

# RESISTENCIA DE LA CAÑA (GUADUA ANGUSTIFOLIS)

Por: Ing. Carmen Terreros de Varela

Profesora de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil

## ANTECEDENTES.

Desde hace muchos años existe en nuestro país la inquietud y la necesidad de la construcción de viviendas económicas para solucionar el grave problema habitacional que agobia a nuestra población.

Por este motivo el Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil comenzó a estudiar los diferentes elementos que podían servir para disminuir el costo de la vivienda, ver sus ventajas y sus limitaciones. Entre estos materiales de construcción tenemos la caña.

En el año de 1972 se comenzó la práctica con los estudiantes, en el año 1975 se estudió la caña por un Convenio de la Universidad de Guayaquil con la Junta Nacional de la Vivienda; posteriormente continuamos realizando ensayos sobre todo en cañas viejas para poder tener una idea de su comportamiento con el paso de los años.



## 2.- MAQUINAS UTILIZADAS.-

La mayor parte de los ensayos se realizaron en la Máquina AMSLER Universal de la Madera de 4.000 kilos de capacidad tipo 4DBZF 120.

Para la realización de los ensayos de tracción se utilizó la máquina AMSLER Universal del Hierro que tiene una capacidad máxima de 20 toneladas de carga y 100 m.m. de deformación.

Para las pruebas de vigas armadas con caña se utilizó la máquina VERSA TESTER que tiene 30.000 kilos de capacidad.

## 3.- ESPECIFICACIONES.-

Los probetas y los métodos para las pruebas se hicieron conforme a las especificaciones francesas NFB 51-007-013 para la madera, hasta donde fue posible puesto que la caña tiene un espesor de 10 m.m. aproximadamente.

## 4.- ENSAYOS REALIZADOS.-

En razón de que existe la posibilidad de utilizar la caña como elemento estructural para armar vigas y columnas se realizaron los siguientes ensayos:

- 4.1. Ensayo de tracción
- 4.2. Ensayo de flexión
- 4.3. Ensayo de comprensión
- 4.4. Ensayo de golpe o impacto
- 4.5. Ensayos de flexión en vigas armadas con caña:
  - 4.5.1. Con una varilla
  - 4.5.2. Con tres varillas
  - 4.5.3. Con cinco varillas
- 4.6. Ensayo de Tracción en cañas viejas



#### 4.1. ENSAYO DE TRACCION

Se usaron varillas de 400 m.m. de largo y 20 m.m. de ancho. Se colocó la varilla entre dos cuñas, 70 m.m. a cada lado, quedando 260 m.m. de longitud libre.

Los ensayos se hicieron con deformación controlada pudiendo observarse unos tres crups antes de la rotura del espécimen.

Los resultados se determinaron en base a fórmulas conocidas de resistencia de materiales:

$$\text{Resistencia} = \frac{\text{Carga}}{\text{Area}}$$

$$\text{Deformación} = \frac{\Delta h}{H}$$

El módulo elástico se determinó con

la relación:  $E = \frac{\sigma_p}{\epsilon_p}$

$$\frac{\text{Esfuerzo en el límite de proporcionalidad}}{\text{Deformación en el límite de proporcionalidad}}$$

#### 4.2. ENSAYO DE FLEXION

Se usaron vigas de 300 m.m. de longitud y 20 x 10 m.m. de sección.

La resistencia a la flexión sintetiza las propiedades estáticas de la madera; es la resistencia que opone un material a la acción de una fuerza que lo curva.

Se coloca la viga sobre los apoyos dejando un espacio libre de 240 m.m. y se aplica la fuerza desde arriba en su parte central. La carga se lee en el dial y la flecha en una escala especial que posee la máquina. La carga máxima es de 400 Kg y la flecha máxima posible es de 80 m.m.

La resistencia a la flexión se calcula por medio de la fórmula:

$$f = 1,5 \frac{F \cdot L}{a \cdot x \cdot b^2}$$

$$L = 24 \text{ cm.}$$

$$a = 2 \text{ cm}$$

$$b = 1 \text{ cm}^2$$

$$f = 18 F \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$



Esta fórmula está en el libro MADERAS de Juan Bergós, Pág. 59.

Los módulos elásticos se calcularon en base a la flecha máxima:

$$\psi = \frac{P \times L^3}{48 EI} \quad \text{de donde:} \quad E = \frac{PL^3}{48 \psi I}$$

Las deformaciones se calcularon en base a la altura de la viga.

### 4.3. ENSAYO DE COMPRESION

Las probetas fueron de 20 x 20 m.m. de sección con un espesor igual al de la caña (10 m.m. aproximadamente).

Compresión simple o cúbica es la resistencia debida a la acción de una fuerza  $F$  que tiende a aplastar el prisma de caña acortando su longitud y acreciendo su sección transversal.

la compresión se puede realizar en sentido paralelo a la fibra con lo que se obtiene la máxima resistencia pues los haces fibrosos resistentes actúan al modo de columnas, o bien perpendicular a las fibras que dá la mínima resistencia pues el material de unión de los haces y estos mismos apretados de lado ceden con facilidad. Los resultados obtenidos confirman lo anotado.

En el ensayo de compresión la carga máxima es de 4000 Kg. La probeta se coloca entre las herramientas de compresión; la superior permanece sin movimiento durante la prueba, la de abajo se levanta perpendicularmente.

La resistencia de la compresión se determina con la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{\text{Carga}}{\text{Area}} = \frac{Q}{4 \text{ cm}^2} = 0,25 Q \text{ k/cm}^2$$

En la compresión y en la tracción los módulos elásticos se calcularon según el gráfico esfuerzo-deformación en el punto donde termina la proporcionalidad, de modo que

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$



#### 4.4. ENSAYO DE GOLPE O IMPACTO

Se usaron vigas de 300 m.m. de longitud y 20 mm. x 10 m.m. de sección.

La carga anotada es simplemente la que indica el dial de carga.

#### 4.5. ENSAYOS DE FLEXION EN VIGAS ARMADAS CON CAÑAS:

En los tres casos estudiados utilizamos vigas de 3 metros de largo y 10 cm x 20 cm de sección y la carga se aplicó en dos puntos correspondientes al tercio medio de la longitud de la viga.

Los esfuerzos se determinaron de conformidad con las fórmulas conocidas de resistencia de materiales, en función de los momentos producidos por peso propio y por las cargas aplicadas, conforme indica el cuadro 6.

Se analizaron tres parámetros:

- a. - La resistencia del hormigón
- b. - El color de la caña
- c. - El número de varillas.

En el caso de vigas armadas con tres cañas se rompieron tres vigas que fueron diseñadas con diferente resistencia a la compresión para establecer la influencia de este factor en la rotura de las vigas a flexión.

Las vigas armadas con cinco varillas de caña y estribos de hierro de 1/4 pulgada fueron ocho: tres con caña café, tres con caña amarilla y dos con caña verde. Este análisis se hizo para observar la influencia del color de la caña en los resultados.

#### 4.6. ENSAYOS DE TRACCION EN CAÑAS VIEJAS.

Se obtuvieron veintisiete muestras de una casa ubicada en Tomás Martínez y Panamá y que estaba construida con cañas cubiertas de adobe. Se estima que la casa tenía más de cincuenta años de existencia cuando se tomaron las muestras.



## CONCLUSIONES

Observando los resultados obtenidos en el cuadro 1 de resistencia a la tracción vemos que los valores más altos se obtuvieron con caña amarilla.

La resistencia a la tracción promedio  $\sigma_r = 1.175 \text{ k/cm}^2$  es aproximadamente el 35% de la del acero ordinario AE22 L que es de  $3400 \text{ k/cm}^2$ .

Al ver la resistencia mecánica a la flexión de las probetas (cuadro 2), es evidente que las más altas resistencias se obtienen cuando se coloca la caña por su lado exterior.

La colocación de los nudos no tiene mayor influencia en los resultados pero la coloración si puesto que también se observa que para cañas amarillas o donde predomina el amarillo hay más altas resistencias.

La resistencia a la compresión es más alta cuando se coloca la carga paralela a la fibra, hay una resistencia promedio  $\sigma_r = 183 \text{ k/cm}^2$  que es el 87% de la resistencia a la compresión de un hormigón de  $210 \text{ k/cm}^2$ .

En las vigas armadas con cañas:

a.- La resistencia del hormigón determina también la resistencia a la flexión de la viga armada con caña, observándose que para un hormigón de  $160 \text{ k/cm}^2$  la resistencia a la flexión es mucho mayor ( $68.6 \text{ k/cm}^2$ ) que para un hormigón de  $120 \text{ k/cm}^2$  ( $35.7 \text{ k/cm}^2$ )

Ver cuadro 6

b.- En el cuadro 7: vigas de hormigón con  $f'c = 120/\text{cm}^2$  armadas con cinco cañas se observan resultados similares cuando las cañas son color café o verde y un aumento de 14,67 cuando las cañas son de color amarillo.

c.- En el análisis de la viga armada con una caña también se observó una mayor resistencia en el caso de las cañas amarillas. Pero si comparamos el promedio final  $\sigma_r =$



29,59 k/cm<sup>2</sup> con la resistencia de la viga armada con tres cañas - con el mismo hormigón - vemos un aumento de resistencia en éste último caso. Lo mismo sucede con las vigas armadas con cinco varillas.

En términos generales al aumentar el número de varillas de caña aumenta la resistencia a la flexión.

Es interesante observar el cuadro de la resistencia mecánica a la tracción de cañas viejas comparada con la resistencia de cañas nuevas. Podemos ver sólo una pequeña disminución de su resistencia. Esto posiblemente se debe a que las cañas estudiadas estaban cubiertas de adobe.

Por todo lo expuesto es posible recomendar la utilización de la caña en construcciones pequeñas, para viviendas económicas, pero teniendo en cuenta sus limitaciones puesto que es un material vegetal susceptible de descomponerse o quemarse; sería recomendable que antes de utilizarla se la trate con alguna resina o compuesto químico que la proteja.

Para su utilización debemos tener en cuenta los siguientes puntos:

- 1.- Se debe trabajar con el tronco de la caña, no con los extremos.
- 2.- Preferible trabajar con caña amarilla que es la que presenta mayor resistencia.
- 3.- Hacerla trabajar más a compresión y con carga paralela a la fibra.
- 4.- El hormigón a utilizar debe ser de buena resistencia a la compresión sobretodo en el caso de vigas para que trabaje también mejor a flexión.
- 5.- La caña se protegerá mejor si es recubierta, esto evitará el contacto con el aire y el agua que es lo que la descompone.



RESISTENCIA	MECANICA	CAÑA (GUADUA ANGUSTIFOLIS)				
Color	Mudo	A	LA TRACCION	E	E	
			$E_p$	$E_r$	$E_s$	
			K/cm <sup>2</sup>	K/cm <sup>2</sup>	K/cm <sup>2</sup>	
Amarrillo	sin nudo		340	0,041	1600	5,76
CAFE con amarrillo	"		350	0.041	1484	6,5
Amarrillo	en el centro		356	0.060	1206	5,6
Am. con cafe	"		358	0.038	1332	4,5
Cafe con Am.	"		267	0.040	1215.77	5,5
Cafe con Am.	Tercio medio		239	0.039	1010	5,6
Amarrillo	en 2 extremos		299	0.036	1003	4,7
verde con cafe	"		297	0.036	1132	6.1
cafe con am.	en 1 extremo		273	0.040	1047	5,9
am. con cafe	"		280	0.060	1183	6.0
Verde con am	"		232	0.0385	750	4,2

CUADRO 1

$E_p$  = Esfuerzo en el límite de proporcionalidad  
 $E_r$  = Módulo elástico  
 $E_s$  = Esfuerzo en la rotura  
 $E$  = Deformación en el  $E_p$   
 $E_s$  = Deformación máxima (en  $E_r$ )



RESISTENCIA MECANICA A LA FLEXION (CUADRO 2)

Color	MUDO LADO	$\sigma_p$ k/cm <sup>2</sup>	$\sigma_p$	$\sigma_r$ k/cm <sup>2</sup>	$\sigma_r$ %	$E$ k/cm <sup>2</sup>
Amarillo oscuro sin nudo	Exte	493	7	1653	125	7.550
" Claro	rior	360	3	874	135	14.571
Am. con café	"	360	4	1069	150	9.480
Verde	"	360	3	1008	150	12.000
Amarillo	inte	360	3	684	125	15.000
Am. con café	rior	370	3	945	143	13.082
Café	"	360	3	891	166	13.500
Amarillo en 1 extre	Exte-rior	430	4	1411	130	12.390
Am. Claro	no	360	4	1008	120	9.400
Café con Am.	"	360	2	1098	165	18.000
Amarillo	Inter-	360	4	874	150	12.500
Am. con café	rior	420	4	930	155	10.750
Amarilla en 2 ext.	Exte-	480	3	1071	109	14.090
Am. con café	rior	360	2	761	110	18.000
Verde	"	386	4	1212	123	10.296
Amarillo	Inter.	380	3	909	122	13.707
Café	"	360	3	810	115	12.000
Verde	"	450	5	846	129	10.500
Amarillo Tercio Exter.		400	4	1336	150	9.975
Am. con café	"	373	4	1170	161	11.000



Continuación de RESISTENCIA MECANICA A LA FLEXION (CUADRO 2)

COLOR	Nudo	Lado	$E_p$ K/cm <sup>2</sup>	$\delta$	$E_r$ :/cm <sup>2</sup>	$E_r$ $\delta$	$E$ K/cm <sup>2</sup>
Café	Tercio	Medio Exter.	360	2	799	126	18.000
Verde	"	"	376	3	928	118	13.133
Café	Tercio	Inter.	360	3	643	110	16.500
Am. con Café	"	"	405	4	810	133	11.625
Verde	"	"	360	4	934	126	12.000
Amarillo	Centro	Exter.	397	4	1211	133	15.557
Am. con café	"	"	360	4	1084	118	10.500
Verde	"	"	410	5	1062	134	9.466
Amarillo	"	Inter.	410	3	985	131	15.916
Café	"	"	360	3	842	110	15.600
Verde	"	"	360	4	837	113	10.500



CUADRO 3  
RESISTENCIA MECANICA A LA COMPRESION

Dirección de la carga	Mudo	Cara	$\sigma_p$ K/cm <sup>2</sup>	$\epsilon_p$	$\sigma_F$ K/cm <sup>2</sup>	$\epsilon_F$	E K/cm <sup>2</sup>
Paralela a la fibra	sin nudo	---	50	1	175	12	5.000
	"	con nudo	70	1	190	13	7.000
Perpendicular a Fibra	"	Exter.	12,5	3,5	125	50	357
	"	Inter.	12,5	2	125	40	625
	"	Sin nudo	37	19	120	40	195

RESISTENCIA MECANICA AL IMPACTO

MUDO	LADO	CARGA Kg.
Sin nudo	Exterior	5,5
"	Interior	4,3
En Centro	Exterior	6,0
"	Interior	4,0
En 1.º Extremo	Exterior	4,5
"	Interior	3,0
En 2.º Extremo	Exterior	8,6
"	Interior	4,3
En tercio Medio	Exterior	6,6
"	Interior	4,6

CUADRO 4



RESISTENCIA A LA FLEXION DE VIGAS ARMADAS  
CON UNA VARILLA DE CAÑA EN EL CENTRO

VIGA no.	FLECHA EN FLUENCIA cm	EN ROTURA cm	ESFUERZO EN fluencia K/cm <sup>2</sup>	ROTURA K/cm <sup>2</sup>	MODULO ELASTICO K/cm <sup>2</sup>
1	1,42	6,5	12,56	26,15	30.279
2	1,99	7,5	15,62	32,34	28.579
3	1,89	9,5	17,71	28,17	35.770
4	0,88	6,5	11,10	23,28	38.209
5	0,91	7,5	11,61	24,34	39.429
6	1,10	11,0	11,44	30,25	32.135
7	0,79	8,1	11,43	38,62	45.849
8	0,53	7,1	9,35	28,16	49.591
9	0,19	8,0	7,26	32,35	83.292
10	0,80	8,5	9,35	26,07	44.643
11	0,15	9,0	7,71	36,59	110.330
12	0,89	11,7	12,15	32,15	39.717
13	1,01	9,5	12,15	32,35	40.489
14	1,19	10,5	12,15	23,98	32.344
15	1,27	9,0	13,53	28,16	38.972
16	1,52	9,0	13,53	26,07	33.309
17	0,97	7,0	22,15	23,98	38.399

CUADRO 5



RESISTENCIA A LA FLEXION

VIGAS ARMADAS CON TRES CAÑAS (sin estribos)

SECCION: 9,4 cm. x 20,5 cm.  
 MOMENTO DE INERCIA I = 6.748 cm<sup>4</sup>  
 b = 77 cm.

VIGA No.	1	2	3
Distancia de apoyo	0,20	0,39	0,60
L entre apoyos, cm.	231	231	231
FLECHA: fluencia;	0,6604	0,1702	0,1016
cm. final;	1,540	3,003	4,620
CARGA: fluencia;	234,1	134,1	134,1
kg. final (rotura)	534,1	584,1	1096,1
MOMENTOS: kg-cm			
peso propio ; $\frac{w \cdot l^2}{8}$	2.956	2.956	2956
CARGA, $\frac{P \cdot l}{4}$			
en fluencia;	9.013	5.163	6.163
en rotura;	20.563	22.488	42.199
MOMENTOS TOTALES: kg-cm.			
en fluencia;	11.969	8.119	8.119
en rotura;	23.519	25.444	45.155
ESFUERZOS: $\frac{M \cdot c}{I}$			
k/cm <sup>2</sup>			
en fluencia;	18,18	12,33	12,33
en rotura;	35,72	38,65	68,59
f <sub>c</sub> : k/cm <sup>2</sup>	120	140	160
MODULO ELASTICO			
$E = \frac{P \cdot a \cdot b^2}{S \cdot \Delta}$ k/cm <sup>2</sup>	26.980	59.975	100.458

CUADRO 6



RESISTENCIA A LA FLEXION DE VICAS ARMADAS CON CINCO CARRAS (con estribos)

VIGAS NO.	1	2	3	4	5	6	7	8
SECCION, cm x cm	9,6x20	9x20	9,5x20	9,7x20	9,4x20	10x20	9,4x20	9,8x20
MOMENTO DE INERCIA, I cm <sup>4</sup>	6.068	6.000	6.333	6.467	6.267	6.667	6.267	6.533
e, cm	111,5	112,25	111,5	111,25	112,25	112,25	111,5	111,5
D e 15cm, de apoyo	4,0	3,7	4,9	4,7	---	3,7	4,8	4,8
l entre apoyos, cm	300	301,5	300	299,5	301,5	301,5	300	300
FLECHA: Fluencia	0,24	0,34	0,28	0,14	0,28	0,15	0,198	0,14
ca.	Fluol	Fluol	Fluol	Fluol	Fluol	Fluol	Fluol	Fluol
	10	14,07	10	9,90	9,05	8,0	8,2	8,6
CARGA: Fluencia	84,1	234,1	214,1	309,1	294,1	334,1	284,1	334,1
kg.	Fluol	Fluol	Fluol	Fluol	Fluol	Fluol	Fluol	Fluol
	784,1	634,1	844,1	884,1	754,1	504,1	804,1	824,1
MOMENTOS TOTALES kg-cm								
debido a fluencia	2674	10.124	16.932	22.180	21.492	23.737	20.874	23.612
+ peso propio	48.699	40.574	52.044	54.154	47.309	33.278	49.814	50.928
ESFUERZOS: kg/cm <sup>2</sup>								
en fluencia	7,26	13,59	12,69	16,63	16,12	17,89	15,62	17,71
en rotura	36,52	30,43	39,74	40,62	35,48	24,96	37,36	38,20
MODULO ELASTICO								
$E = \frac{P \cdot l^3}{8 \cdot \Delta \cdot I}$	68.680	146.367	151.432	425.850	213.784	426.139	207.211	458.101
CAPIA COLON	VEROC	VEROC	APPILLA	APPILLA	ARRILLA	CATC	CATC	CATC

CUBANO 7



ESFUERZOS PROMEDIOS DE VICAS ARMADAS CON CAÑAS

CON UNA VARILLA... DE CAÑA EN EL CENTRO

$\sigma_p$ k/cm <sup>2</sup>	12,86	15,62	17,71	11,10	11,61	11,44	11,43	9,35	7,26	9,35	7,71	12,15	12,15	12,15	13,53	12,15	
$\sigma_r$ k/cm <sup>2</sup>	26,15	38,34	28,17	23,28	24,74	30,25	38,62	28,16	32,35	26,07	36,59	32,15	32,35	23,98	28,16	36,07	23,98

$\bar{\sigma}_p = 11,81 \text{ k/cm}^2$   
 $\bar{\sigma}_r = 29,59 \text{ k/cm}^2$

CON TRES VARILLAS DE CAÑA

Resistencia del hcratón p'c =	120	140	160
$\bar{\sigma}_p$ k/cm <sup>2</sup>	18,18	12,33	12,33
$\bar{\sigma}_r$ k/cm <sup>2</sup>	35,72	38,65	68,59

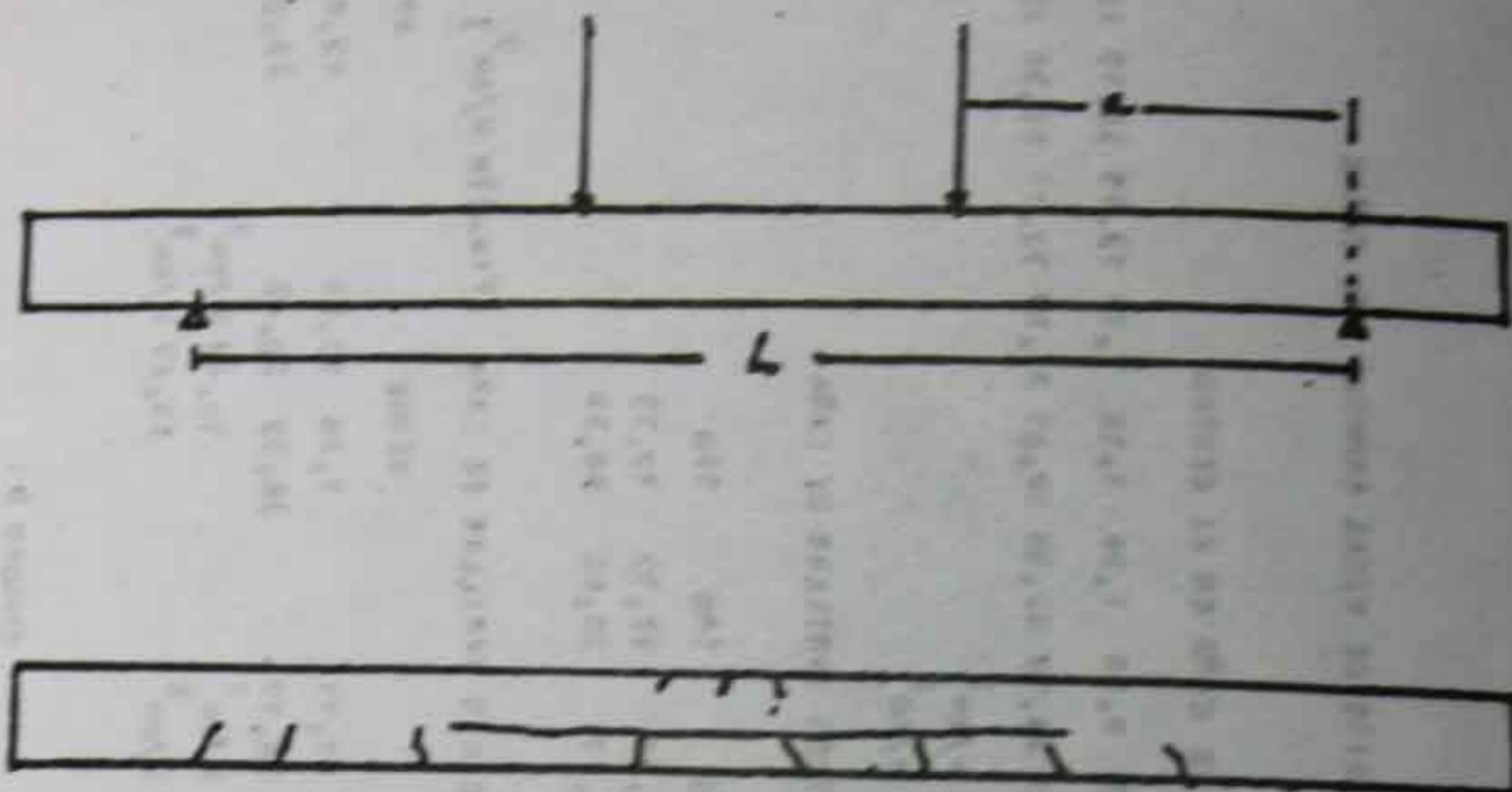
CON CINCO VARILLAS DE CAÑA (P'c=120 k/cm<sup>2</sup>)

COLOR DE LA CAÑA	CAFE	VERDE	AMARILLA
$\bar{\sigma}_p$ k/cm <sup>2</sup>	17,88	15,62	17,71
$\bar{\sigma}_r$ k/cm <sup>2</sup>	20,96	37,36	38,19
$\bar{\sigma}_p$	17,04 k/cm <sup>2</sup>	10,43 k/cm <sup>2</sup>	15,15 k/cm <sup>2</sup>
$\bar{\sigma}_r$	33,51 k/cm <sup>2</sup>	33,47 k/cm <sup>2</sup>	38,38 k/cm <sup>2</sup>

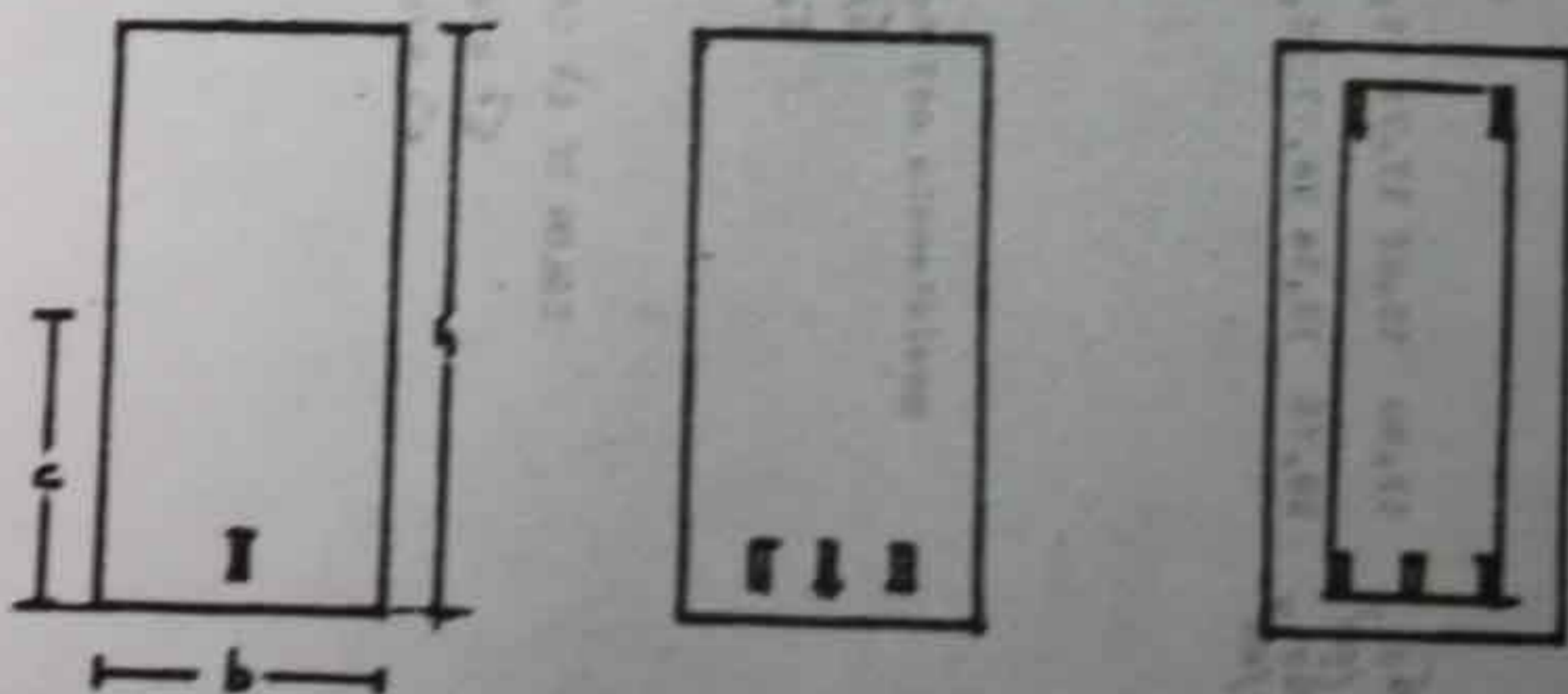
CUADRO 81



RESISTENCIA A LA FLEXION DE VIGAS ARRADAS CON CAÑA



FALLA CARACTERISTICA





Cuadro 9

PRUEBAS DE TRACCION EN CAÑAS VIEJAS

No	Nudo	$\sigma_f$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_r$ Kg/cm <sup>2</sup>	Elong. %
1	1 extremo	300	790	0.58
2	"	400	890	0.38
3	"	220	985	se partió
4	"	300	1230	-----
5	"	225	770	-----
6	Tercio me- dio	280	400	1.15
7	"	360	1300	1.15
8	"	260	1220	1.35
9	"	250	1580	-----
10	"	360	1090	1.15
11	"	350	1150	1.92
12	"	370	1380	1.92
13	"	320	1300	1.92
14	Centro	250	1370	-----
15	"	310	690	-----
16	"	350	980	1.54
17	"	330	1050	0.77
18	2 extremos	320	630	-----
19	"	300	580	-----
20	"	300	780	-----
21	"	270	350	-----
22	"	280	820	-----
23	sin nudo	310	1540	0.38
24	"	300	1250	0.38
25	"	310	1280	0.76
26	"	390	1130	0.76
27	"	450	1350	0.38

PROMEDIOS DE RESISTENCIA MECANICA A LA TRACCION

NUDO	CAÑAS VIEJAS		CAÑAS NUEVAS	
	$\sigma_f$ k/cm <sup>2</sup>	$\sigma_r$ k/cm <sup>2</sup>	$\sigma_f$ k/cm <sup>2</sup>	$\sigma_r$ k/cm <sup>2</sup>
sin nudo	352	1.310	345	1.542
centro	310	1.022	327	1.238
tercio medio	302	1.118	239	1.010
2 extremos	294	632	298	1.068
1 extremo	289	933	262	993

Cuadro 10