactitud de  $\pm 0.1$  cm de exactitud.

Las superficies de la madera en la junta se procuró que tuviera un acabado semejante al de la madera cepillada a máquina para lograr un buen pegado.

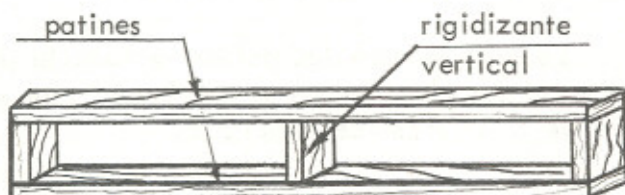
Se usó para todas las vigas rigidizantes verticales del mismo tamaño en su sección de los patines empleados, facilitándonos esto la fabricación.

Las vigas cortas diseñadas para fallar a corte en el alma, y a corte deslizante se fabricaron todas de sección continua y con rigidizantes espaciados 59 cms de centro a centro.

Las vigas largas diseñadas para fallar a compresión se fabricaron la mayoría con sección continua, y algunas usando juntas en los cuartos extremos, los que se usaron tanto en los patines como en el alma, pero no las dos en una misma viga. Se espaciaron los rigidizantes verticales en las vigas con junta 0.60 mts; pero se fabricaron también vigas de sección continua con rigidizantes verticales de espaciamiento variable de 0.30, 0.60 hasta 1.20 mts.

Para la fabricación primero se hicieron los marcos, que no son más que los patines superior e inferior uni

dos por medio de los rigidizantes verticales; para unirlos se usaron de 1 a 2 clavos delgados solo para sostener la madera durante la fabricación, la figura siguiente nos muestra un marco listo para ser pegado.



MARCO PREVIO A SER PEGADO  
CON EL ALMA

Fig. No. 8

Una vez fabricados los marcos se procedió a pegar en estos la madera contrachapeada del alma, la que se había cortado del tamaño necesario previamente; para pegarla se limpiaron las superficies de pegado, tratando de que estuvieran libres de aserrín o cualquier sustancia extraña; luego se untó la cola sobre los patines y en los rigidizantes verticales, se juntó el alma al patín, se sujetó el conjunto con clavos o prensas para presionar los materiales, procurando que el tiempo entre la aplicación de la cola y la presionada de los materiales fuera mínimo para obtener una buena junta. La presión se aplicó por medio de prensas espaciadas 20 cm en las vigas tipo A y por medio de clavos espaciados 8 cm en las vigas tipo B.

Los clavos se colocaron en una fila al centro de cada patín, usándose de una longitud mínima igual a 2 veces el espesor de la madera contrachapeada del alma.

### 9.3 Ensayos realizados

Las vigas se ensayaron 8 días después de fabricadas como mínimo para dar tiempo al secado de la cola.

La mayor parte de las vigas ensayadas se cargaron al centro de la luz, con luz libre de 1.18 mts para las vigas cortas y 2.40 mts para las vigas largas, usando apoyos especiales, lográndose así tener dentro de los límites prácticos, una viga simplemente soportada.

Las deflexiones máxima de cada viga se midieron por medio de un deflectómetro colocado al centro de la luz, teniendo cuidado de llegar las lecturas tan próximas a la falla como fuera posible.

Todas las vigas cortas se rompieron en la máquina universal de ensayos del Laboratorio de Materiales, aplicando la carga a razón de 400 kg/minuto. El primer grupo de vigas largas, debido a su tamaño se ensayaron en un marco de operación manual del Laboratorio; sin embargo el segundo grupo se logró ensayar en la máquina universal usando los apoyos sobre una viga de acero, el detalle de los ensayos se puede apreciar en las fotografías de la página #121.

### 9.4 Resultados obtenidos en los ensayos

Los valores de carga de falla de los ensayos se tabulan en el cuadro VII, VIII y IX en los cuales:

La primera columna corresponde al número del subgrupo de vigas y es el mismo usado en el cuadro V a-

compañándolo en este caso de otro número dígito que corresponde al número de orden de la viga dentro del subgrupo, al final de cada subgrupo se ha usado una letra P, en vez del número de orden que indica el promedio encontrado para cada subgrupo.

En la segunda columna se reproduce el valor menor de los tabulados en las columnas 11, 12 y 13 del cuadro V.

La tercera columna corresponde a la carga real de falla de la viga.

En la columna cuatro se muestra la diferencia algebraica entre la carga teórica de falla y la carga de falla real.

En la columna cinco se muestra la variación en % entre la carga de falla real y la carga teórica de falla.

En la columna sexta se ha reproducido el menor valor de las cargas teóricas de trabajo tabuladas en las columnas 8, 9 y 10 del cuadro V y nos sirve para comparar con la carga de falla.

Como las vigas diseñadas para fallar en compresión, se fabricaron variando el espaciamiento de rigidizantes verticales en un subgrupo y otro con almas y patines discontinuos, se hizo necesario usar en este grupo de vigas una segunda identificación, tabulada al final del cuadro respectivo y es la siguiente:

R 30      Vigas longitudinalmente continuas con rigidizantes verticales espaciados 0.30 mts.



- R 60 Vigas longitudinales continuas con rigidizantes espaciados a 0.60 mts.
- R 120 Vigas longitudinalmente continuas con rigidizantes espaciados a 1.20 mts.
- R 60 1JP Vigas con rigidizantes verticales espaciados a 0.60 mts y con juntas en el patín superior a  $L/4$ , y en el inferior a  $3/4 L$ .
- R 60 2JP Vigas con rigidizantes verticales espaciados a 0.60 mts y con juntas en los patines superior e inferior a  $L/4$  y  $3/4 L$ , correspondiendo a la misma sección transversal.
- R 60 1JA Vigas con rigidizantes espaciados a 0.60 mts y con juntas en el alma a  $L/4$  y  $3/4 L$  no correspondiendo a la misma sección transversal, pudiendo hacerse en las vigas Tipo A solo si se usa alma formada por dos pliegos de madera contrachapeada.
- R 60 2JA Vigas con rigidizantes verticales a 0.60 mts, con juntas en el alma correspondiendo a la misma sección transversal a  $L/4$  y  $3/4 L$ .

Las deflexiones obtenidas se plotearon para cada viga en las gráficas adjuntas, se ha plotado también la curva teórica correspondiente a cada subgrupo; indicando en cada curva las cargas de falla reales, la carga de trabajo y la deflexión permitida para cada subgrupo de vigas.

Se usó en la nomenclatura de las curvas la misma usada en los cuadros V, VII, VIII y IX explicados anteriormente.

De los tipos de falla obtenidos la que se caracterizó más claramente fue la de corte deslizante en las que el alma se despegó de los patines en el momento de falla.

La falla a compresión se presentó en muchos casos por un despegamiento del alma del patín del lado a compresión como se aprecia en la fotografía de la página #119, esta falla estuvo siempre seguida de una falla brusca del patín a tensión la que se produjo una vez la viga fallaba a compresión sin incrementar la carga aplicada.

La falla por corte en el alma se presentó en algunas vigas de alma muy delgada  $3/16''$  y  $1/4''$  en forma de grietas longitudinales, las que aparecieron al centro del alma o cercanas al borde inferior de los patines.

En las vigas de diseño especial (15 V) las cuales no tenían el alma reforzada se produjo la falla por corte en uno de los cuartos extremos.

En las vigas (16 V) cargadas como las anteriores, cuya alma se reforzó en los cuartos extremos, la falla se produjo con una carga casi el doble de la carga de las 15 V, y en el tramo central; lo que nos indica que se produjo por compresión y no por corte deslizante como se esperaba; pero con una relación  $K = 1.0\bar{T}$  que era muy baja.

Al hacer los ensayos se procuró que los nudos de la madera corriente, sobre todo en la zona de momento máximo, quedaran trabajando en el patín a compresión, pues aquí son menos críticos.

C U A D R O VII

VIGAS FALLADAS A CORTE DESLIZANTE

(1) VIGA	(2) CARGA TEORICA DE FALLA Kg	(3) CARGA DE FALLA REAL Kg	(4) DIFERENCIA Kg	(5) VARIACION %	(6) CARGA DE TRABAJO Kg
1 S 1	3420	3680	+ 260	+ 7.6	855
1 S 2	3420	3520	+ 100	+ 2.8	855
1 S 3	3420	3520	+ 100	+ 2.8	855
1 S 4	3420	3400	- 20	- 0.6	855
1 S 5	3420	3000	- 420	-12.3	855
1 S P	3420	3424	- 4	- 0.1	855
2 S 1	3320	3600	+ 280	+ 8.4	820
2 S 2	3320	3060	- 260	- 7.8	820
2 S 3	3320	4800	+ 1440	+40.3	820
2 S 4	3320	3000	- 320	- 9.6	820
2 S P	3320	3625	+ 305	+ 9.2	820
3 S 1	4400	4200	- 200	- 4.5	1100
3 S 2	4400	5000	+ 600	+13.6	1100
3 S 3	4400	3980	- 420	- 9.5	1100
3 S P	4400	4390	- 10	- 0.2	1100
4 S 1	3120	3200	+ 80	+ 2.6	780
4 S 2	3120	3100	- 20	- 0.7	780
4 S 3	3120	3000	- 120	- 3.9	780
4 S 4	3120	3180	+ 60	+ 1.9	780
4 S P	3120	3120	0	0	780
16 S 1	2680	2320	- 180	-15.5	600
16 S 2	2680	2160	- 260	-22.4	600
16 S 3	2680	2360	- 160	-13.8	600
16 S P	2680	2280	- 200	-17.2	600

C U A D R O VIII

VIGAS FALLADAS A CORTE EN EL ALMA

(1) VIGA	(2) CARGA TEORICA DE FALLA Kg	(3) CARGA DE FALLA REAL Kg	(4) DIFERENCIA Kg	(5) VARIACION %	(6) CARGA DE TRABAJO Kg
5 V 1	2570	2300	- 270	-10.5	590
5 V 2	2570	2625	+ 55	+ 2.1	590
5 V 3	2570	2385	- 185	- 7.2	590
5 V P	2570	2433	- 137	- 5.3	590
6 V 1	1170	1800	+ 630	+54.0	274
6 V 2	1170	1800	+ 630	+54.0	274
6 V 3	1170	2000	+ 830	+71.0	274
6 V 4	1170	2260	+1090	+93.0	274
6 V P	1170	1970	+ 800	+68.4	274
7 V 1	1560	1800	+ 240	+15.2	286
7 V 2	1560	2200	+ 620	+39.8	286
7 V 3	1560	1800	+ 240	+15.2	286
7 V 4	1560	1860	+ 300	+19.2	286
7 V P	1560	1920	+ 360	+23.1	286
8 V 1	2310	3360	+1050	+45.5	534
8 V 2	2310	2550	+ 240	+10.4	534
8 V 3	2310	2800	+ 490	+20.0	534
8 V P	2310	2920	+ 610	+26.4	534
9 V 1	2840	2960	+ 120	+ 4.2	690
9 V 2	2840	2900	+ 60	+ 2.1	690
9 V 3	2840	2930	+ 90	+ 3.2	690
9 V P	2840	2920	+ 80	+ 2.8	690
15 V 1	1740	1810	+ 30	+ 3.4	404
15 V 2	1740	1820	+ 35	+ 4.0	404
15 V 3	1740	1780	+ 15	+ 1.7	404
15 V P	1740	1802	+ 26	+ 3.0	404

CUADRO IX

VIGAS FALLADAS A COMPRESION

(1) VIGA	(2) CARGA TEORICA DE FALLA Kg	(3) CARGA DE FALLA REAL Kg	(4) DIFERENCIA Kg	(5) VARIACION %	(6) CARGA DE TRABAJO Kg	(7) IDENTIFI CACION # 2
10 C 1	1420	1560	+140	+ 9.9	226	R 30
10 C 2	1420	2170	+750	+52.7	226	R 30
10 C P <sub>1-2</sub>	1420	1865	+445	+31.4	226	R 30
10 C 3	1420	1880	+460	+32.4	226	R 60
10 C 4	1420	2240	+820	+57.7	226	R 60
10 C 5	1420	2650	+1230	+86.6	226	R 60
10 C P <sub>3-5</sub>	1420	2223	+803	+56.5	226	R 60
10 C 6	1420	1400	- 20	- 1.4	226	R 120
10 C 7	1420	1520	+100	+ 7.1	226	R 120
10 C 8	1420	1720	+300	+21.1	226	R 120
10 C P <sub>6-8</sub>	1420	1546	+126	+ 8.9	226	R 120
11 C 1	1470	1240	-230	-15.6	234	1 J P
11 C 2	1470	1040	-430	-29.2	234	1 J P
11 C P <sub>1-2</sub>	1470	1140	-330	-22.4	234	1 J P
11 C 3	1470	1720	+250	+17.0	234	2 J A
11 C 4	1470	1980	+510	+34.5	234	2 J A
11 C P <sub>3-4</sub>	1470	1850	+380	+25.8	234	2 J A
11 C 5	1470	2400	+660	+45.0	234	1 J A
11 C 6	1420	880	-540	-38.0	234	2 J P
12 C 1	1420	800	-670	-45.6	226	2 J P
12 C 2	1420	1320	-150	-10.4	226	2 J A
12 C 3	1420	1800	+330	+22.4	226	R 60
12 C 4	1420	1840	+420	+29.6	226	R 60
12 C P <sub>3-4</sub>	1420	1820	+375	+26.4	226	R 60
13 C 1	1475	1860	+385	+26.2	234	R 60
13 C 2	1475	1720	+245	+16.6	234	R 60
13 C 3	1475	1730	+255	+17.3	234	R 60
13 C P <sub>1-3</sub>	1475	1770	+295	+20.0	234	R 60
14 C 1	1360	1380	+ 20	+ 1.3	215	R 60
14 C 2	1360	1610	+250	+17.0	215	R 60
14 C 3	1360	1390	+ 30	+ 2.0	215	R 60
14 C 4	1360	1480	+105	+ 7.1	215	R 60
14 C P <sub>1-4</sub>	1360	1465	+105	+ 7.7	215	R 60

#### 9.4.1 Determinación del esfuerzo de trabajo para corte deslizante

Debido a que los valores de esfuerzos obtenidos en las pruebas de corte deslizante en especímenes pequeños, resultaron muy grandes comparados con los obtenidos en los ensayos realizados en vigas cortas, que fallaron en la junta, se hizo necesario calcular este valor de otra manera para lo que se procedió calculando primero los esfuerzos de ruptura en las vigas de cada subgrupo que había fallado por corte deslizante, usando la fórmula 6 del Capítulo I.

Los esfuerzos de ruptura se promediaron, y este esfuerzo promedio se dividió entre 4 que es el factor de seguridad empleado para encontrar los esfuerzos de trabajo de corte deslizante.

Los cálculos se hicieron tanto para madera contrachapeada tipo banak, como para laurel y se encuentran tabulados en los cuadros X y XI.

#### 9.4.2 Obtención del módulo de elasticidad de corte (G) para la madera contrachapeada

Para encontrar el valor de la deflexión debida a corte, es necesario conocer el módulo de elasticidad de corte (G).

Para calcular el valor de G para cada tipo de madera contrachapeada, se usaron los valores de deflexión obtenidos en los subgrupos de vigas cortas, ya que en estas la deflexión debida a corte es alrededor de 80% de la total, o sea que la deflexión por flexión no influye considerablemente en la deflexión total por lo que

el valor  $G$  está menos sujeto a las variaciones de la madera corriente.

Para el cálculo del valor de  $G$  se procedió de la siguiente manera:

- Se calculó el promedio de las deflexiones máximas totales ( $\Delta_t$ ) obtenidas de los ensayos para cada subgrupo de vigas.
- Se calculó la deflexión teórica por flexión ( $\Delta_f$ ) usando la fórmula (11b) del capítulo I con  $E = 1.07 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ .
- Se encontró el valor de deflexión de corte, ( $\Delta_v$ ) restando el valor a del b.
- Con el valor de deflexión por corte ( $\Delta_v$ ) encontrado se despejó  $G$  de la fórmula (12) Capítulo I así:

$$G = \frac{P L h^2 K C}{I_g \Delta_v}$$

Se usaron los valores de  $K$  y  $C$  del gráfico I obtenidos de un gran número de ensayos por American - Plywood Association (APA) de U.S.A.

Los valores encontrados se tabulan en los cuadros XII y XIII.

Como valor de  $G$  en caso de no tener otra alternativa se puede usar  $1/20 E$  que nos da una buena aproximación.



### 9.5 Ensayo especial

Con objeto de probar la resistencia a agentes externos destructivos de la madera contrachapeada y de la madera corriente, se dejaron en la sección de prefabricados 8 vigas cortas del tipo A, 4 de alma de banak y 4 de alma de laurel, habiéndose tratado dos de cada clase con pentadine en una solución de una parte de pentadine y nueve partes de aceite diesel, habiéndose aplicado dos manos con brocha a intervalo de un día entre una y otra aplicación.

Estas vigas quedaron para su observación en la sección de prefabricados del Centro de Investigación de la Facultad de Ingeniería.

## C U A D R O X

### ESFUERZOS DE RUPTURA PARA MADERA CONTRACHAPEADA TIPO BANAK

VIGA	Esfuerzo de corte deslizante de ruptura S (Kg/cm <sup>2</sup> )	
1 S 1	11.8	$S_{\text{promedio ruptura}} = \frac{1316}{11} = 120 \text{ Kg/cm}^2$ (Banak).
1 S 2	12.3	
1 S 3	12.3	
1 S 4	12.8	
1 S 5	10.4	
3 S 1	11.5	$S_{\text{de trabajo}} = \frac{12}{4} = 3.0 \text{ Kg/cm}^2$ (Banak)
3 S 2	13.7	
3 S 3	10.8	
2 S 1	13.0	
2 S 2	11.2	
2 S 3	11.8	
	$\Sigma = 131.6$	

## C U A D R O X I

### ESFUERZOS DE RUPTURA PARA MADERA CONTRACHAPEADA TIPO LAUREL

VIGA	Esfuerzo de corte deslizante de ruptura S (Kg/cm <sup>2</sup> )	
4 S 1	10.6	$S_{\text{promedio ruptura}} = \frac{41.7}{4} = 10.4 \text{ Kg/cm}^2$ (Laurel)
4 S 2	10.7	
4 S 3	10.4	
4 S 4	10.0	
	$\Sigma = 41.7$	$S_{\text{de trabajo}} = \frac{10.4}{4} = 2.6 \text{ Kg/cm}^2$ (Laurel)

Para obtener esfuerzos de trabajo usando especímenes pequeños como el descrito en la página No. 49, se deben afectar por un factor de seguridad de 10, los esfuerzos promedios de ruptura como los obtenidos en página No. 48 .

C U A D R O X I I

CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD DE CORTE PARA MADERA  
CONTRACHAPEADA TIPO BANAK

VIGA	Deflexión promedio de ensayos para P = 1000 Kg-cm	Deflexión teórica debida a momento para P = 1000 Kg-cm	Deflexión por corte $\Delta_v = \Delta_t - \Delta_f$ (cms)	Módulo de elasticidad de corte G Kg/cm <sup>2</sup>	Número de vigas ensayadas de cada tipo
1 S	0.270	0.056	0.214	$0.35 \times 10^4$	5
2 S	0.320	0.064	0.256	$0.31 \times 10^4$	4
3 S	0.280	0.058	0.222	$0.30 \times 10^4$	3
5 V	0.470	0.069	0.401	$0.43 \times 10^4$	3
8 V	0.340	0.063	0.277	$0.47 \times 10^4$	3

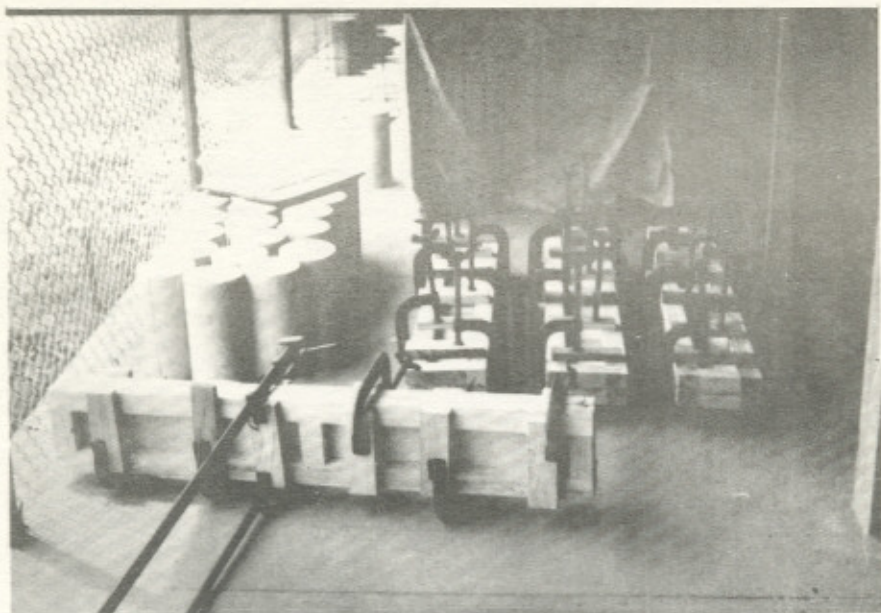
Promedio (de 18 vigas ensayadas)  $G_{Banak} = 0.37 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$

### C U A D R O   X I I I

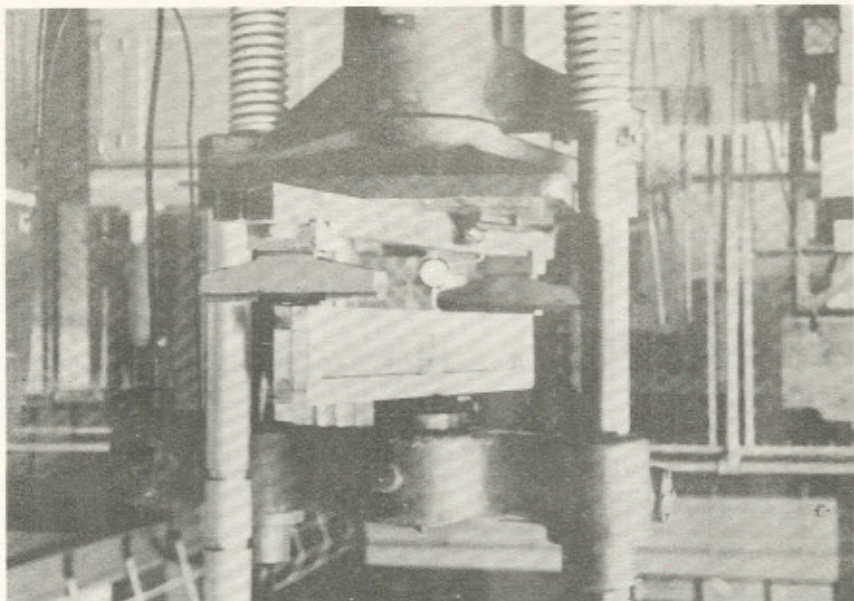
#### CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD DE CORTE PARA MADERA CONTRACHAPEADA TIPO LAUREL

	Deflexión promedio de ensayos para P = 1000 Kg-cm	Deflexión teórica debida a momento para P = 1000 Kg-cm	Deflexión por corte $A_v = A_t - A_f$ (cms)	Módulo de elasticidad de corte G Kg/cm <sup>2</sup>	Número de vigas ensayadas de cada tipo
4 S	0.300	0.054	0.246	0.31	4
9 V	0.330	0.061	0.269	0.36	3

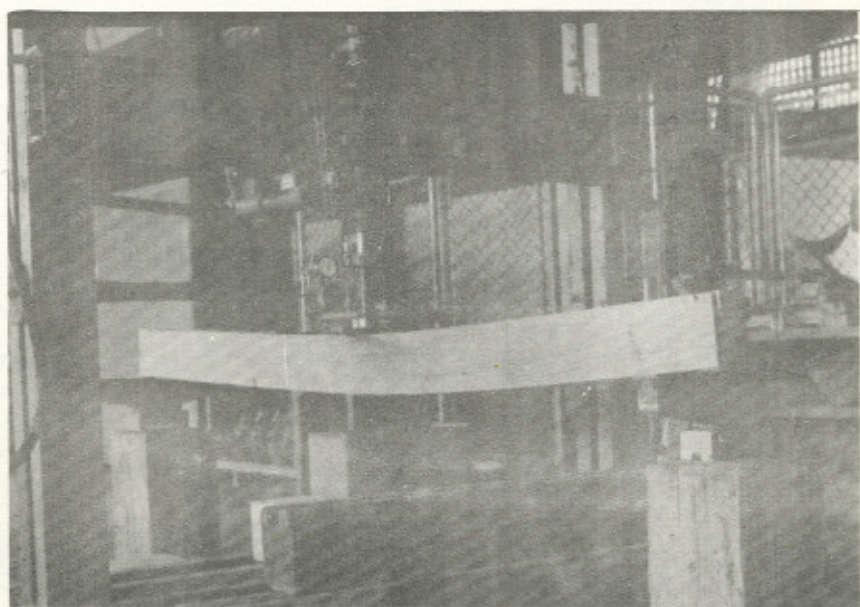
Promedio (de 7 vigas ensayadas)  $G_{\text{Laurel}} = 0.33 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$



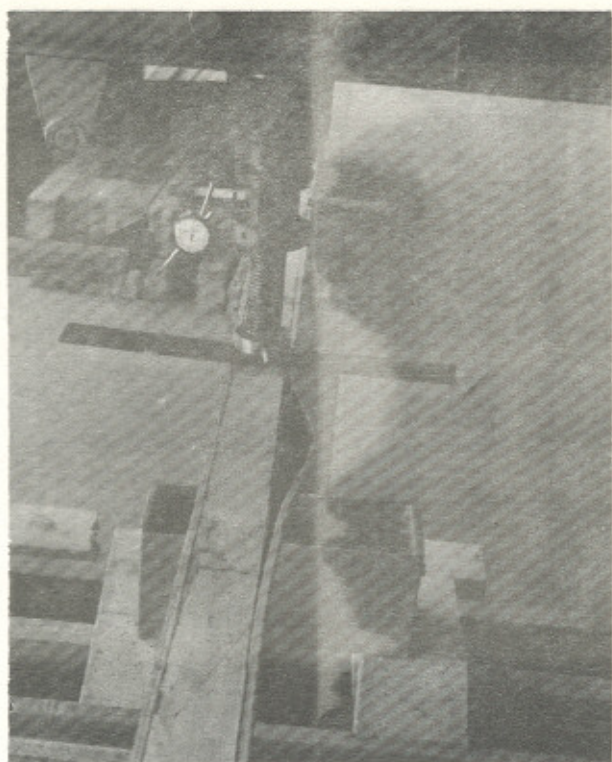
VIGAS CORTAS TIPO A (SECCION I) EN PROCESO DE FABRICACIÓN



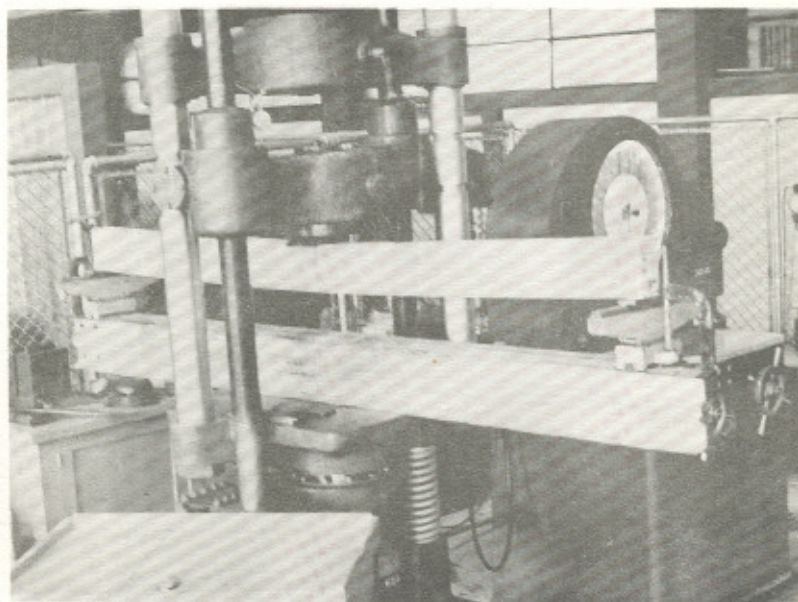
VIGA 35 LISTA PARA APLICAR LA CARGA



VIGA 10 C CARGADA EN EL MARCO  
MANUAL MOSTRANDO DEFLEXION ANTES DE LA FALLA

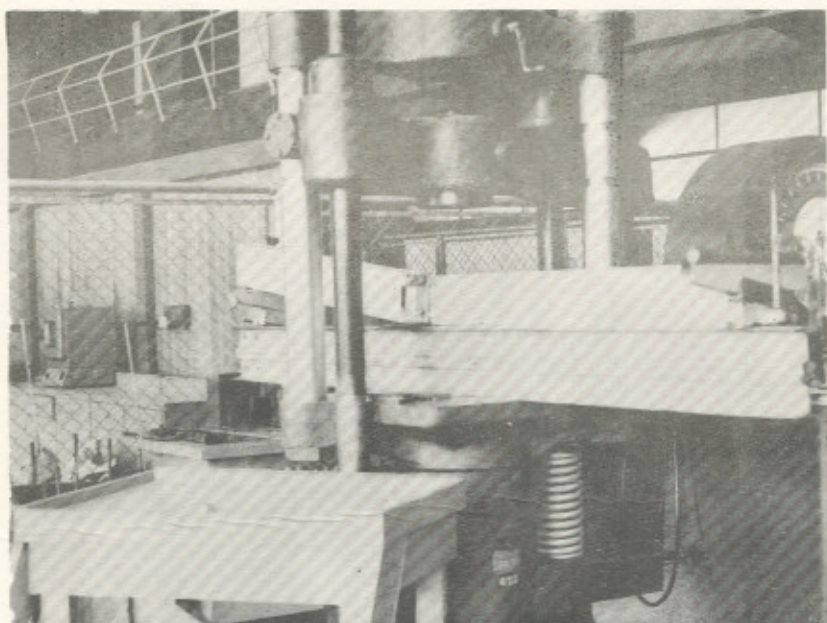


VIGA LARGA (12C) TIPO B SECCION CAJON  
MOSTRANDO FALLA EN EL PATIN A COMPRESION

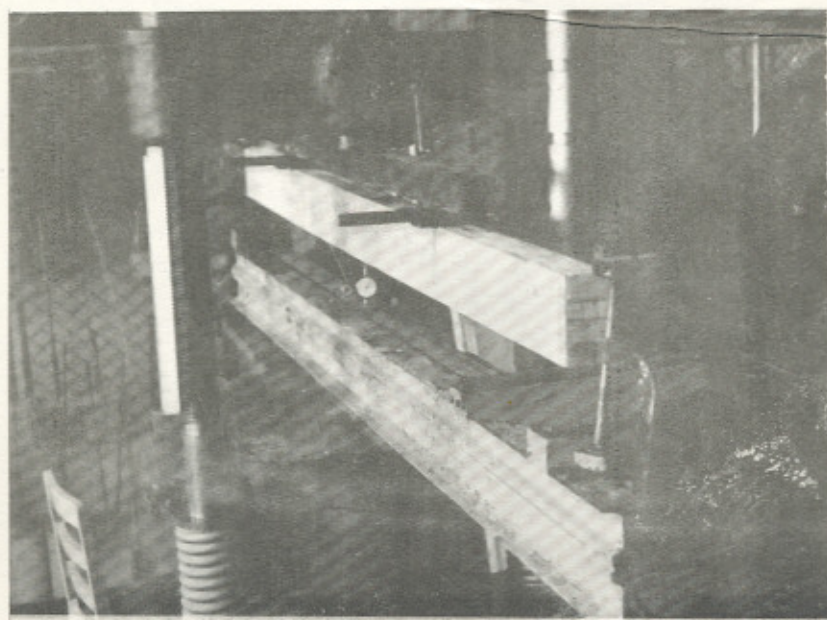


VIGA LARGA (10C) (SECCION CAJON) MOSTRANDO  
DEFLEXION ANTES DE LA FALLA

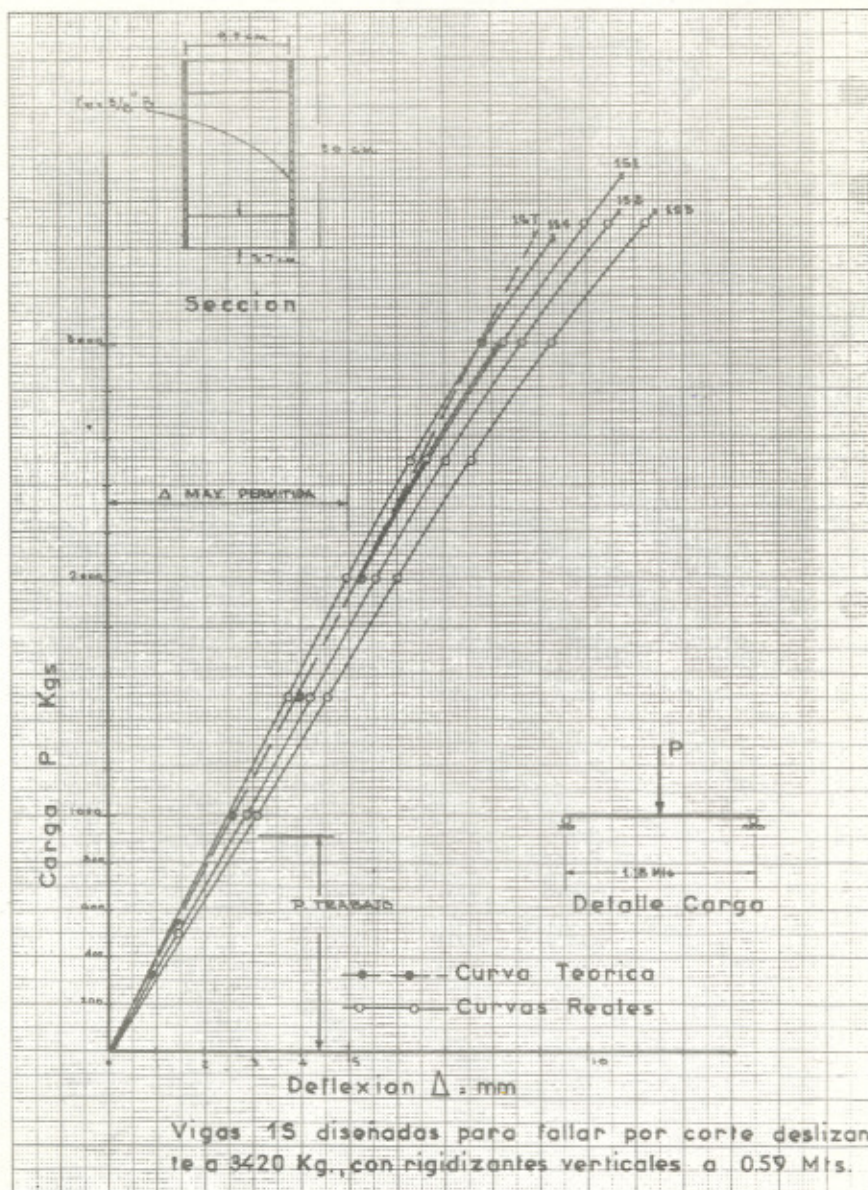


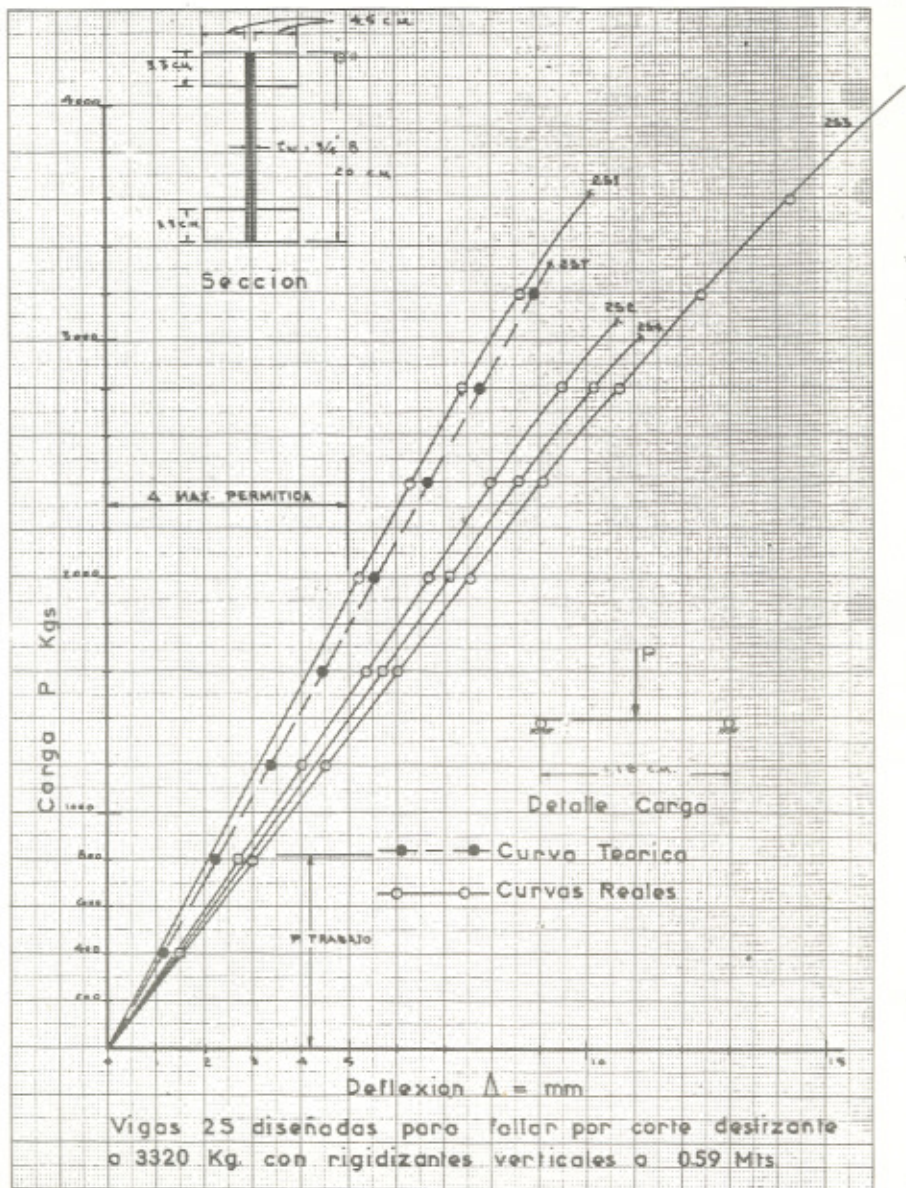


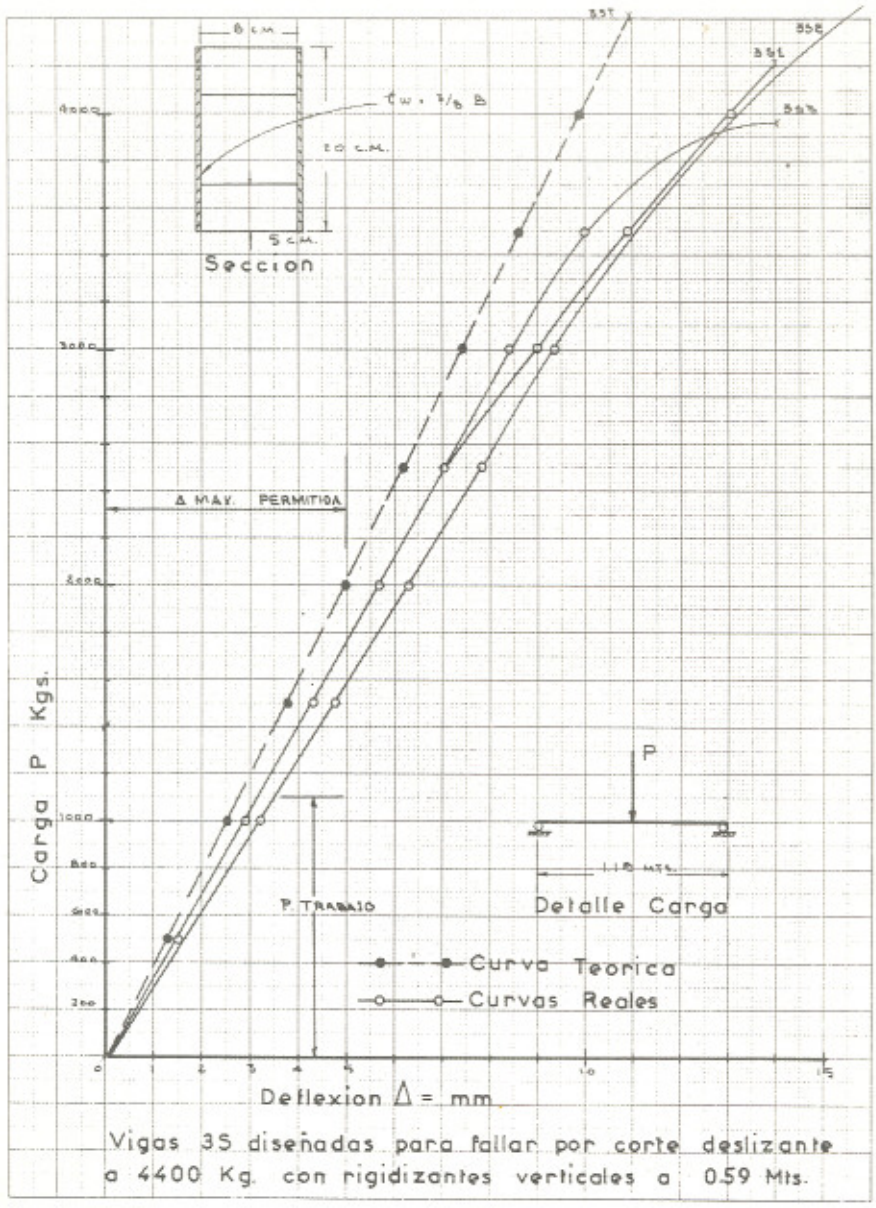
VIGA 14C MOSTRANDO LA FALLA ULTIMA

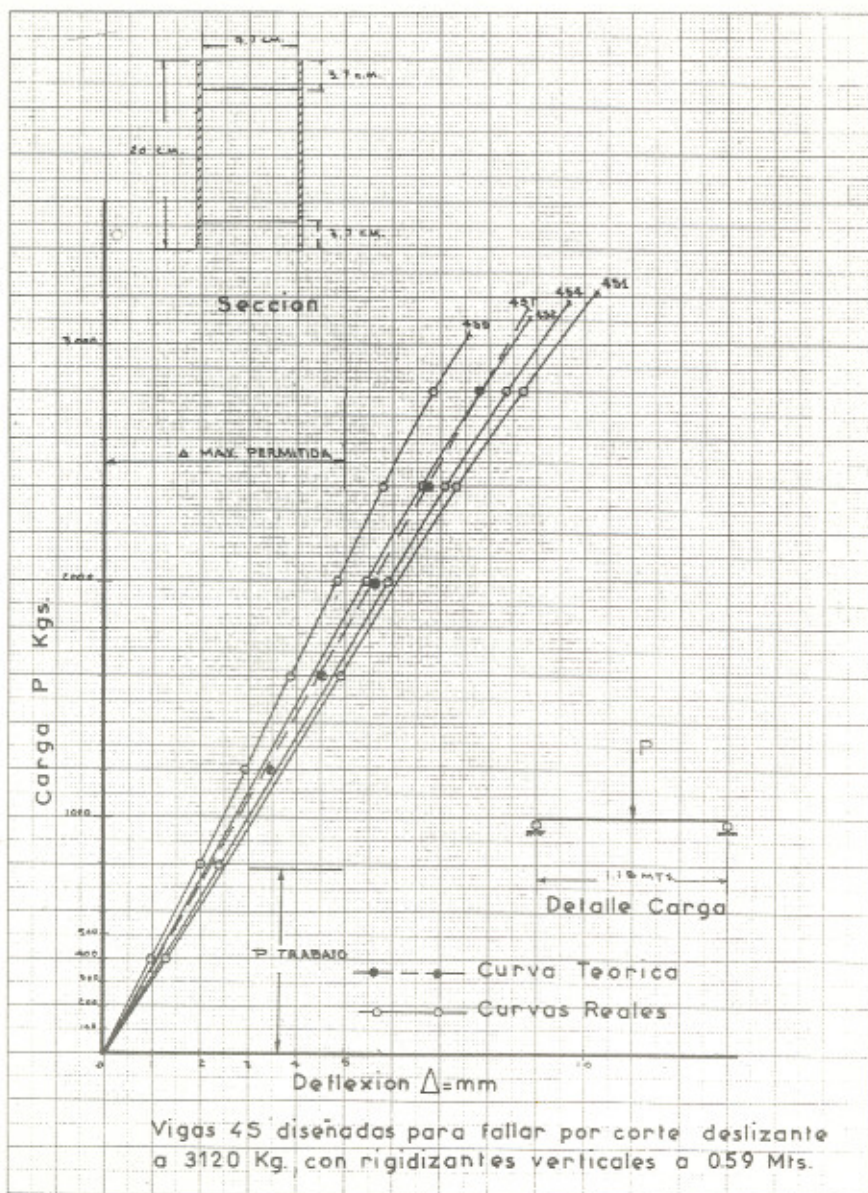


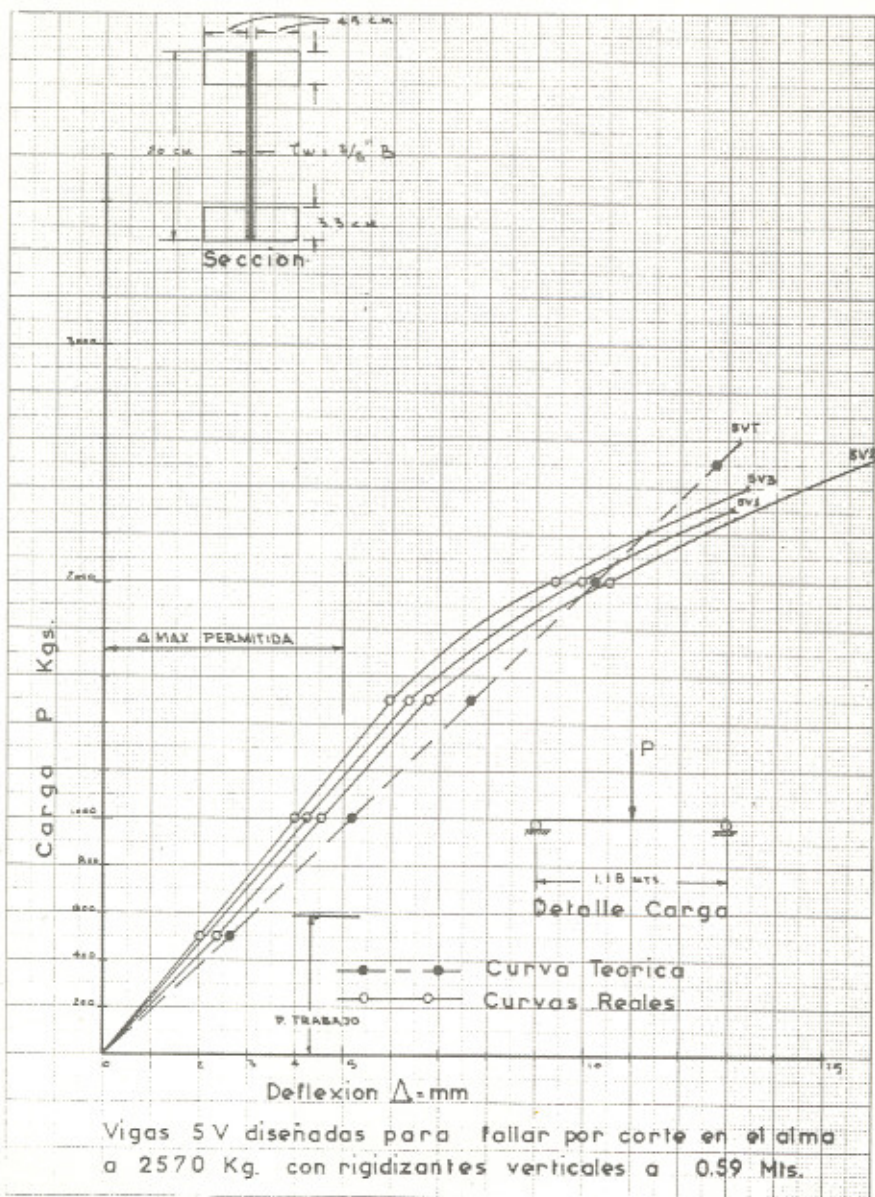
VIGA 15V LISTA PARA SER CARGADA EN LOS CUARTOS EXTREMOS



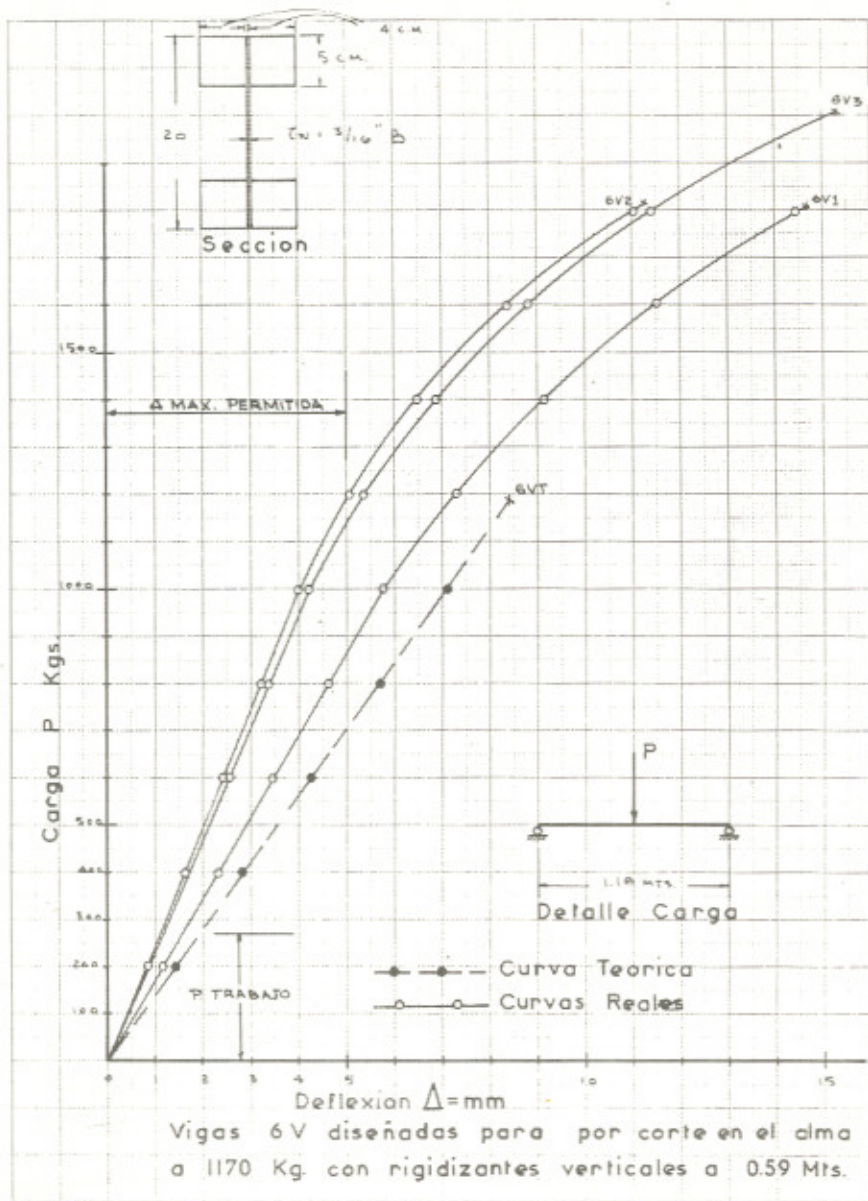


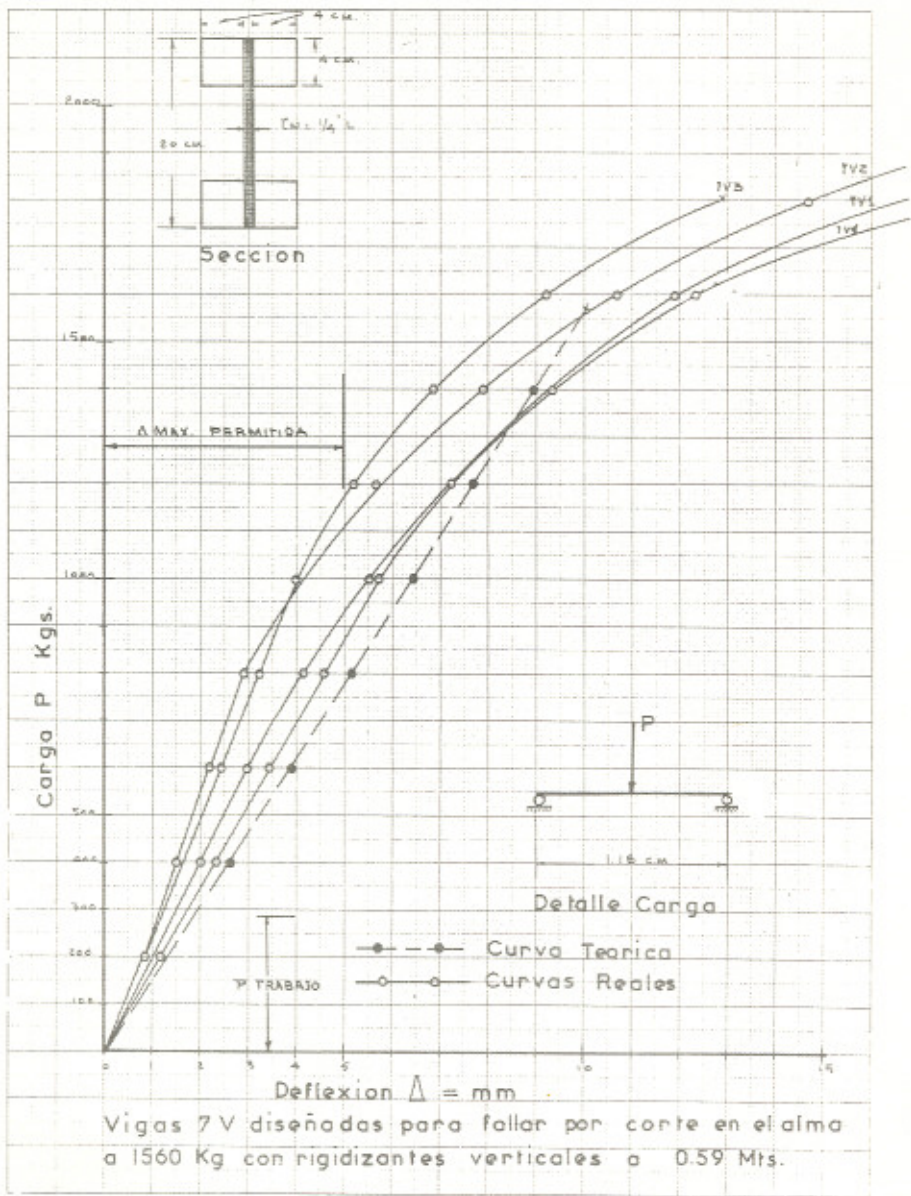




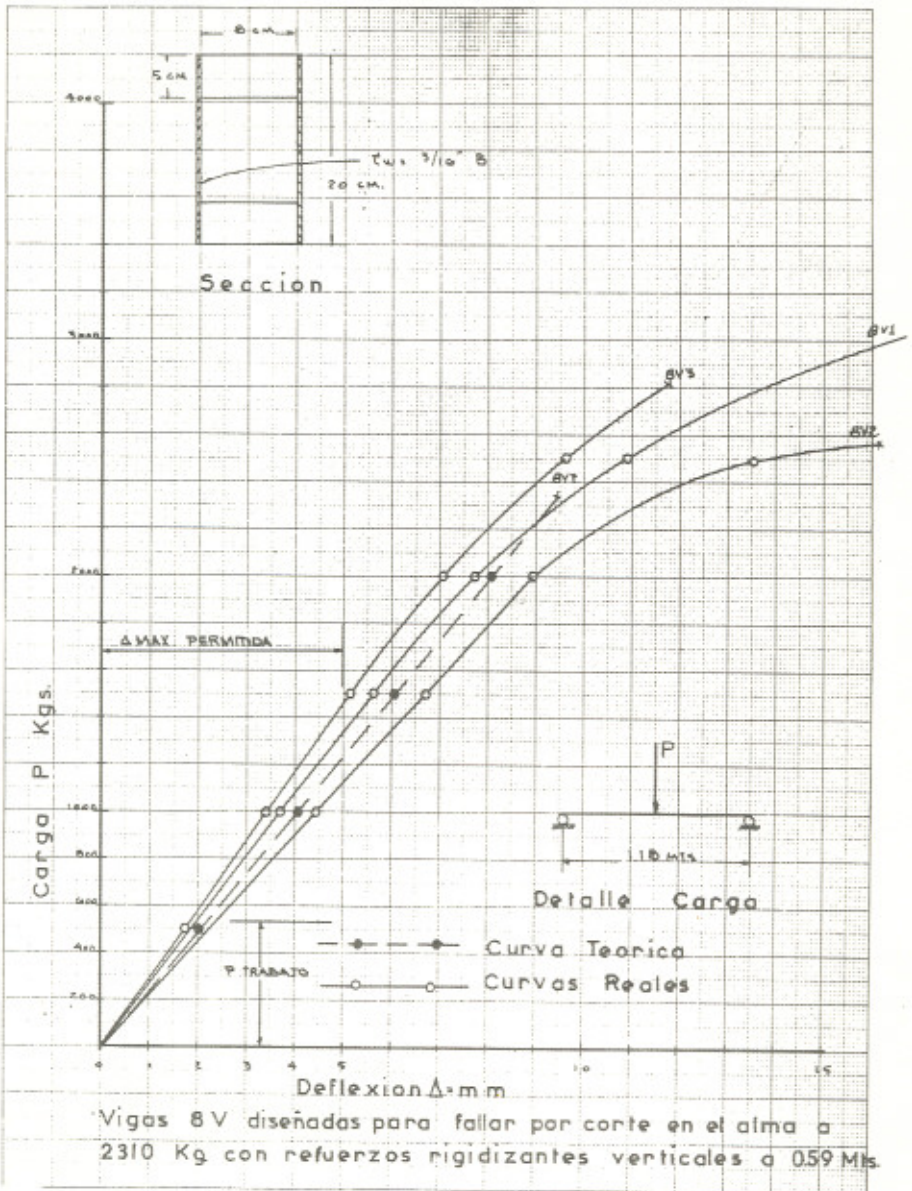


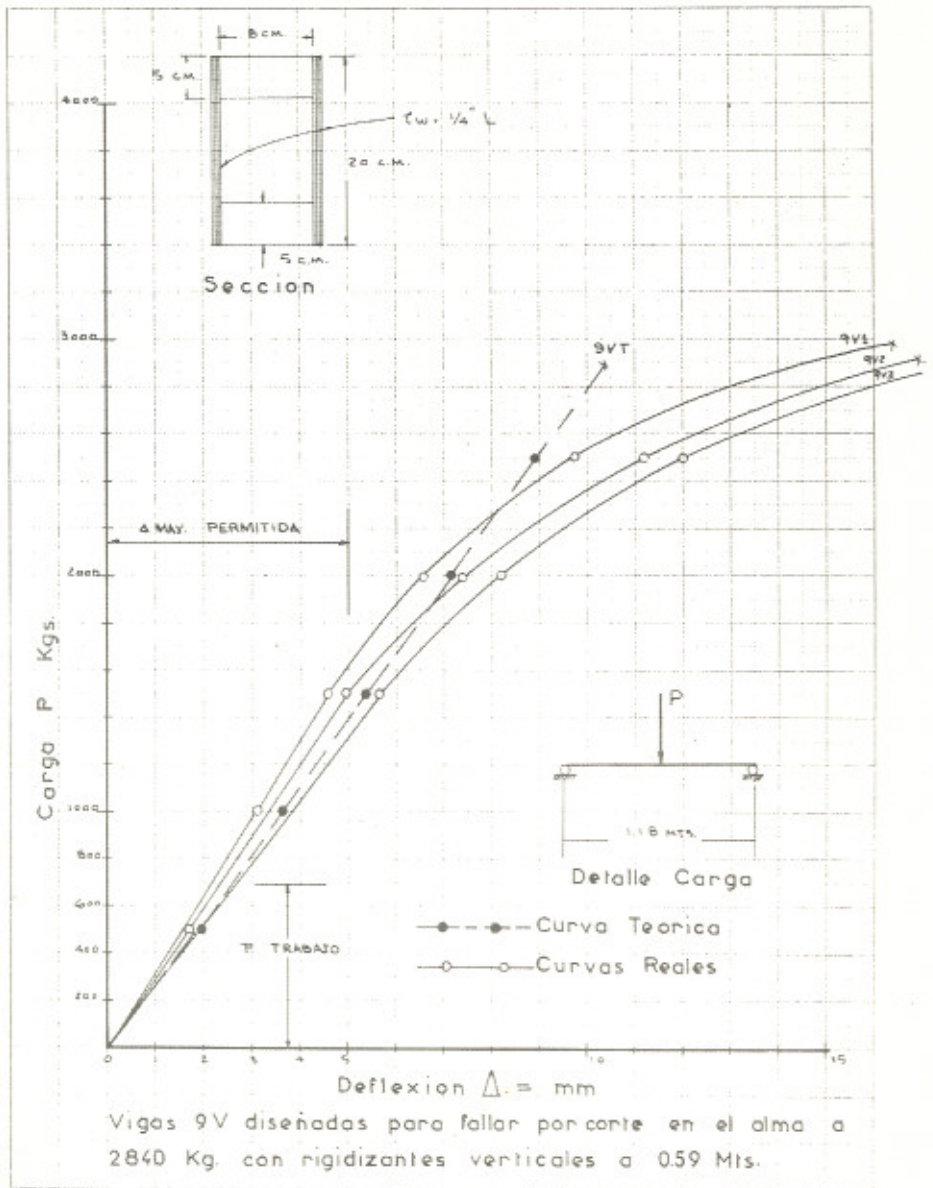
Vigas SV diseñadas para fallar por corte en el alma a 2570 Kg. con rigidizantes verticales a 0.59 Mts.

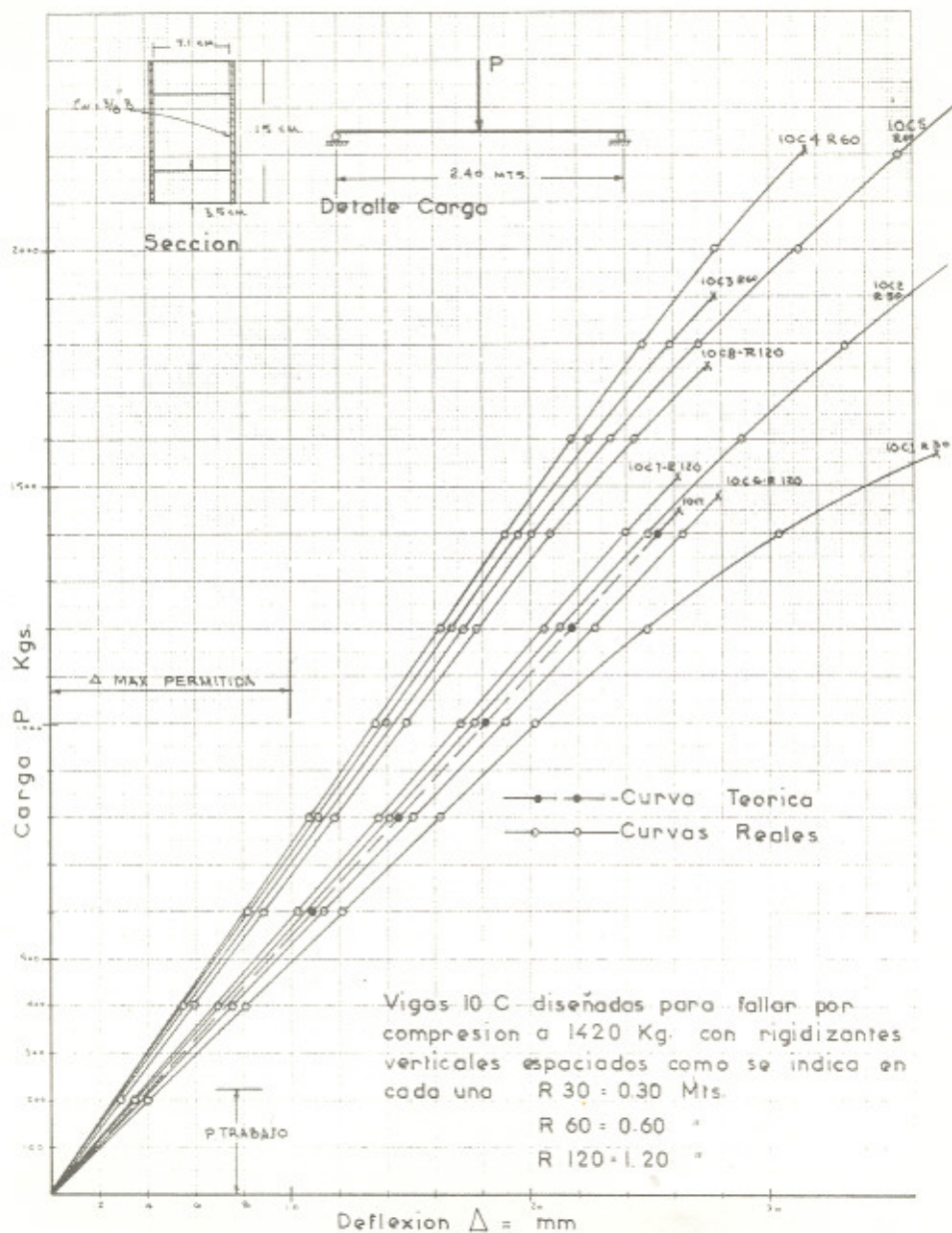


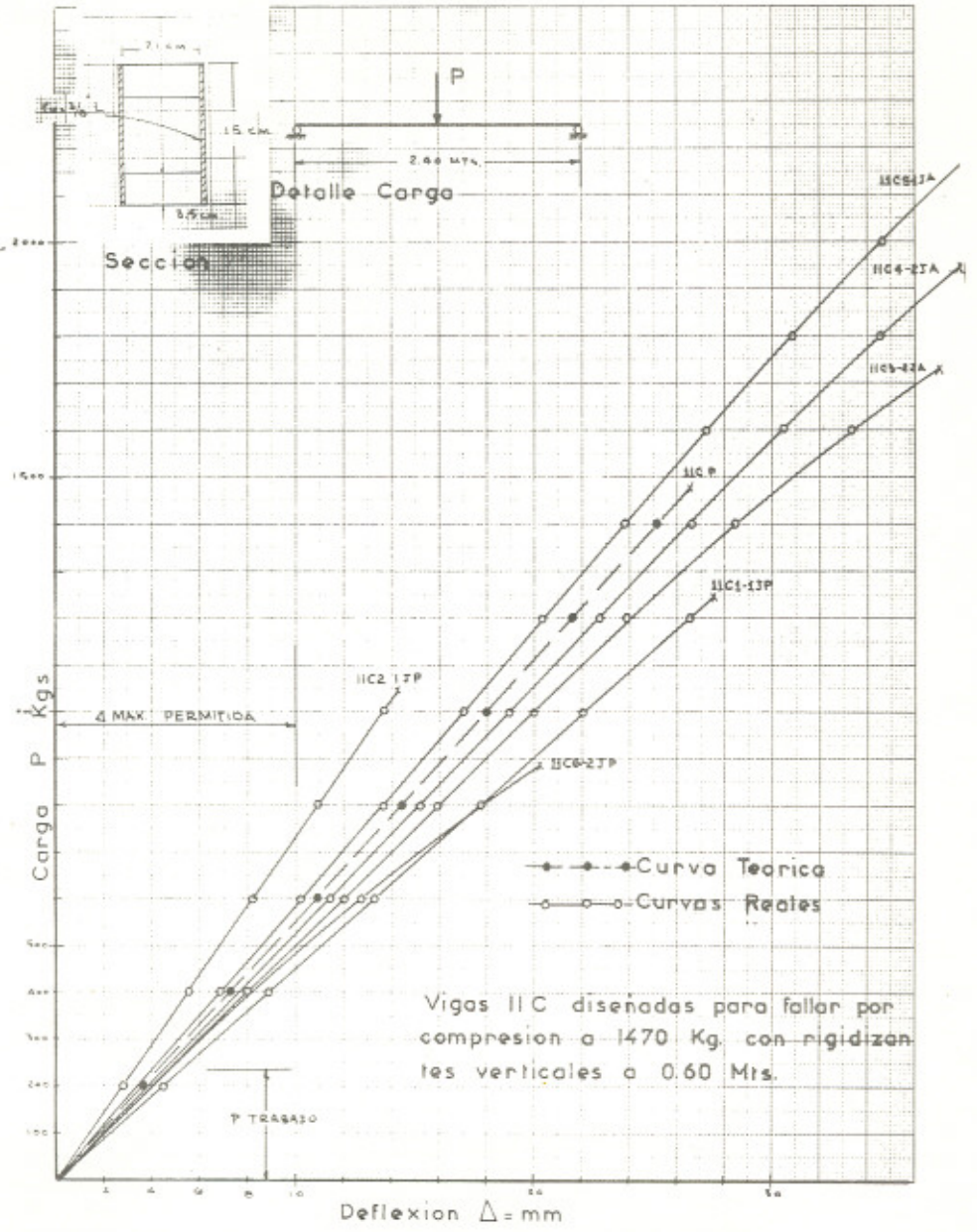


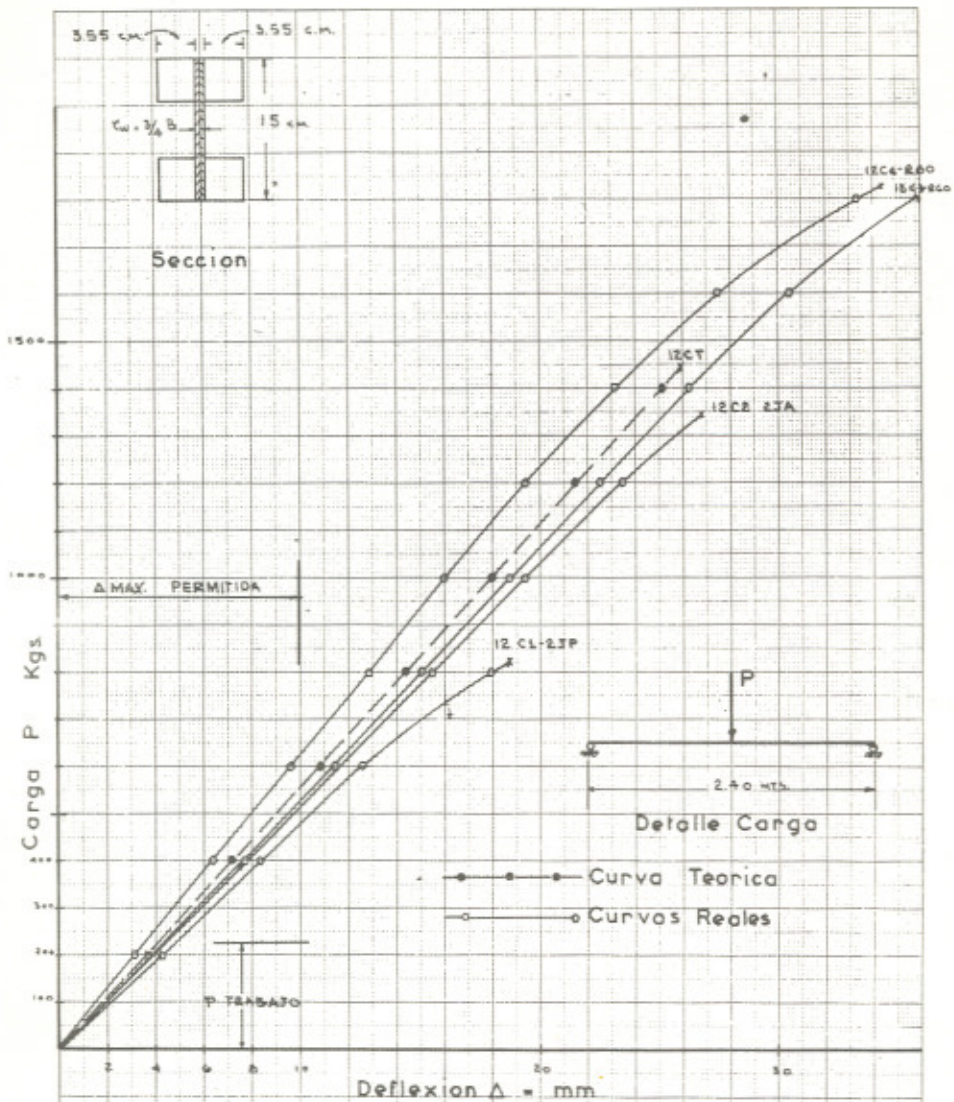




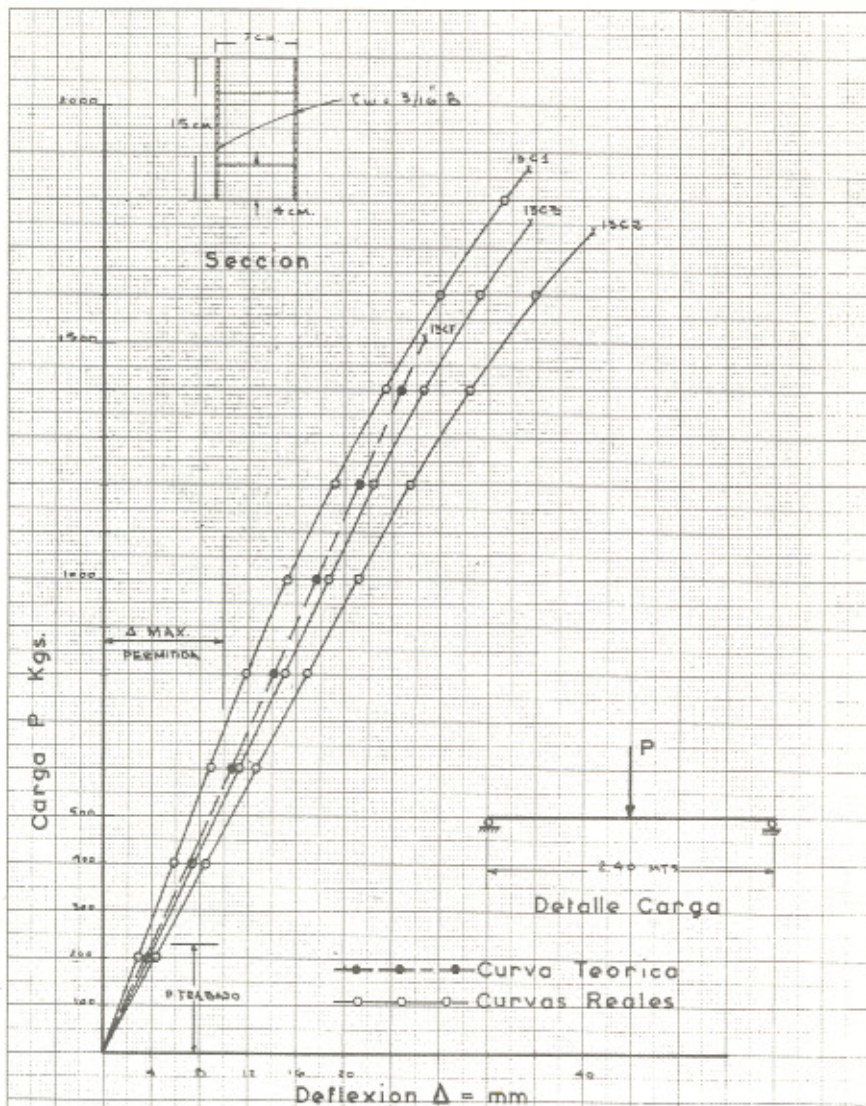




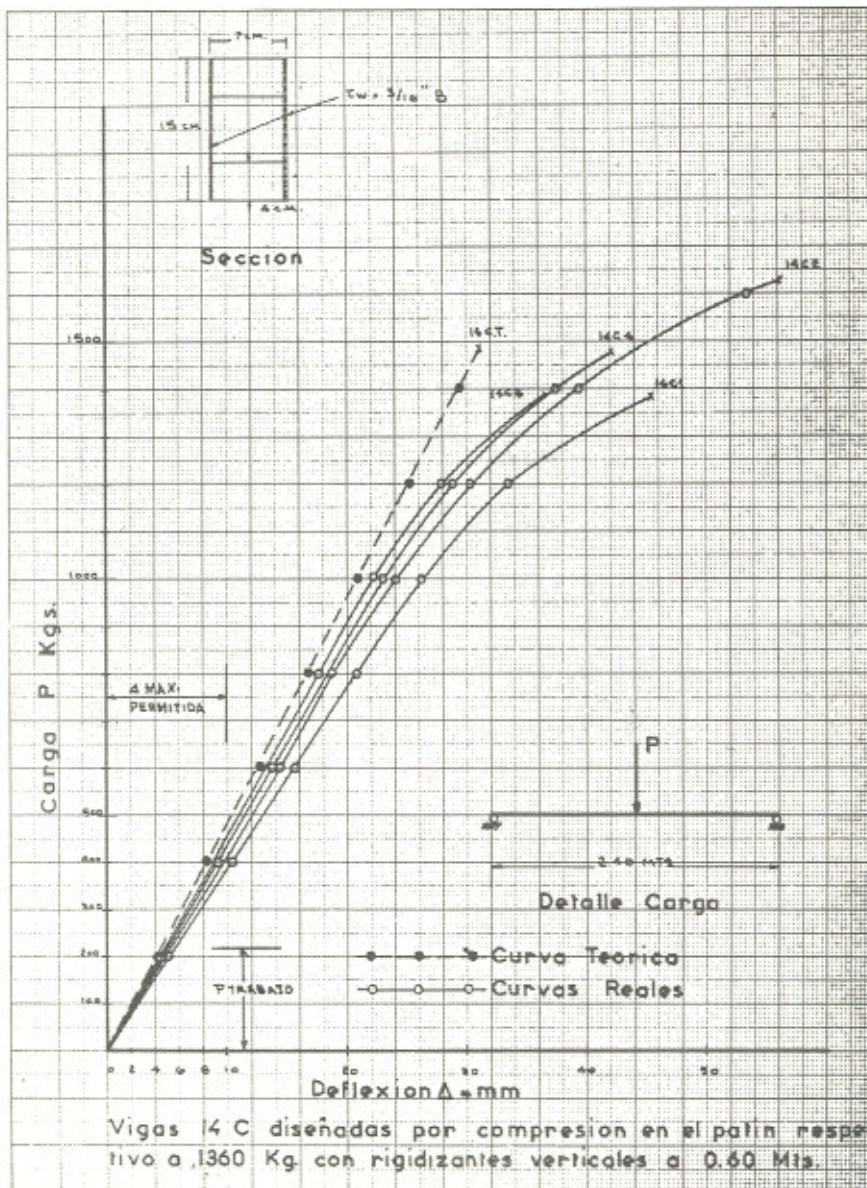


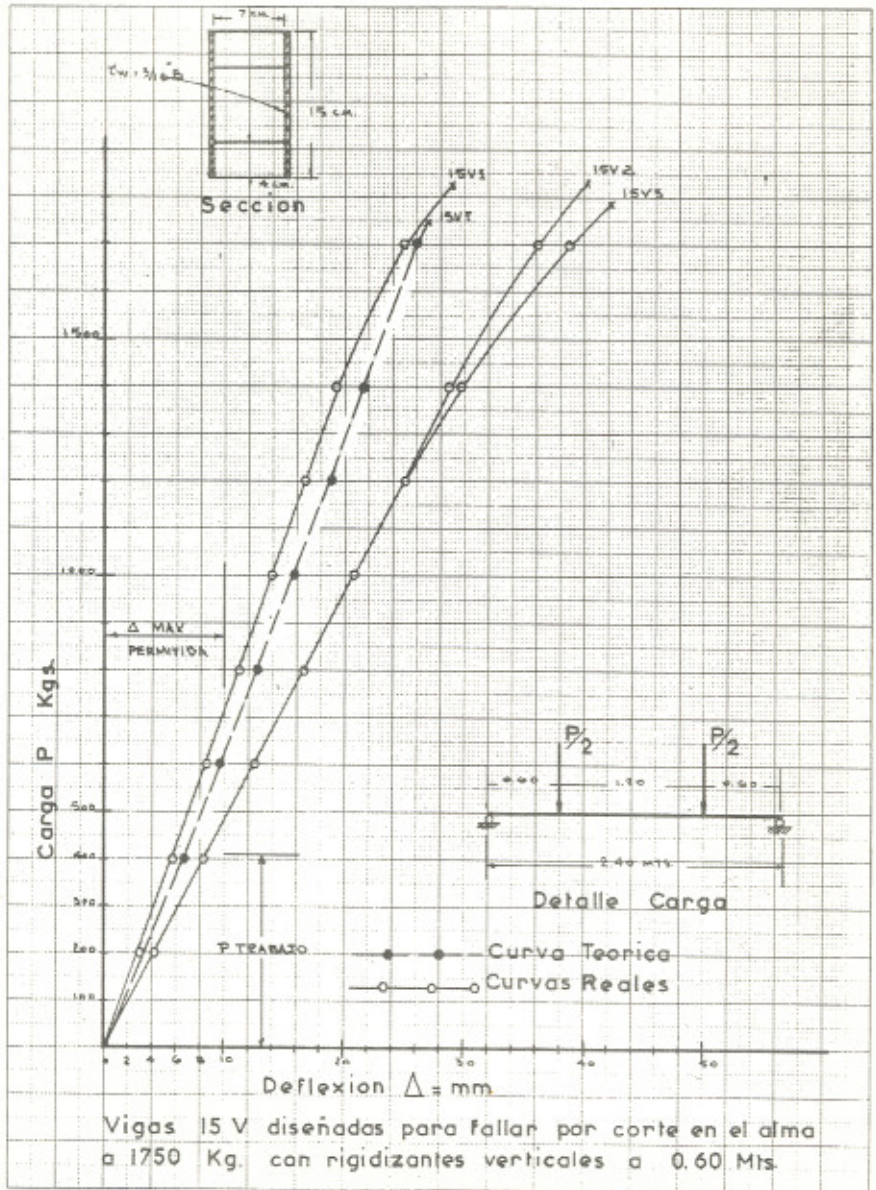


Vigas 12 C diseñadas para fallar por compresion a 1420 Kg. con rigidizantes verticales a 0.60 Mts.

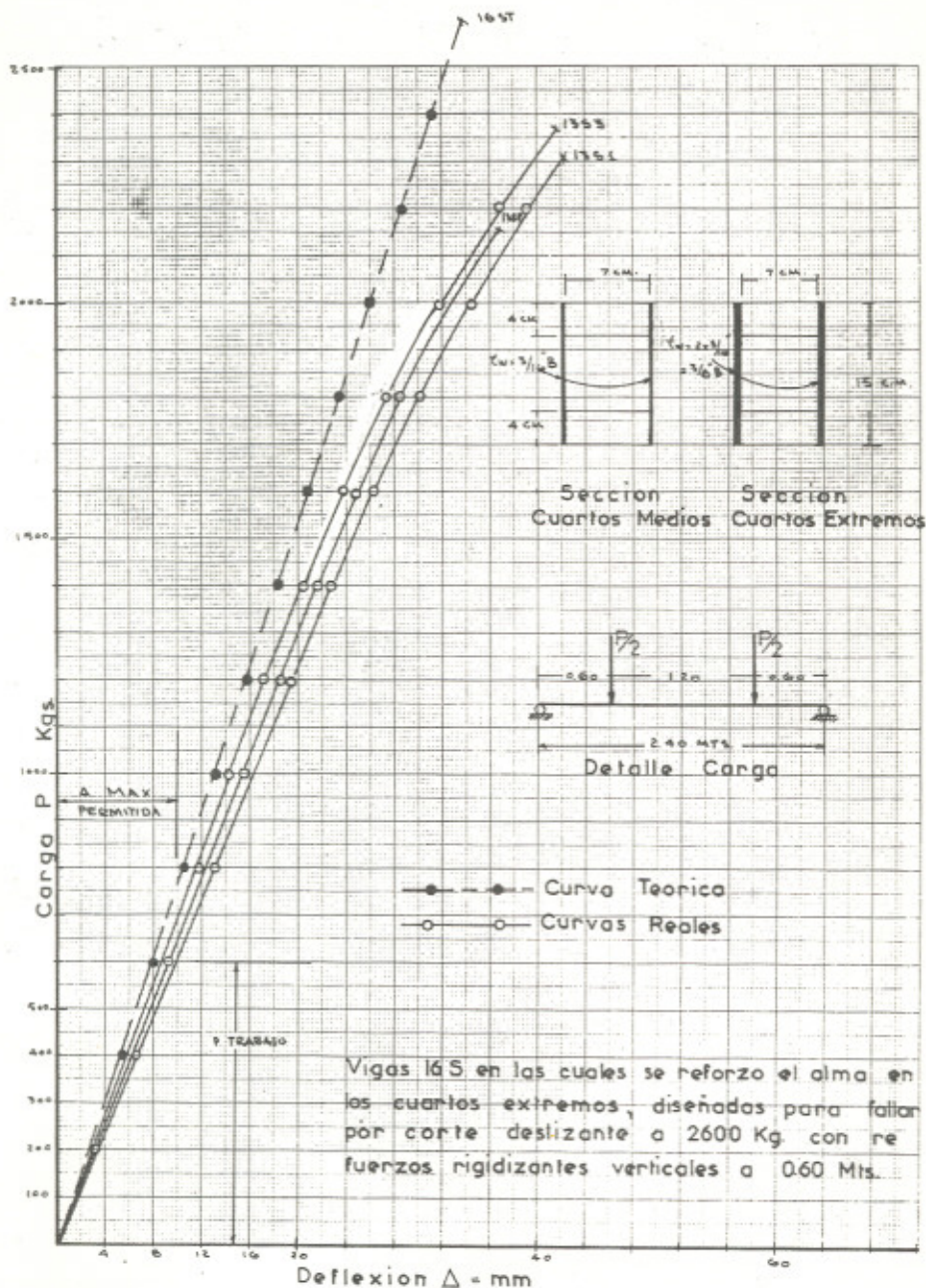


Vigas 13 C diseñadas para fallar a compresion en el patin respectivo a 1475 Kg. con rigidizantes verticales a 0.60 Mts.









### CAPITULO III

#### 10. ANALISIS ECONOMICO COMPARATIVO DE VIGAS DEL TIPO TRADICIONAL

Aunque un estudio de esta naturaleza constituye por sí solo un tema de amplio desarrollo, se pretende en esta parte del trabajo dar una idea de los factores que se deben tomar en cuenta.

Debido a que en nuestro medio no se ha usado todavía este tipo de vigas en escala industrial, los datos de este análisis en cuanto a rendimiento y materiales de fabricación, están basados únicamente en la experiencia obtenida por el autor en las vigas que se fabricaron para los ensayos.

El análisis se hizo usando como precio de la madera corriente, el precio del cenicero cepillado que es de Q0.19 por pie tabla más un incremento de Q.0.05 por pie tabla que corresponde al costo de secado de la misma, resultando un precio final de la madera corriente de Q.0.24 por pie tabla.

Como precio de la madera contrachapeada se usó el precio de venta de los distribuidores.

Los precios de la madera contrachapeada por pie<sup>2</sup> según su espesor son:

$3/16'' = Q.0.10$ ,  $1/4'' = Q.0.14$ ,  $3/8'' = Q.0.18$ ,  
 $1/2'' = Q.0.24$ , y  $3/4'' = Q.0.35$

Para comparar los costos entre las vigas compuestas y las tradicionales de madera corriente, se diseñaron vigas de ambos tipos, con una carga arbitraria uniformemente distribuida de 500 kg/metro y variando las luces desde 2.40 mts. hasta 9.60 mts cada 1.20 mts.

Se procuró en los cálculos de cada una de las vigas que los materiales trabajaran al máximo de eficiencia y se chequeó la deflexión en cada caso, comparándola con la permitida.

Los cálculos correspondientes a las vigas compuestas se hicieron con las fórmulas aproximadas del Capítulo I sección 7.

Las vigas compuestas se diseñaron con alma reforzada en los cuartos extremos, refuerzo que se prolongó una distancia  $h/2$  hacia los cuartos centrales, siendo  $h$  el peralte de la viga.

Para las vigas tradicionales de madera corriente, se consideró el precio de la madera y el costo de montaje de los elementos.

Para las vigas compuestas se consideró, el precio de la madera corriente de los patines, el precio de la madera contrachapeada del alma, el precio de los materiales de la junta, el costo de mano de obra y el costo de montaje de los elementos.

### 10.1 Costo de vigas tradicionales

Para calcular el costo de las vigas tradicionales de madera corriente, se obtuvo primero el material de cada elemento diseñado en pies tabla, y luego se multiplicó por Q.0.25 que corresponde al precio de la madera más el montaje obteniéndose así:

A = Precio del material (madera corriente, cenicero seco) = Q.0.24 por pie tabla

B = Costo montaje = 4% de A = Q.0.01 por pie tabla

Costo total de vigas tradicionales = A + B = Q.0.25 por pie tabla.

### 10.2 Costo de vigas compuestas

Para calcular el costo total de los elementos de madera contrachapeada se procedió calculando primero el material de los patines y luego el material del alma, calculando para cada material los costos correspondientes, obteniéndose así el costo A que corresponde al precio de la madera corriente más el precio de la madera contrachapeada, este valor se incrementó en 21% que corresponde a:

0.04 A = Precio material de la junta

0.15 A = Costo mano de obra en la fabricación

0.02 A = Costo del montaje de los elementos

0.021A = Incremento total

Costo total de vigas compuestas = 1.21 A (A incluye precio madera corriente más fabricación).

En ninguno de los casos se consideró el costo del transporte.

Para el cálculo de las secciones se consideró las siguientes propiedades mecánicas de los materiales:

#### Madera corriente (cenicero)

Esfuerzo de trabajo en compresión

paralela----- = 43.4 kg/cm<sup>2</sup>

Esfuerzo de trabajo en corte---- = 6.7 kg/cm<sup>2</sup>

Esfuerzo de trabajo en flexión--- = 86.5 kg/cm<sup>2</sup>

Módulo de elasticidad a flexión =  $0.84 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>

#### Madera contrachapeada (banak)

Esfuerzo de trabajo en corte---- = 18.9 kg/cm<sup>2</sup>

Esfuerzo de trabajo en corte des-  
lizante----- = 3. kg/cm<sup>2</sup>

Módulo de elasticidad en flexión E =  $0.69 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>

Módulo de elasticidad en corte G =  $0.37 \times 10^4$  kg/cm<sup>2</sup>

Los valores obtenidos de los cálculos se tabulan en los cuadros XIV, XV y XVI.

## C U A D R O   X I V

### VALORES CALCULADOS PARA VIGAS TRADICIONALES Y SU COSTO

VIGA	Luz (mts)	Carga Kg/mt	Corte (V) Kg	Momento (M) Kg-mt	Sección cm	Pies-tabla	Costo final Q/unidad
1	2.40	500	600	360	10 x 27	18.7	4.68
2	3.60	500	900	810	10 x 25	40.0	10.00
3	4.80	500	1200	1440	13 x 30	80.0	20.00
4	6.00	500	1500	2250	15 x 33	130.0	32.50
5	7.20	500	1800	3240	19 x 36	212.0	53.00
6	8.40	500	2100	4410	20 x 40	300.0	75.00
7	9.60	500	2400	5750	25 x 40	400.0	100.00

## C U A D R O X V

### VALORES CALCULADOS PARA VIGAS COMPUESTAS

VIGA	Luz (mts)	Carga Kg/mt	Corte (V) Kg	Momento (M) Kg-mt	Peralte C.M.	Patines C.M.	Alma cuartos extremos plg	Alma cuartos centrales plg
1	2.40	500	600	360	25	5 x 10	4 de 3/16 = 3/4"	2 de 3/16=3/8"
2	3.60	500	900	810	30	6 x 15	4 de 3/16 = 3/4"	2 de 3/16=3/8"
3	4.80	500	1200	1440	40	8 x 15	4 de 3/16 = 3/4"	2 de 3/16=3/8"
4	6.00	500	1500	2250	45	8 x 21	4 de 3/16 = 3/4"	2 de 3/16=3/8"
5	7.20	500	1800	3240	50	8 x 25	4 de 3/16 = 3/4"	2 de 3/16=3/8"
6	8.40	500	2100	4410	60	8 x 30	4 de 3/16 = 3/4"	2 de 3/16=3/8"
7	9.60	500	2400	5750	70	10 x 25	4 de 3/16 = 3/4"	2 de 3/16=3/8"

## C U A D R O X V I

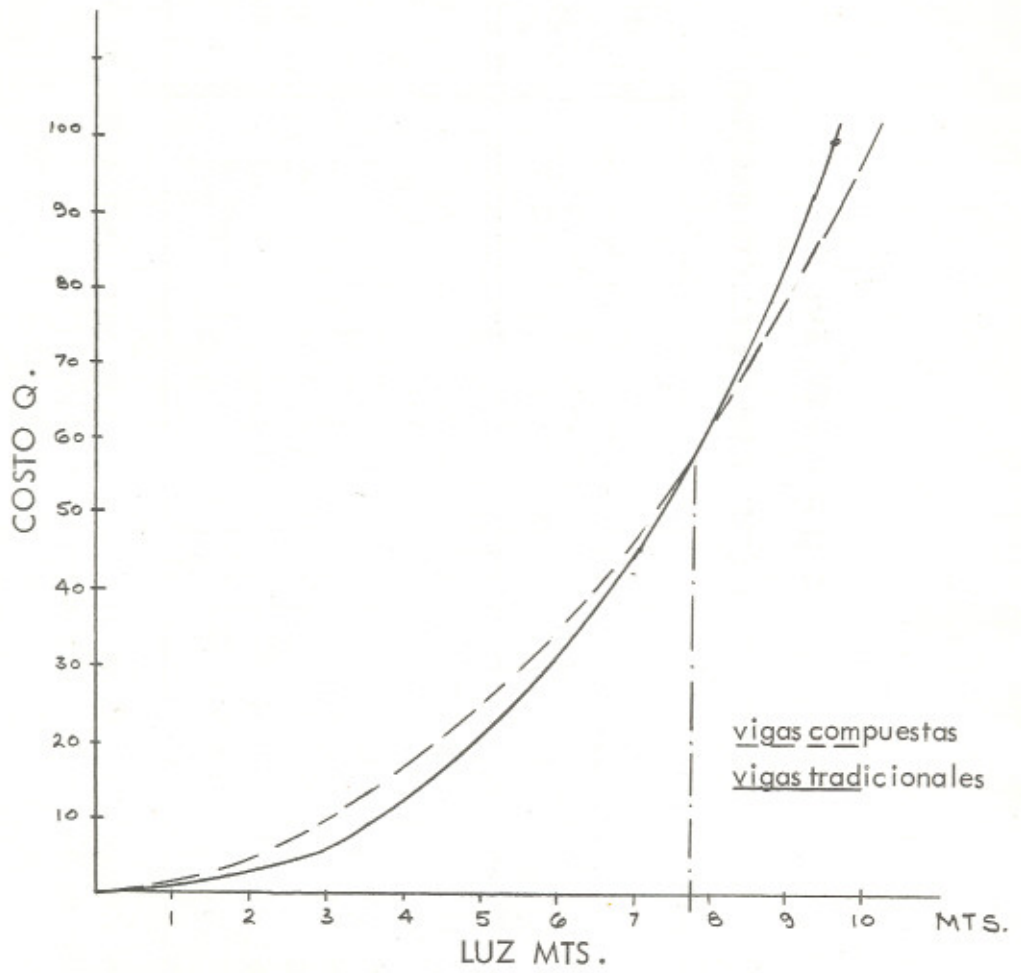
### MATERIALES Y COSTO DE VIGAS COMPUESTAS

VIGAS	Material de patines + rigidizantes	Material del alma pies <sup>2</sup> de	Costo madera corriente Q	Costo madera del alma Q	Costo madera corriente + madera del alma Q	Costo total 1.21 A
1	11.50	26.4	2.76	2.60	5.36	6.48
2	31.20	38.0	7.49	3.80	11.29	13.66
3	49.60	63.0	11.90	6.30	18.20	22.02
4	82.00	95.0	19.68	9.50	29.28	35.43
5	146.00	127.0	35.04	12.70	47.74	57.76
6	171.00	178.0	41.04	17.80	58.84	71.20
7	216.50	222.0	51.96	22.00	73.96	89.49

Con los valores obtenidos se ploteo la siguiente curva (página 130), en la cual se usó quetzales en el eje y-y y lucas en eje x-x.



# VARIACIONES DE COSTO VIGAS TRADICIONALES Y COSTO VIGAS COMPUESTAS AL VARIAR LA LUZ



## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. De los resultados de los ensayos efectuados en vigas de sección cajón y de sección I, se deduce que las fórmulas usadas para el cálculo, que se detallan en el capítulo I son validas para vigas fabricadas con maderas nacionales.
2. El empleo de las fórmulas simplificadas detalladas en la sección 7 capítulo I facilitan el cálculo y las secciones que se obtienen son ligeramente mayores que las que se obtienen con las fórmulas exactas.
3. Es notorio al comparar los valores teóricos, con los resultados obtenidos en los ensayos, que estos estuvieron mas cercanos entre sí, cuando mas proporciónamiento había en las partes de la viga.
4. Se recomienda que la forma de las piezas de los patines sean rectangulares y su dimensión menor se coloque en el sentido vertical.
5. Se recomienda que la proporción de alto a ancho de la sección de la viga compuesta sea de 2 a 2.5
6. Se debe usar un espesor mínimo de rigidizantes verticales de 4 cm (1.5") y espaciar estos no más de 1.20 mts (48").

7. Se recomienda que las juntas se alejen de los puntos críticos en la viga, y que no se hagan simultáneamente en una sección transversal, espaciándose lo menos 0.60 mts (2').
8. Se recomienda que el Laboratorio de Materiales efectúe mayor número de investigaciones, relacionadas con la conservación y la variación de resistencia con el tiempo en los materiales de nuestro medio.
9. En general es más recomendable el uso de vigas cajón, con respecto a las de Sección I, ya que aquellas tienen mayor resistencia al pandeo lateral.
10. Donde el corte lo permita debe disminuirse el espesor del alma, para obtener vigas más económicas.
11. Del análisis económico realizado, podemos decir que en general el costo de estas vigas es más favorable con respecto a las tradicionales a medida que se aumenta la luz.

## B I B L I O G R A F I A

1. U.S. Department of Agriculture, Wood Handbook No. 72 Washington, D.C. 1955.
2. Design and Fabrication of Plywood Beams; American Plywood Association; Tacoma, Washington 1966.
3. Plywood Design Specification; American Plywood Association, noviembre 1966.
4. Modern Timber Engineering, Southern Pine Association; New Orleans 1963, Quinta edición.
5. Stephen Timoshenko and D. H. Young; Elements of Strength of Materials; Princeton, New Jersey Cuarta edición, enero 1962.
6. F. B. Seely, Resistencia de Materiales, 1954.
7. Emilio Beltránena, Resumen de las Propiedades Físicas y Mecánicas de Madera Nacionales y Recomendaciones para Fijar Esfuerzos Permisibles de Trabajo, marzo 1961.
8. Ensayos en Madera Contrachapeada, Laboratorio de Materiales, Facultad de Ingeniería y Obras Públicas.
9. Oscar Kritschey Chmilevsky. Posibilidades de la

Madera Contrachapeada (Plywood) como Material Estructural en Guatemala. Tesis, Guatemala 1958.

10. Fernando Méndez C. Estudio Comparativo de Dos Maderas Típicas de Guatemala. Tesis, Guatemala, 1956.
11. Hugo Eduardo Mayorga P. Estudio de Juntas de Madera Empleando Cola y Clavos, Tesis. Guatemala 1961.

TESIS DE REFERENCIA

NO. 1000  
BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Ovidio Castejón Guerra

Vo. Bo.

Ing. Adrián Juárez  
Asesor

Vo. Bo.

Ing. Adrián Juárez  
Director del Centro de  
Investigaciones de Ingeniería

I M P R I M A S E:

Ing. Amando Vides T.  
Decano  
Facultad de Ingeniería