

4/ 93

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



Facultad de Ingeniería

"OBTENCION DE LAS CURVAS DE MOMENTO RESISTENTE
VS. CLARO LIBRE PARA SECCIONES " I " FORMADAS
POR TRES PLACAS SOLDADAS DE ACERO DE
NORMALIZACION NACIONAL."

T E S I S

Que para obtener el Título de
Ingeniero Civil

P r e s e n t a

PEDRO ALBERTO CEBALLOS MISS

México, D. F.

1986



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-168

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Señor PEDRO ALBERTO CEBALLOS MISS,
P r e s e n t e .

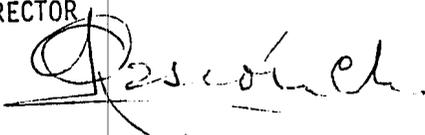
En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Enrique Martínez Romero, para que lo desarrolle como TRABAJO ESCRITO en opción de tesis, para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO CIVIL.

"OBTENCION DE LAS CURVAS DE MOMENTO RESISTENTE
VS. CLARO LIBRE PARA SECCIONES "I" FORMADAS -
POR TRES PLACAS SOLDADAS DE ACERO DE NORMALI-
ZACION NACIONAL"

1. Objetivo del tema.
2. Ecuaciones básicas.
3. Diagrama de flujo y programa.
4. Graficación y obtención de las curvas.
5. Ejemplos de aplicación y casos particulares.
6. Conclusiones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares del trabajo es crito, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 18 de julio de 1985
EL DIRECTOR


DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ

©
OARCH/RCCH/sho.

I N D I C E

	<u>PAG</u>
CAPITULO 1. OBJETIVO DEL TEMA	2
CAPITULO 2. ECUACIONES BASICAS	5
CAPITULO 3. DIAGRAMA DE FLUJO Y PROGRAMA	18
CAPITULO 4. GRAFICACION Y OBTENCION DE LAS CURVAS ..	32
CAPITULO 5. EJEMPLOS DE APLICACION Y CASOS PARTICU LARES	52
CAPITULO 6. CONCLUSIONES	88
CAPITULO 7. BIBLIOGRAFIA	91

CAPITULO 1.

OBJETIVO DEL TEMA

1. OBJETIVO DEL TEMA

El presente trabajo tiene como finalidad el diseño de las trabes armadas.

Se han elaborado las gráficas que se muestran mas adelante donde se han calculado perfiles de sección "I" formado por tres placas soldadas

Para una misma sección se ha variado el claro a cubrir con ella, esto da como consecuencia una disminución del momento resistente que soporta el perfil a medida que aumenta su longitud.

Viendo la gráfica, en el eje de las abscisas hemos puesto el claro en metros y en el eje de las ordenadas el momento en toneladas-metro, de tal manera que podemos entrar a ellas, ya sea con un momento calculado según cargas actuantes, y saliendo con el claro que soporta el perfil para dicho momento, comparándolo con el existente del problema o viceversa.

Habrã que observar que se tomarã la longitud real efectiva entre los puntos arriostrados del patin a compresión para la revisión a flexión, y tambien deberã hacerse una revisión por flecha actuante contra la permisible o la que se requiera según las sollicitaciones para las cuales se esté diseñando.

Posteriormente a que se haya elegido la sección, - se tendrán que hacer las revisiones y diseños que toda trabe armada requiere para su correcto funcionamiento como diseño de atiesadores de apoyo e intermedios, diseño de soldaduras, etc.

En el capítulo siguiente se proporcionan las ecuaciones que rigen el diseño de una trabe armada según el reglamento AISC-78.

CAPITULO 2.

ECUACIONES BASICAS

2. ECUACIONES BASICAS

2.1. El esfuerzo permisible a flexión en el patín no debe exceder a:

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{6\ 400}{\sqrt{F_b}} \text{ ----- (1)}$$

donde

$$F_b = \frac{F_y}{1.65}$$

Se debe cumplir lo anterior para que no exista reducción de esfuerzos en los patines.

siendo: h = altura total del alma
 tw = espesor del alma
 F_b = esfuerzo permisible en el patín de compresión.

Haciendo para acero A-36 donde $F_y = 2530 \text{ Kg/cm}^2$

$$F_b = \frac{2\ 530}{1.65} = 1\ 533 \text{ Kg/cm}^2$$

Si sustituimos en (1) obtenemos

$$\frac{h}{tw} = \frac{6\ 400}{\sqrt{1\ 533}} \doteq 163$$

Y si por diseño preliminar de h tomamos como cierta la relación:

$$h = \frac{L}{10}$$

Donde L = Longitud total del claro a cubrir en cm.

Podemos empezar el diseño del alma con la siguiente fórmula:

$$\frac{h}{tw} = 163 \rightarrow \frac{\frac{L}{10}}{tw} = 163$$

$$\therefore tw = \frac{L}{1630} \text{ ----- (2)}$$

2.2. Valor máximo admisible de la relación del peralte libre al grueso del alma.

Se debe cumplir que:

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{985\ 000}{\sqrt{F_y (F_y + 1\ 160)}}$$

Si $F_y = 2\ 530\ \text{Kg/cm}^2$ (esfuerzo de fluencia del acero A-36)

$$\text{Nos queda: } \frac{h}{tw} \leq 322$$

2.3. Diseño de la placa del patín.

Para un diseño preliminar del área del patín, podemos probar con la siguiente fórmula:

$$A_f = \frac{M}{F_b h}$$

donde: M = momento actuante en Kg-cm
 F_b = esfuerzo permisible en el patín de compresión en Kg/cm²
 h = altura total del alma.

Con el área preliminar propuesta, debemos cumplir que:

$$\frac{b_f}{2 t_f} \leq \frac{800}{\sqrt{F_y}}$$

Para acero A-36

$$\frac{b_f}{2 t_f} \leq 16 \quad \text{que equivale a la revisión por pandeo local del patín a compresión.}$$

2.4. Revisión del esfuerzo cortante en el alma.

$$\delta_v = \frac{P}{A} \leq 0.4 F_y$$

2.5. Revisión del esfuerzo de flexión actuante.

$$f_b = \frac{M}{S} < 0.6 F_y$$

2.5.1. Revisión de la relación $\frac{L_b}{R_t}$

$$\text{Si } \frac{L_b}{R_t} < 53 \sqrt{C_b} \rightarrow F_b = 0.6 F_y$$

$$\text{Si } 53 \sqrt{C_b} < \frac{L_b}{R_t} < 119 \sqrt{C_b}$$

$$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y \left(\frac{L_b}{R_t} \right)^2}{107525 \times 10^3 C_b} \right] F_y \leq 0.6 F_y$$

$$\text{Si } \frac{L_b}{R_t} \geq 119 \sqrt{C_b}$$

$$F_b = \frac{11952.7 \times 10^3 C_b}{\left(\frac{L_b}{R_t} \right)^2} \leq 0.6 F_y$$

$$F_b = \frac{843\,680 C_b}{\left(\frac{L_b}{A_f} \right)} \leq 0.6 F_y$$

Donde:

C_b = Coeficiente de flexión que depende del gradiente del momento y es igual a:

$$C_b = 1.75 + 1.05 \frac{M_1}{M_2} + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2.3$$

donde: L_b = Longitud máxima sin arriostrar del patín a compresión.
 R_x = Radio de giro a flexión
 d = Peralte total de la sección.
 A_f = Area del patín a compresión.

- 2.6. Reducción del esfuerzo permisible de flexión en el patín a compresión.
 Cuando la relación entre el peralte y el es pesor del alma excede de:

$$\frac{h}{tw} > \frac{6370}{\sqrt{F_b}}$$

El esfuerzo máximo en el patín de compresión no deberá exceder de:

$$F'_b = F_b \left[1 - 0.0005 \frac{A_w}{A_f} \left(\frac{h}{tw} - \frac{6370}{\sqrt{F_b}} \right) \right]$$

y por lo tanto $F'_b > \phi_b$

- 2.7. Requerimientos de los atiesadores.
 Por especificación del AISC, se requiere que existan atiesadores de apoyo bajo las reacciones y las cargas concentradas, por pares.

- 2.7.1. Esfuerzo actuante de cortante

$$\phi_v = \frac{V}{A_w} < F_v$$

No se requieren atiesadores si

$$\frac{h}{tw} \leq 260 \quad \text{y} \quad f_v \leq F_v = \frac{F_y C_v}{2.89} \leq 0.4 F_y$$

Pero si no se cumple esta relación habrá que calcular F_v , con la siguiente fórmula.

$$F_v = \frac{F_y}{2.89} \left(C_v + \frac{1 - C_v}{1.15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right) \quad \text{cuando } C_v < 1.0$$

y

$$F_v = \frac{F_y C_v}{2.89} \leq 0.4 F_y \quad \text{cuando } C_v > 1.0$$

donde:

C_v = Relación del esfuerzo crítico en el alma según teoría del pandeo lineal, al punto de cedencia al corte del material del alma.

a = Distancia libre entre atiesadores en cm.

h = Distancia libre entre patines en cm.

Habrà que revisar que:

$$C_v = \frac{3\,164\,000\,k}{F_y (h/tw)^2} \quad \text{Cuando } C_v \leq 0.8$$

$$C_v = \frac{1590}{h/t_w} \sqrt{\frac{k}{F_y}} \quad \text{Cuando } C_v > 0.8$$

También debemos observar que:

$$k = 4.00 + \frac{5.34}{(a/h)^2} \quad \text{Cuando } \frac{a}{h} < 1.00$$

$$k = 5.34 + \frac{4.00}{(a/h)^2} \quad \text{Cuando } \frac{a}{h} > 1.00$$

NOTA: cuando $\frac{a}{h} > 3$ Se debe tomar este valor como infinito.

entonces $k = 5.34$

Podemos tomar como separación máxima entre atiesadores intermedios.

$$\frac{a}{h} = \left(\frac{260}{h/t_w} \right)^2 \leq 3 \quad \therefore a = \left(\frac{260}{h/t_w} \right)^2 h \leq 3h$$

2.8. - Revisión por interacción en las cargas concentradas debidas a flexión y cortante.

No se requiere revisar la interacción si se cumplen cualesquiera de la pareja de las siguientes condiciones.

- 6
- a) $f_v \leq 0.6 F_v$; y $F_b \leq 0.6 F_y$
 b) $f_v = F_v$; y $f_b \leq 0.75 F_b$

Si no cumple lo anterior, es necesario verificar la interacción y posiblemente reducir el esfuerzo permisible de flexión en el patín de compresión por lo que:

$$F_b' \leq \left(0.825 - \frac{0.375 f_v}{F_v} \right) F_y \leq 0.6 F_y$$

Se toma el esfuerzo permisible menor y se compara con el actuante, entonces:

$$F_b' \text{ ó } F_b > f_b$$

Si no se cumple, habrá que rediseñar la sección.

2.9. Revisión del alma entre atiesadores.

Hay que verificar el aplastamiento del alma bajo el patín a compresión debido a la carga uniforme.

$$f_c = \frac{w}{tw}$$

donde: f_c = Esfuerzo a la compresión actuante debido a la carga uniforme.

w = La carga a compresión que soporta el alma.

tw = Espesor del alma.

El esfuerzo permisible a compresión en el alma es:

$$F_c = \frac{708\,000}{(h/t_w)^2} k_c$$

Para un patín que entrega una carga a compresión al alma que está libre de rotar - (sin restricción)

$$k_c = 2 + \frac{4}{(a/h)^2}$$

Y para un patín que entrega una carga a compresión al alma que está restringida - contra la rotación.

$$k_c = 5.5 + \frac{4}{(a/h)^2}$$

2.10. Diseño de atiesadores.

Atiesadores de apoyo en los extremos de la trabe.

Se debe cumplir la relación.

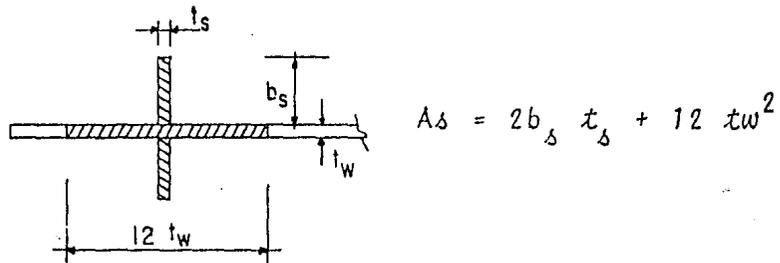
$$\frac{b}{t} \leq \frac{800}{\sqrt{F_y}}$$

Para acero A - 36

$$\frac{b}{t} \leq 16$$

Y además se recomienda que la suma del ancho de los dos atiesadores mas el espesor del alma, sea aproximadamente igual o menor al ancho del patín.

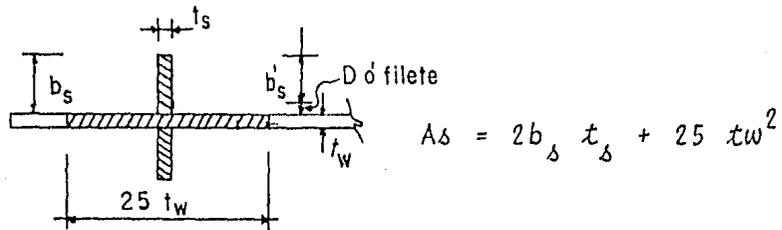
El área efectiva de la columna para el radio de giro es para atiesadores de extremo como se muestra en la figura igual a:



La longitud efectiva del atiesador se toma como:

$$L' = 0.75 h$$

Y para atiesadores intermedios



Verificar usando el área efectiva de apoyo

$$A_b = b'_s t_s$$

$$P = A_b F_{\text{apoyo}} < \text{Carga aplicada } \delta \text{ reacción}$$

$$F_{\text{apoyo}} = 0.90 F_y$$

El área total de los atiesadores es:

$$A_{s,t} = \frac{1 - C_v}{2} \left[\frac{a}{h} - \frac{(a/h)^2}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] y Dh t_w$$

donde:

$Y = 1$ para aceros con el mismo punto de cedencia.

$D = 1$ para placas de atiesamiento en ambos lados de la placa del alma.

$D = 1.8$ para un angular usado como atiesador en un lado del alma.

$D = 2.4$ para una placa atiesadora en un solo lado de la placa del alma.

Momento de inercia de los atiesadores debe ser mayor de:

$$I_{st} \geq \left(\frac{h}{50} \right)^4$$

Y la longitud de la placa para el atiesador es:

$$L_{st} = h - 4 t_w$$

2.11. Diseño de la soldadura.

Para atiesadores

Esfuerzo actuante: $f_{vs} = h \sqrt{\left(\frac{F_y}{1400} \right)^3}$

Esfuerzo admisible: $F_v = 0.7071 t F_v$

$F_v = 0.3 F_u$ (soldadura)

$F_v = 0.4 F_y$ (metal base)

De las dos tomar el menor.

Para fijar la placa del patín a la del alma tomaremos el máximo cortante de los apoyos ó bajo las cargas, donde sea mayor.

$$\text{El esfuerzo actuante es: } v = \frac{VQ}{I} < Fv$$

donde:

V = Cortante máximo

Q = Momento estático

I = Momento de inercia de la sección.

CAPITULO 3.

DIAGRAMA DE FLUJO Y PROGRAMA

3. DIAGRAMA DE FLUJO Y PROGRAMA

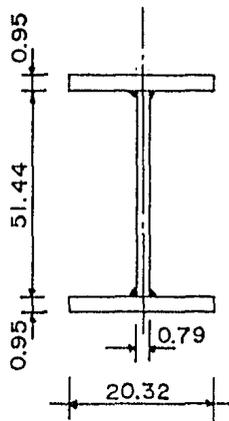
3.1 Hubo necesidad de desarrollar un ejemplo en el cual se hicieron las revisiones h/t_w , $b_f/2t_f$, para no hacer reducciones del esfuerzo de flexión, para que no exista pandeo local del patín a compresión y para que el alma no falle por cortante.

Se supuso además que las secciones son no compactas para que con la relación L_b/r_t se trabajara con la fórmula correspondiente según el reglamento A.I.S.C. y obtener el esfuerzo de flexión permisible de la sección.

De aquí se desarrolló el diagrama de flujo y su consecuente programa de computación.

3.2 EJEMPLO PARA OBTENCION DEL DIAGRAMA DE FLUJO Y PROGRAMA DE COMPUTACION.

Momentos resultantes actuantes para vigas de sección I formadas de 3 placas para varios claros. IPC - 21" x 8" x 62.6 Kg/m Acero A-36



① Se debe cumplir que:

$$\frac{h}{t_w} \leq 322 \longrightarrow 65 \ll 322$$

② Para que no exista reducción en el esfuerzo permisible a flexión.

$$\frac{h}{t_w} \leq 163 \quad \therefore \frac{51.44}{0.79} = 65 \ll 163$$

\therefore No hay reducción de F_b

③ La relación ancho - espesor del patín debe ser, para acero A - 36

$$\frac{b_f}{2 t_f} \leq 16 \longrightarrow \frac{20.32}{2 \times 0.95} = 10.7 < 16 \quad \text{se acepta}$$

que es la revisión por pandeo local del patín a - compresión.

④ El cortante máximo que acepta el alma antes de fallar es:

$$P = f_v A_w \quad \text{donde: } f_v = 0.4 F_y = 1012 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\therefore P = 1012 \times (51.44 \times 0.79) = 41125 \text{ Kg.}$$

Si cualquier carga actuante o reacción es mayor a la calculada se deberá aumentar el espesor del alma.

⑤ Obtención del esfuerzo permisible.

Haremos las siguientes suposiciones

- 1) Se consideran todas las secciones no compactas
- 2) El coeficiente de flexión $C_b = 1$

Se tendrá que calcular el esfuerzo permisible con las siguientes fórmulas, la mayor sin exceder el 60% de F_y .

$$a) \quad \text{Si } \frac{Lb}{r_T} \leq 53 \sqrt{C_b} \quad F_b = 0.6 F_y$$

$$b) \quad \text{Si } 53 \sqrt{C_b} < \frac{Lb}{r_T} < 119 \sqrt{C_b}$$

$$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y \left(\frac{Lb}{r_T} \right)^2}{107525 \times 10^3 C_b} \right] F_y \leq 0.6 F_y$$

$$c) \quad \text{Si } \frac{Lb}{r_T} \geq 119 \sqrt{C_b}$$

$$F_b = \frac{11952.7 \times 10^3 C_b}{\left(\frac{Lb}{r_T} \right)^2} \leq 0.6 F_y$$

$$\sigma \quad F_b = \frac{843\,680 C_b}{Lb \left(\frac{d}{A_f} \right)} \leq 0.6 F_y$$

⑥ Obtención de r_T (radio de giro a flexión)

$$r_T = \sqrt{\frac{I_{yy}}{A_b + \frac{A_w}{6}}}$$

$$I_{yy} = \frac{0.95 \times 20.32^3}{12} = 664.22 \text{ cm}^4$$

$$A_b + \frac{A_w}{6} = 0.95 \times 20.32 + \frac{0.79 \times 51.44}{6} = 26.08 \text{ cm}^2$$

$$r_T = \sqrt{\frac{664.22}{26.08}} = 5.047 \text{ cm}$$

Revisión de la relación $\frac{L_b}{r_T}$

Para $L_b = 100 \text{ cm}$

$$\frac{L_b}{r_T} = \frac{100}{5.047} = 19.82 < 53$$

$$\therefore F_b = 0.6 \cdot F_y = 0.6 \times 2530 = 1518 \text{ Kg/cm}^2$$

El momento que soporta la viga para un claro de 1.00 m. es: $M = F_b \cdot S_{xx}$

El módulo de sección es:

$$I_{xx} = \frac{20.32 \times (53.34)^3}{12} - \frac{(20.32 - 0.79) \times (51.44)^3}{12} = 35455.71 \text{ cm}^4$$

$$S = \frac{35455.71}{26.67} = 1329.42 \text{ cm}^3$$

$$M = 1518 \times 1329.42 = 2018064 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

$$M = 20.181 \text{ Ton} \cdot \text{m para } L = 1.00 \text{ m}$$

Si consideramos que este momento lo produce una carga uniformemente repartida, tenemos:

$$\Delta_{perm} = \frac{L}{360} \quad \Delta_{perm} = \frac{100}{360} = 0.278 \text{ cm}$$

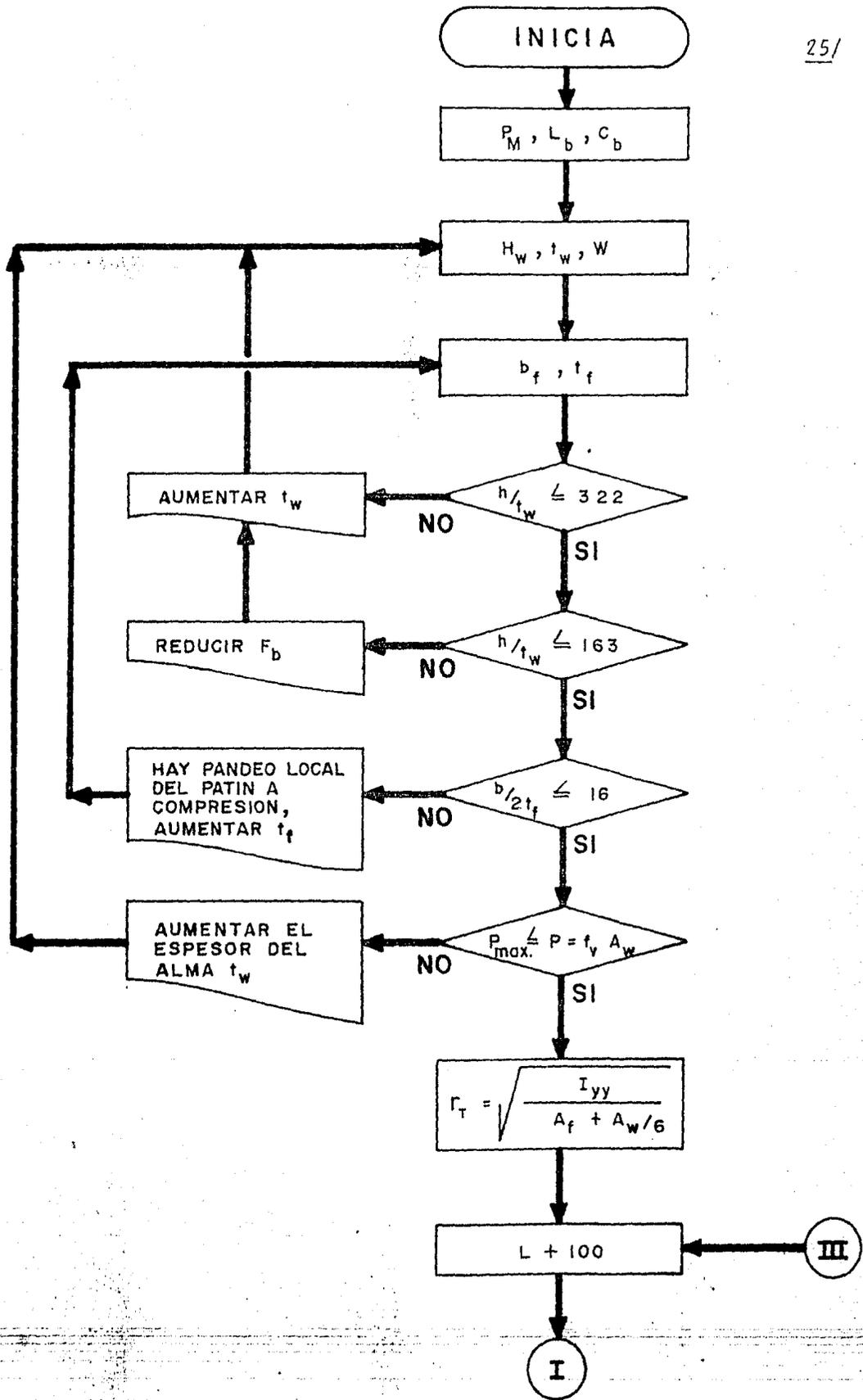
$$M = \frac{w l^2}{8} \quad \longrightarrow \quad w = \frac{8 M}{l^2}$$

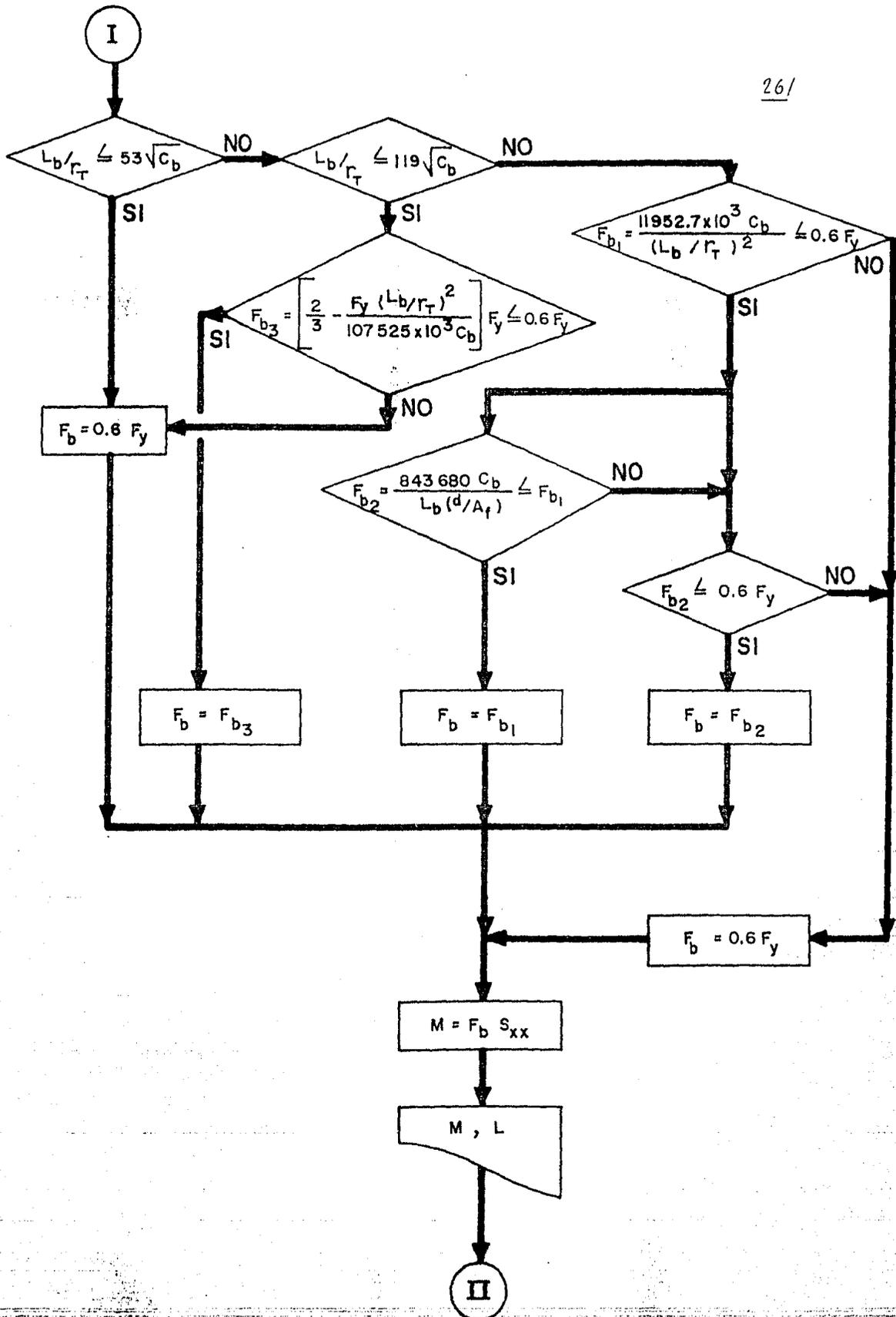
$$w = \frac{8 \times 2018064}{(100)^2} = 1614.45 \text{ Kg/cm}$$

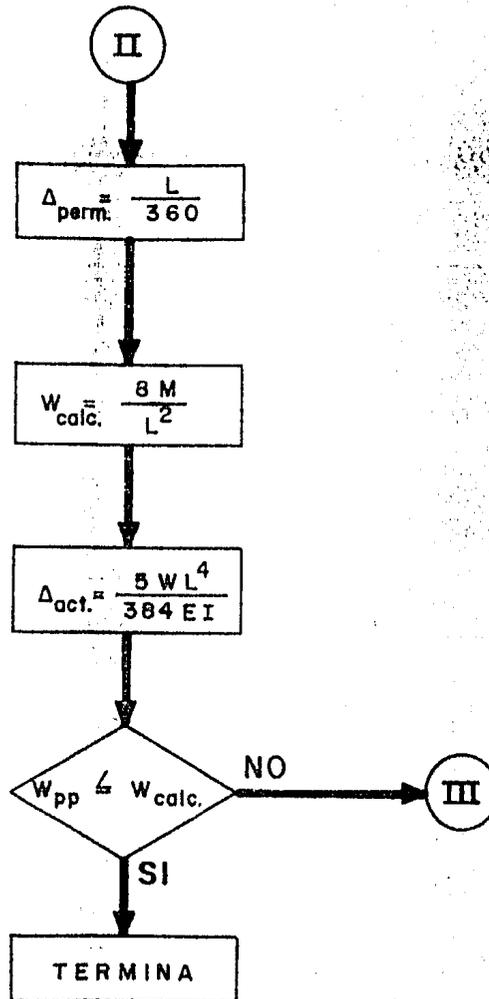
$$\Delta_{act} = \frac{5}{384} \frac{w l^4}{EI} = \frac{5}{384} \frac{1614.45 \times (100)^4}{2.1 \times 10^6 \times 35455.71} = 0.028 \text{ cm}^2$$

$$\Delta_{act} < \Delta_{perm}.$$

DIAGRAMA DE FLUJO







PROGRAMA DE COMPUTACION

LISTADO DEL PROGRAMA HP-41CV

01 LBL IPC	45 /	89 /
02 CF 01	46 16	90 STO 10
03 FIX 2	47 X<>Y	91 RCL 00
04 LBL 59	48 $X \leq Y ?$	92 SQRT
05 PM / Lb / Cb / ?	49 GTO 04	93 53
06 PROMPT	50 GTO 05	94 *
07 STO 00	51 LBL 04	95 X<>Y
08 RDN	52 1012	96 $X \leq Y$
09 STO 01	53 RCL 04	97 GTO 41
10 RDN	54 RCL 03	98 GTO 09
11 STO 02	55 *	99 LBL 08
12 LBL 51	56 STO 07	100. 1518
13 Hw / Tw / ?	57 *	101 STO 09
14 PROMPT	58 RCL 02	102 GTO 50
15 STO 21	59 $X \leq Y ?$	103 LBL 09
16 RDN	60 GTO 06	104 RCL 00
17 STO 03	61 GTO 07	105 SQRT
18 RDN	62 LBL 06	106 119
19 STO 04	63 RCL 06	107 *
20 RCL 03	64 3	108 RCL 10
21 /	65 Y / X	109 $X \leq Y ?$
22 322	66 RCL 05	110 GTO 10
23 X<>Y	67 *	111 GTO 11
24 $X \leq Y ?$	68 12	112 LBL 10
25 GTO 01	69 /	113 2
26 GTO 02	70 RCL 06	114 ENTER
27 LBL 01	71 RCL 05	115 3
28 RCL 04	72 *	116 /
29 RCL 03	73 STO 13	117 RCL 10
30 /	74 RCL 07	118 X / 2
31 163	75 6	119 2530
32 X<>Y	76 /	120 *
33 $X \leq Y ?$	77 +	121 107 525 E 3
34 GTO 03	78 /	122 RCL 00
35 GTO 52	79 SQRT	123 *
36 LBL 03	80 STO 08	124 /
37 b _f / t _f / ?	81 GTO 58	125 -
38 PROMPT	82 LBL 57	126 2530
39 STO 05	83 100	127 *
40 RDN	84 ST + 1	128 STO 11
41 STO 06	85 LBL 58	129 RCL 09
42 RCL 05	86 RCL 08	130 X<>Y
43 2	87 RCL 01	131 $X \leq Y ?$
44 *	88 X<>Y	132 GTO 40

133 GTO 41	177 GTO 50	221 RCL 05
134 LBL 11	178 LBL 43	222 2
135 11952.7 E 3	179 1518	223 *
136 RCL 00	180 X<>Y	224 +
137 *	181 X \leq Y	225 3
138 RCL 10	182 GTO 44	226 Y \nearrow X
139 X \nearrow 2	183 GTO 41	227 12
140 /	184 LBL 44	228 /
141 STO 12	185 RCL 14	229 RCL 06
142 RCL 09	186 STO 09	230 RCL 03
143 X<>Y	187 GTO 50	231 -
144 X \leq Y ?	188 LBL 02	232 RCL 04
145 GTO 12	189 AUMENTAR TW	233 3
146 GTO 41	190 PROMPT	234 Y \nearrow X
147 LBL 40	191 GTO 51	235 *
148 STO 09	192 LBL 52	236 12
149 GTO 50	193 REDUCIR Fb	237 /
150 LBL 41	194 PROMPT	238 -
151 1518	195 GTO 02	240 STO 15
152 STO 09	196 LBL 05	241 RCL 04
153 GTO 50	197 HAY PANDEO L	242 RCL 05
154 LBL 12	198 A VIEW	243 2
155 843680	199 OCAL DEL PAT	244 *
156 RCL 00	200 A VIEW	245 +
157 *	201 IN A COMPRES	246 2
158 RCL 05	202 A VIEW	247 /
159 2	203 ION	248 /
160 *	204 A VIEW	249 STO 16
161 RCL 04	205 AUMENTAR TF	250 SF 01
162 +	206 PROMPT	251 LBL 54
163 RCL 13	207 GTO 03	252 RCL 09
164 /	208 LBL 07	253 RCL 16
165 RCL 01	209 AUMENTAR ESP	254 *
166 *	210 A VIEW	255 STO 17
167 /	211 ESOR DEL ALM	256 RCL 01
168 STO 14	212 A VIEW	257 360
169 RCL 12	213 A TW	258 /
170 X<>Y	214 PROMPT	259 STO 18
171 X \leq Y ?	215 GTO 51	260 RCL 17
172 GTO 42	216 LBL 50	261 8
173 GTO 43	217 FS ? 01	262 *
174 LBL 42	218 GTO 54	263 RCL 01
175 RCL 12	219 RCL 06	264 X \nearrow 2
176 STO 09	220 RCL 04	265 /

266 STO 19	310 10
267 RCL 01	311 /
268 4	312 STO 22
269 Y / X	313 448 000
270 *	314 *
271 5	315 LBL 55
272 *	316 CF 01
273 384	317 GTO 59
274 ENTER /	318 END
275 2.1 E 6	
276 *	
277 RCL 15	
278 *	
279 /	
280 STO 20	
281 RCL 21	
282 RCL 19	
283 X = Y	
284 GTO 55	
285 GTO 56	
286 LBL 56	
287 RCL 01	
288 100	
289 /	
290 L =	
291 ARCL X	
292 PROMPT	
293 RCL 17	
294 I E 5	
295 /	
296 M =	
297 ARCL X	
298 PROMPT	
299 RCL 19	
300 10	
301 /	
302 W =	
303 ARCL X	
304 PROMPT	
305 RCL 15	
306 RCL 01	
307 3	
308 Y / X	
309 /	

CAPITULO 4.

GRAFICACION Y OBTENCION
DE LAS CURVAS

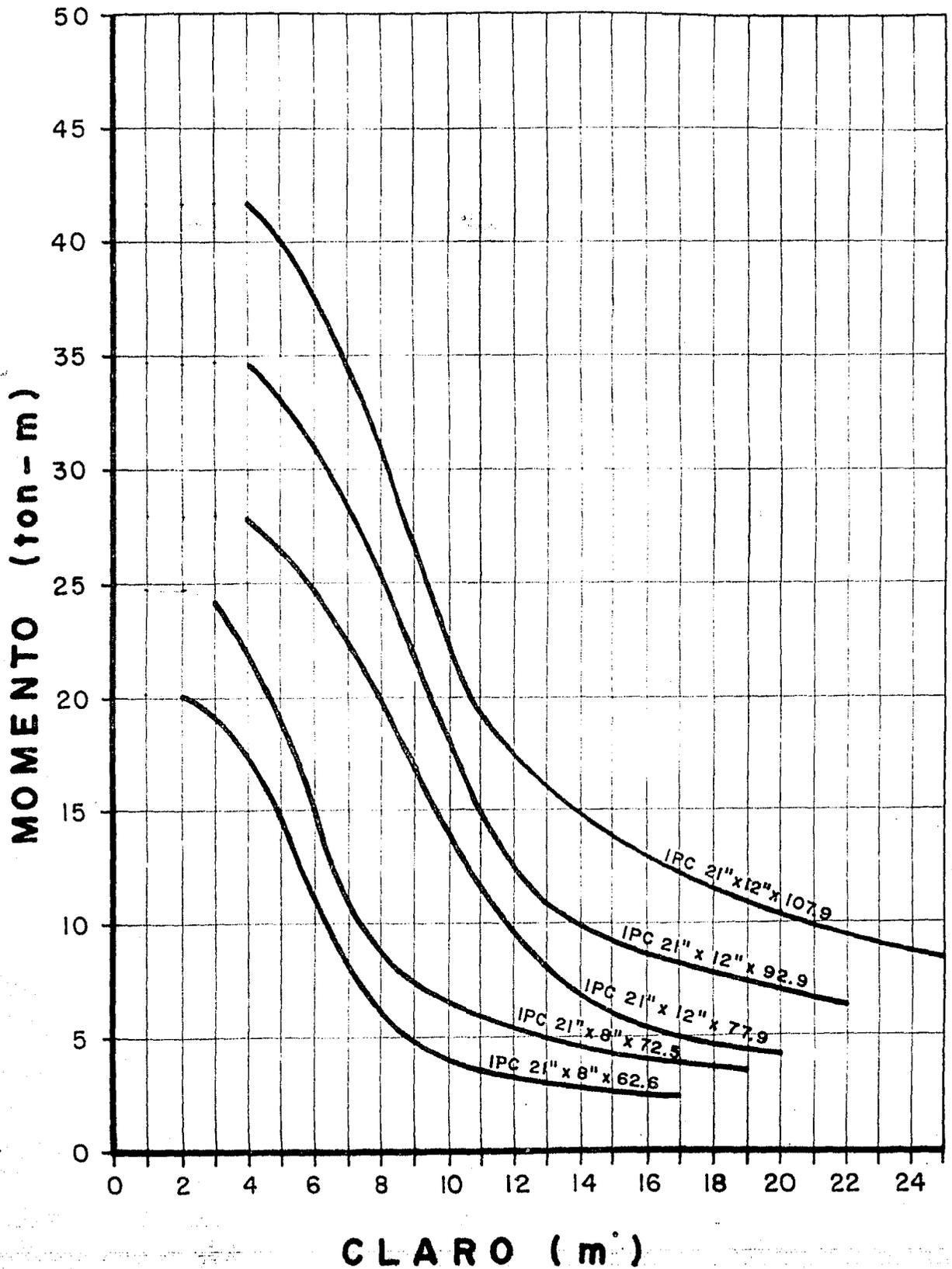
4. GRAFICACION Y OBTENCION DE LAS CURVAS

4.1 Con los resultados arrojados por la máquina (Claro vs Momento), se procedió a graficar en ejes ortogonales punto por punto de cada perfil, variando el claro hasta que el peso propio fuera igual o mayor a la carga que producía el momento resultante.

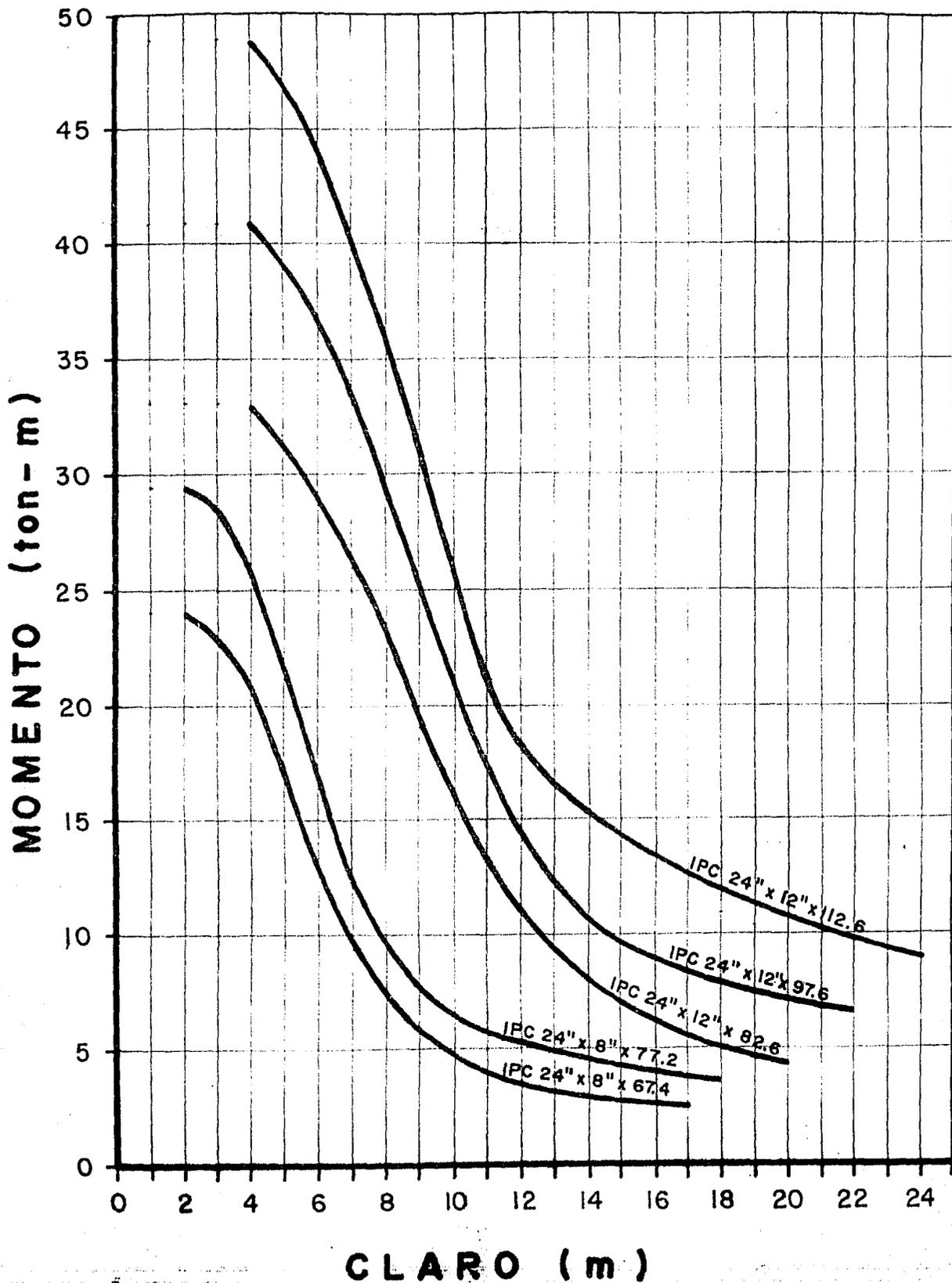
En la parte superior de cada curva se observa el momento máximo trabajando al 60% de F_y con lo cual todos los claros menores a este punto, deben tomarse con el valor del momento mostrado en dicha parte superior.

También cabe observar que el momento comparado para el diseño de la trabe debe incluir el peso propio de la misma.

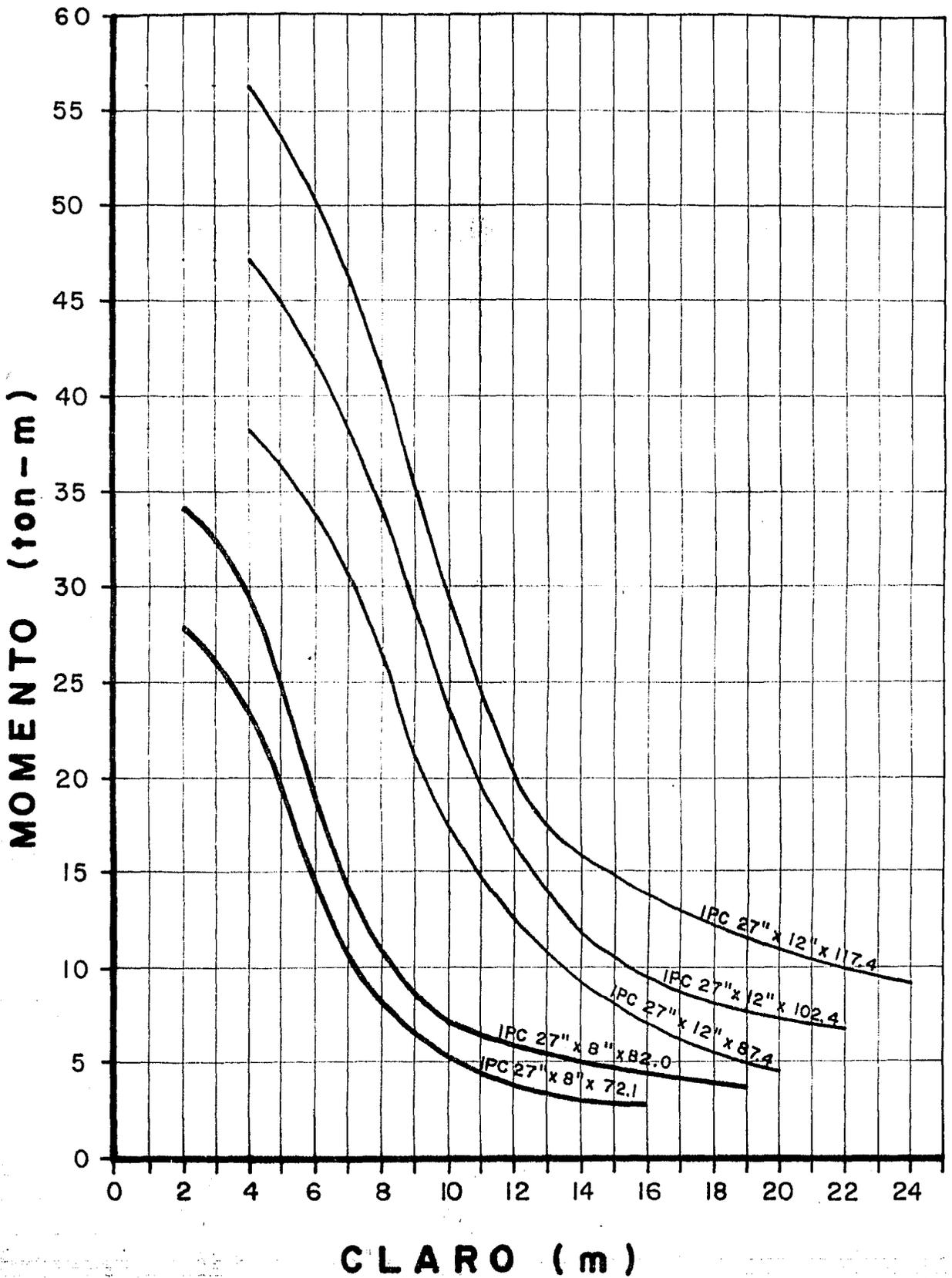
SECCIONES IPC 21" x 8" y 21" x 12"



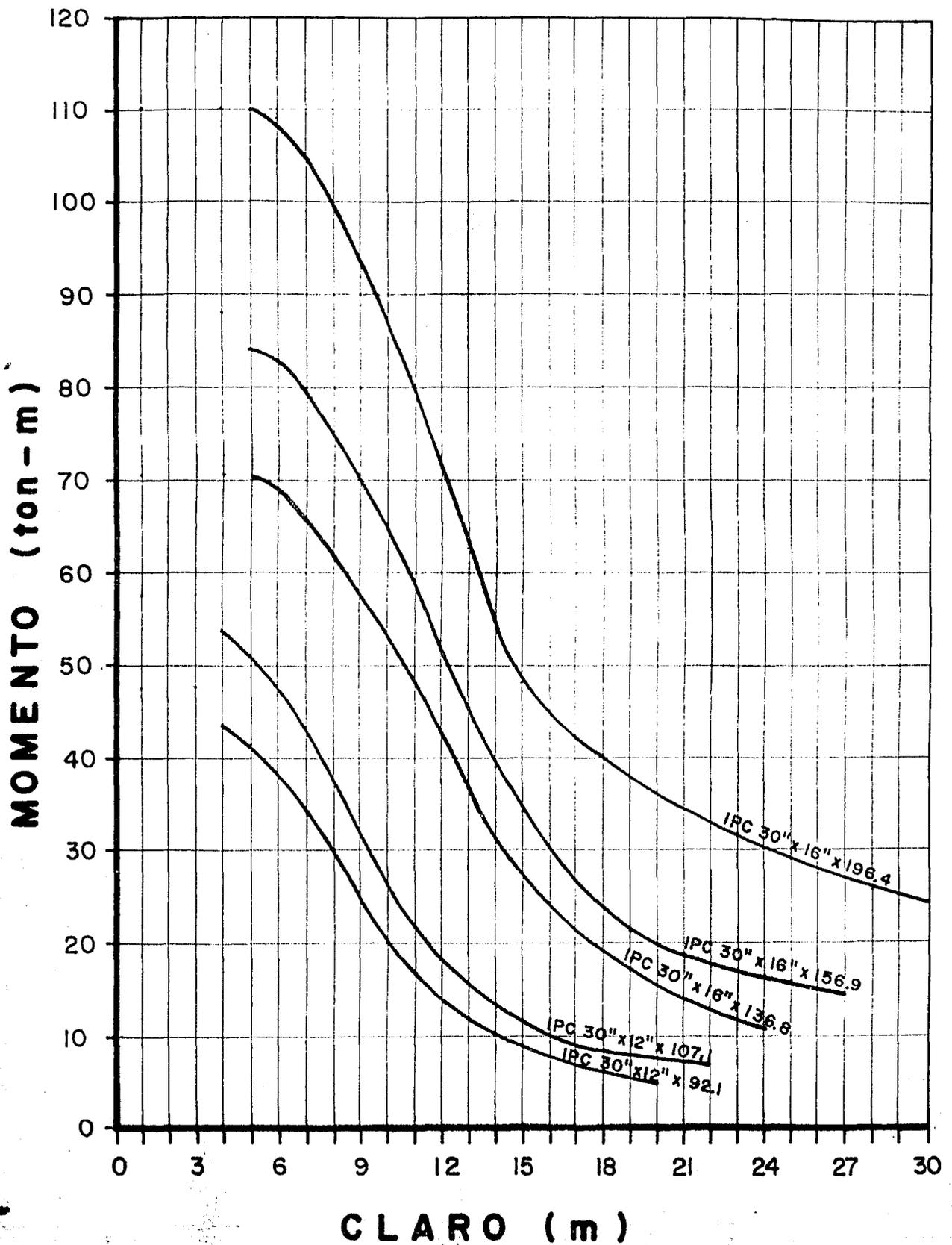
SECCIONES IPC 24" x 8" y 24" x 12"



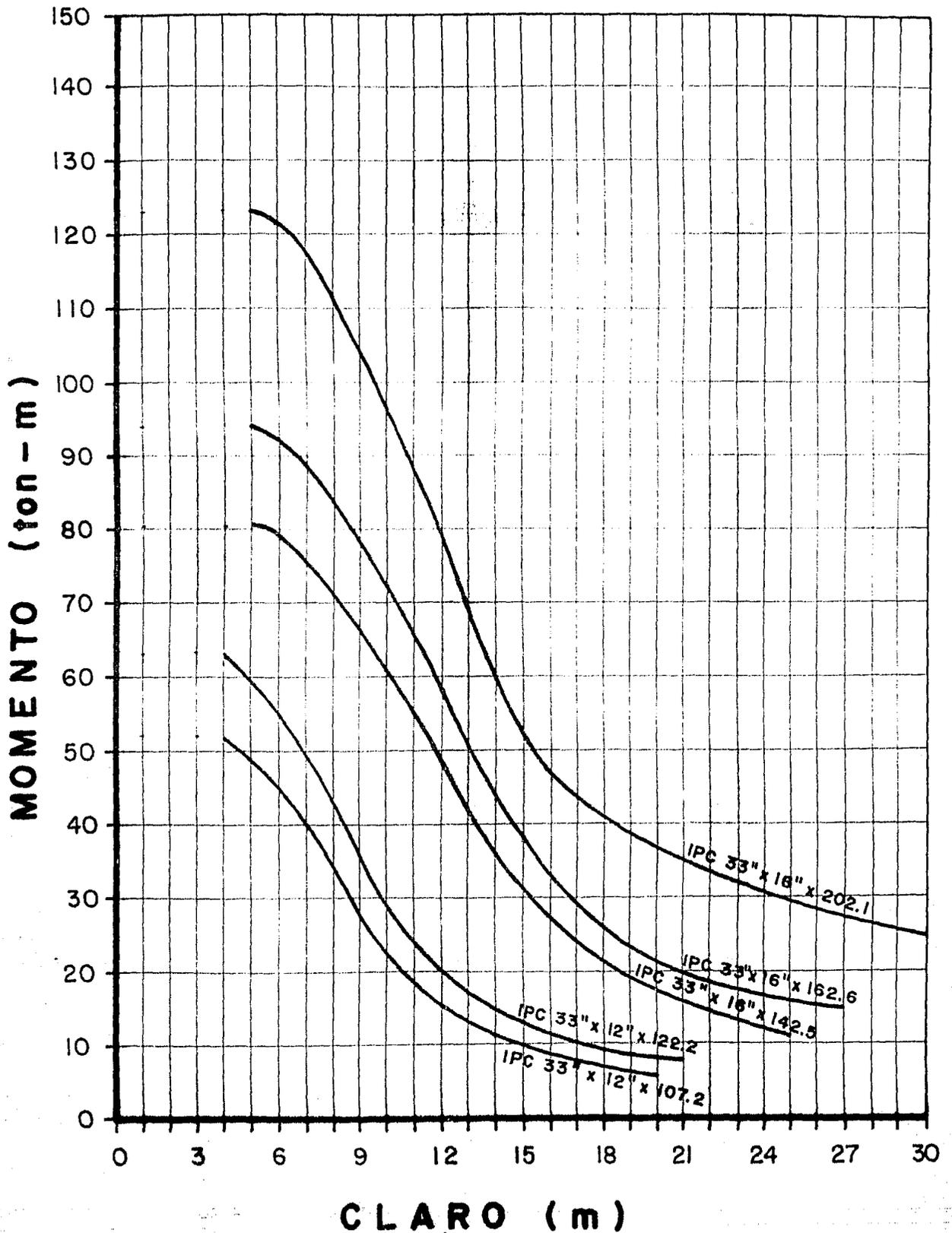
SECCIONES IPC 27" x 8" y 27" x 12"



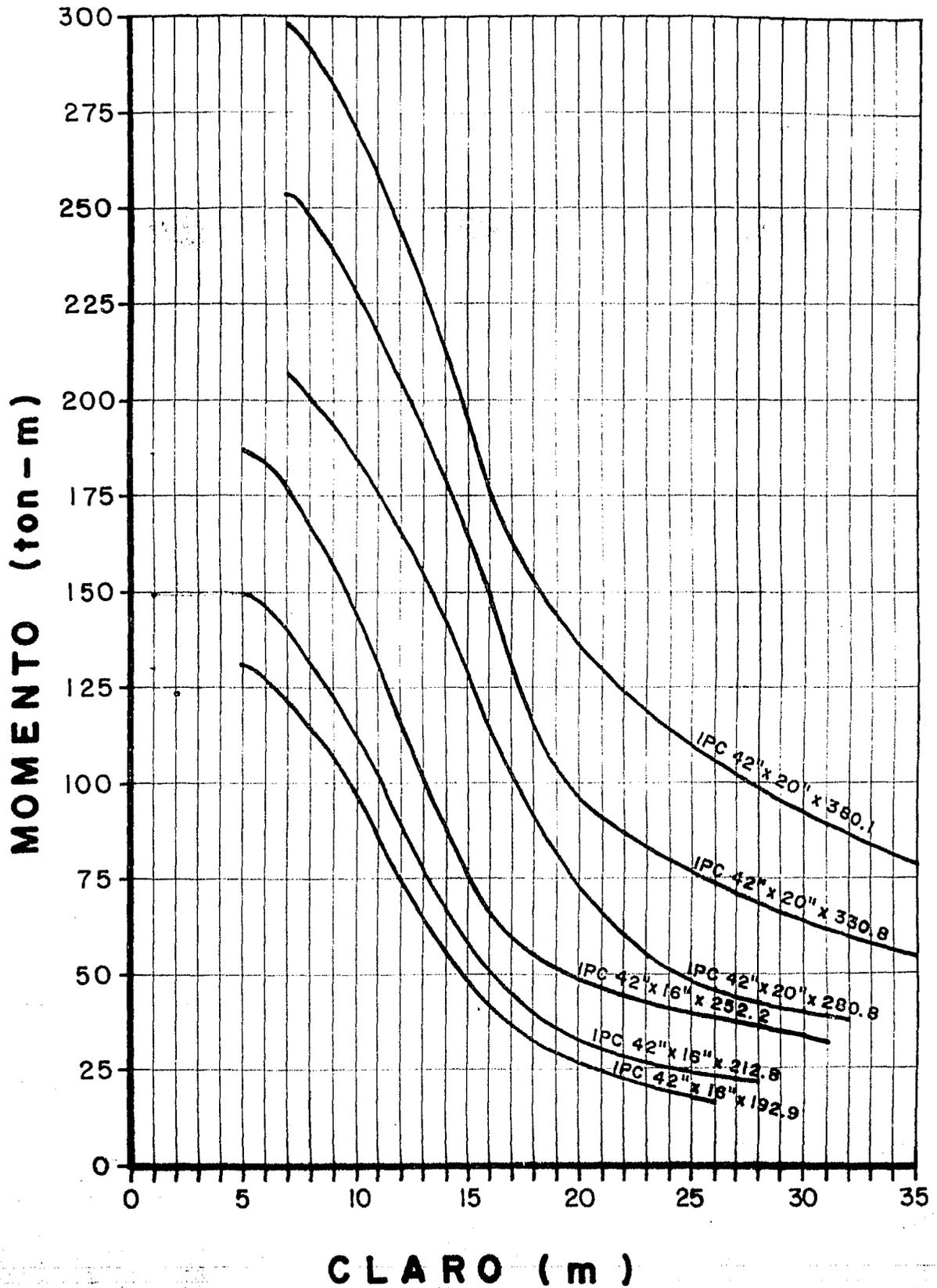
SECCIONES IPC 30" x 12" y 30" x 16"



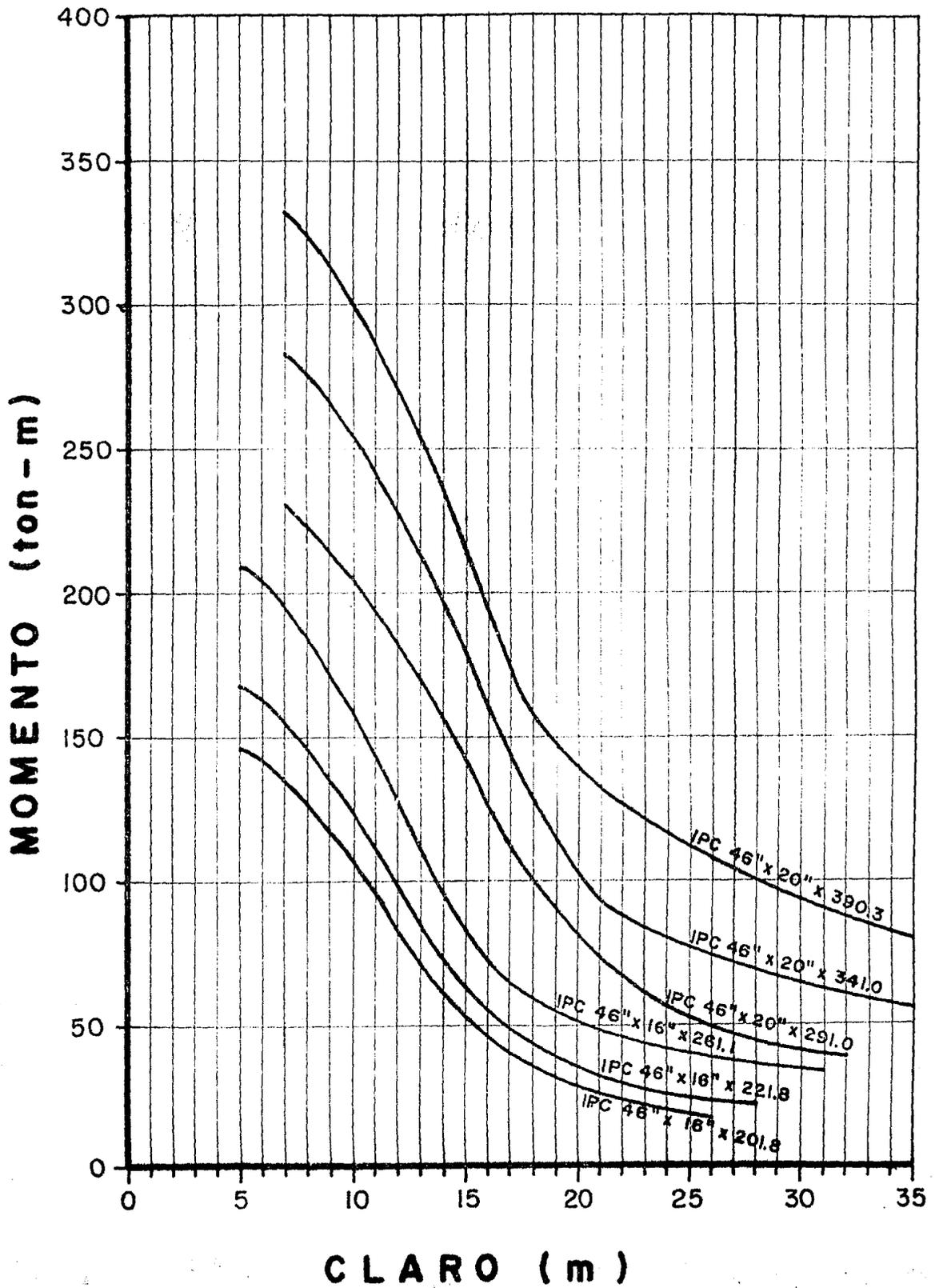
SECCIONES IPC 33"x12" y 33"x16"



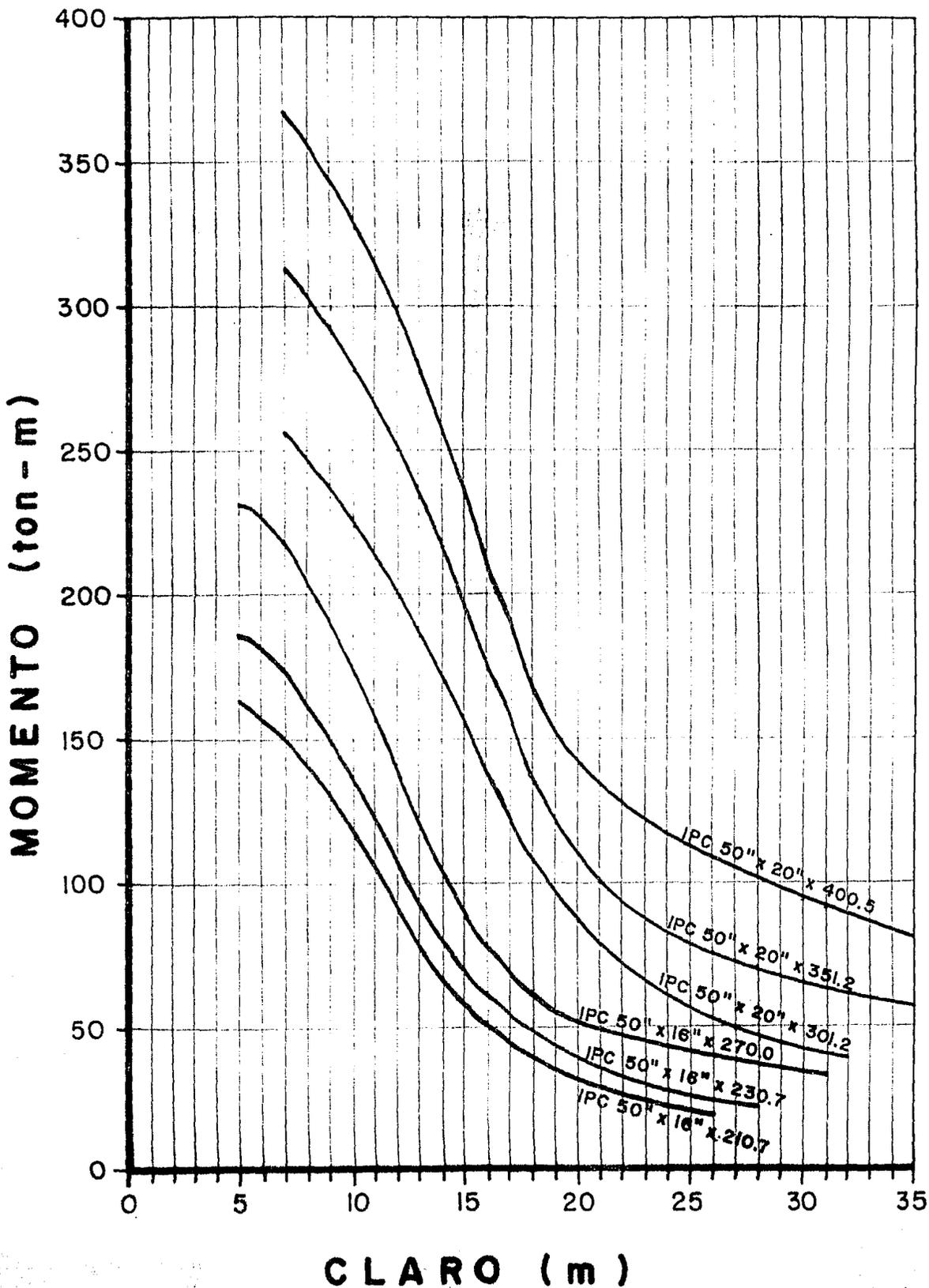
SECCIONES IPC 42" x 16" y 42" x 20"



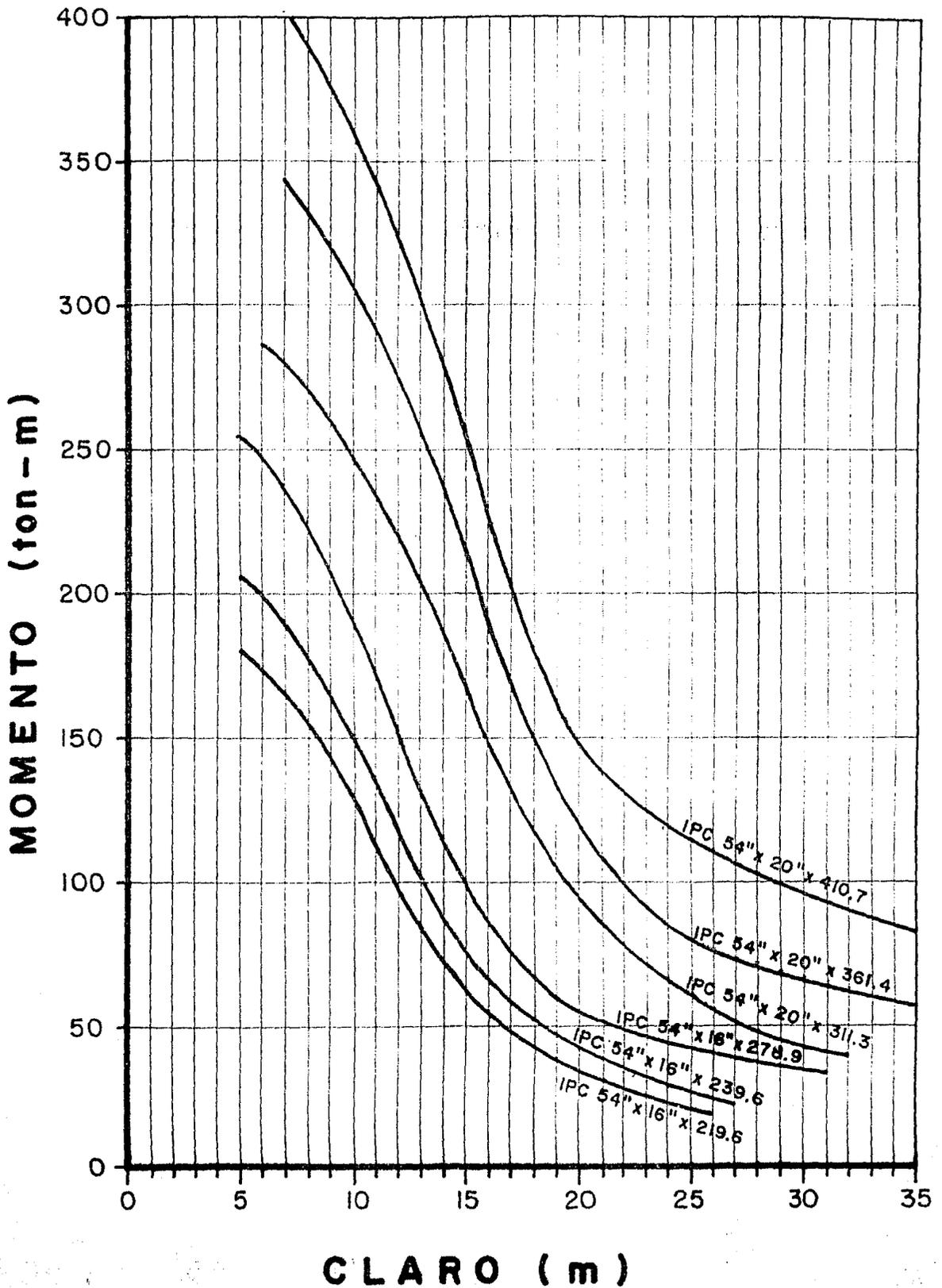
SECCIONES IPC 46" x 16" y 46" x 20"



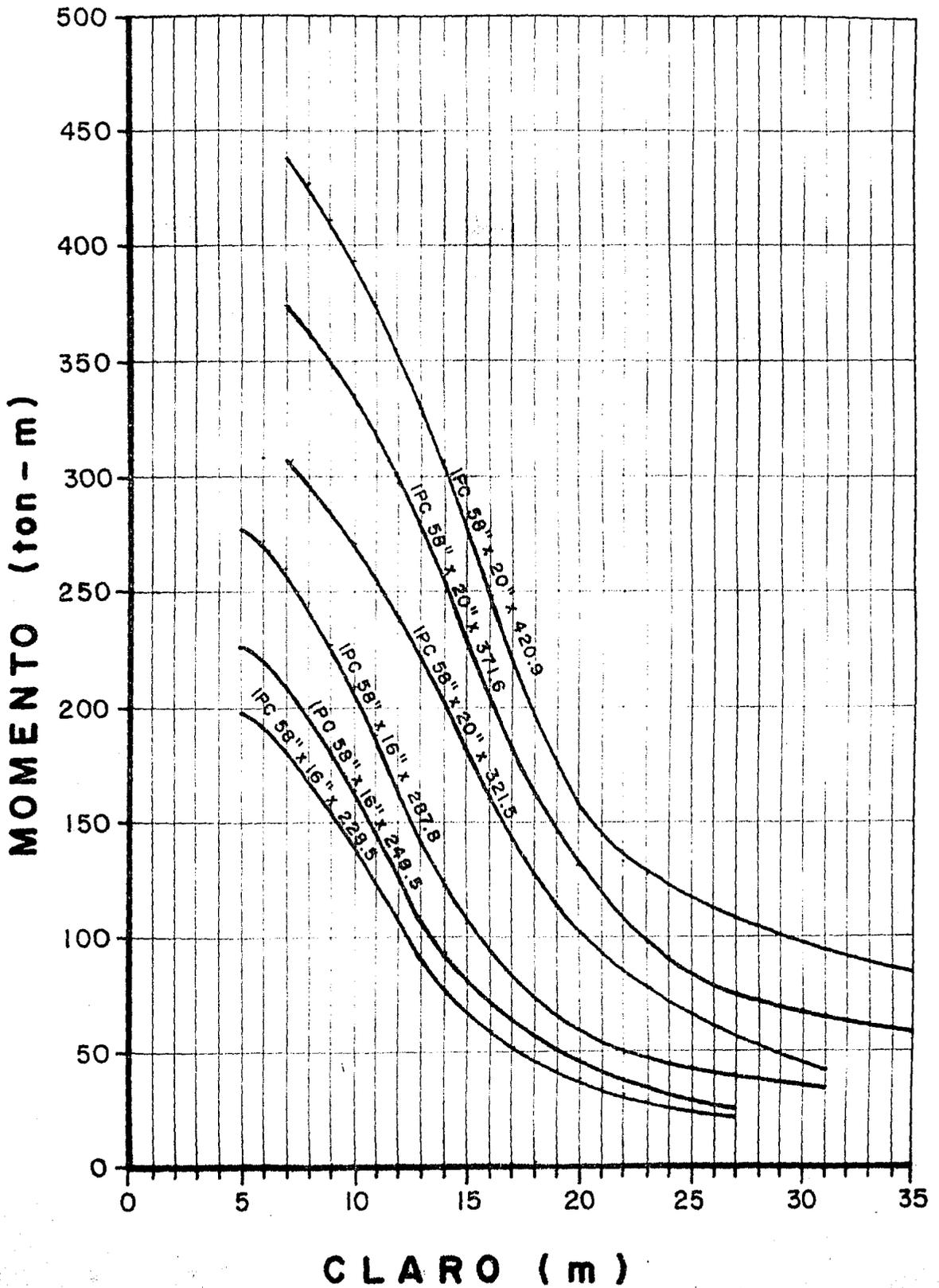
SECCIONES IPC 50" x 16" y 50" x 20"



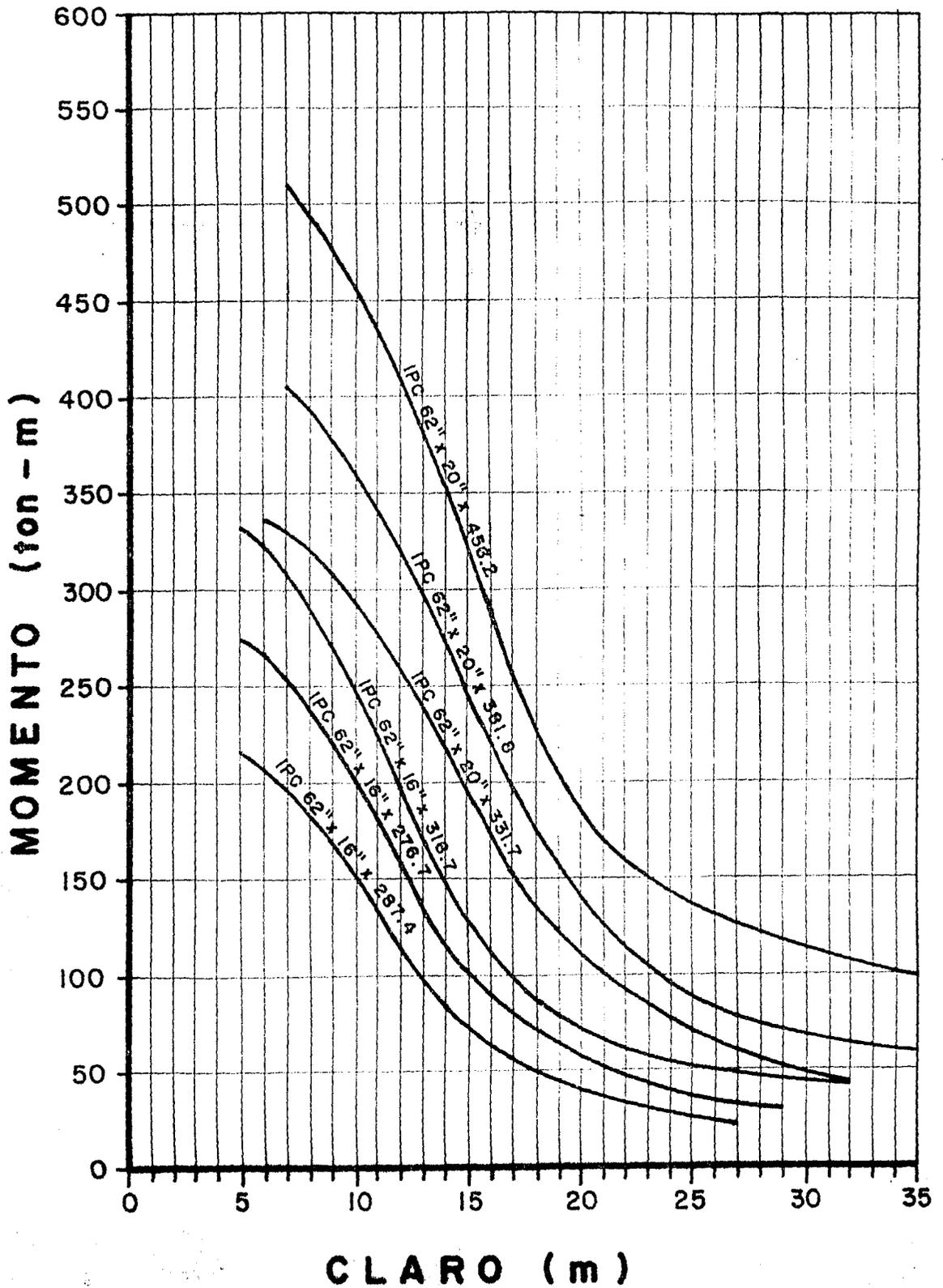
SECCIONES IPC 54" x 16" y 54" x 20"



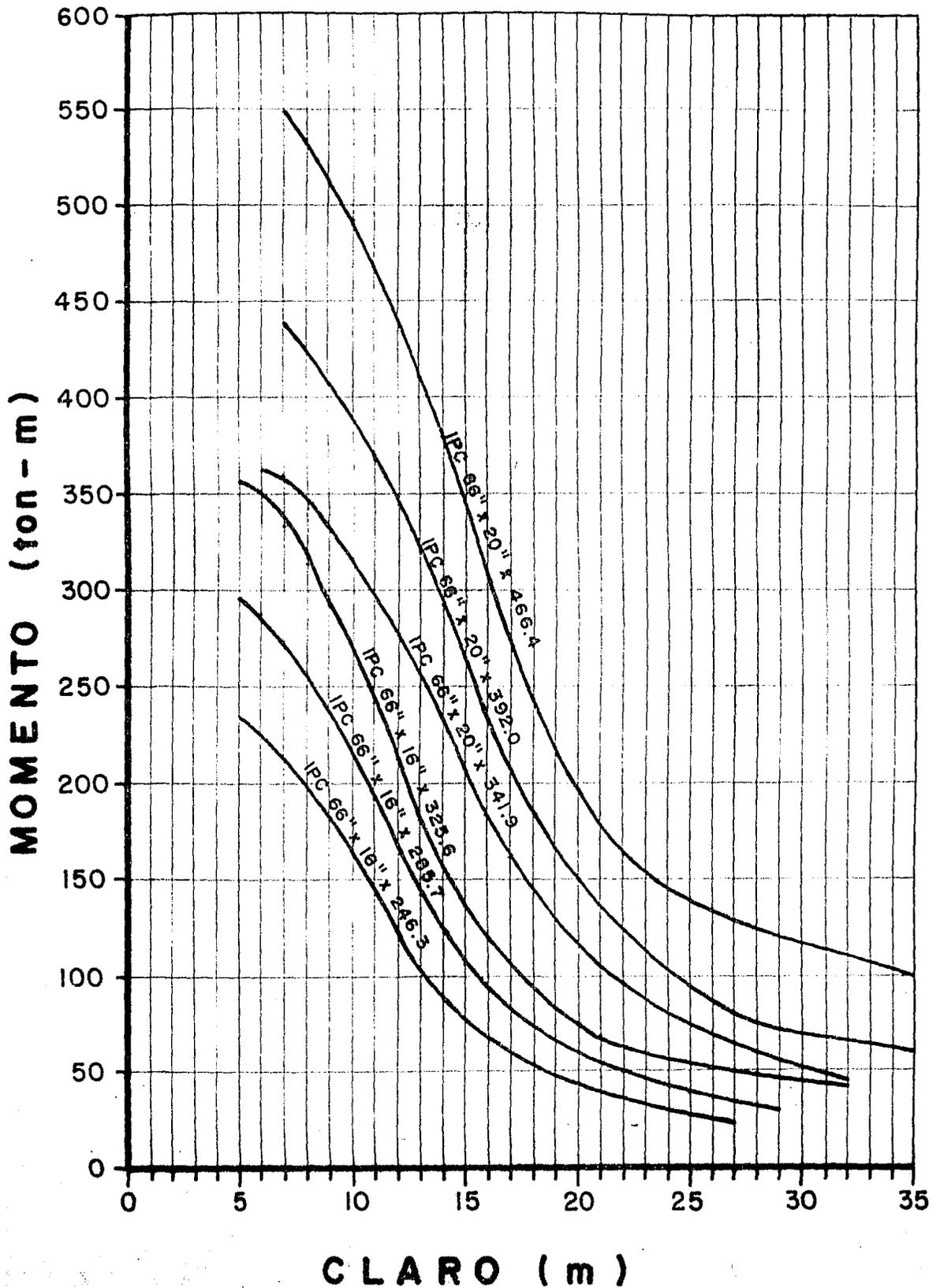
SECCIONES IPC 58" x 16" y 58" x 20"



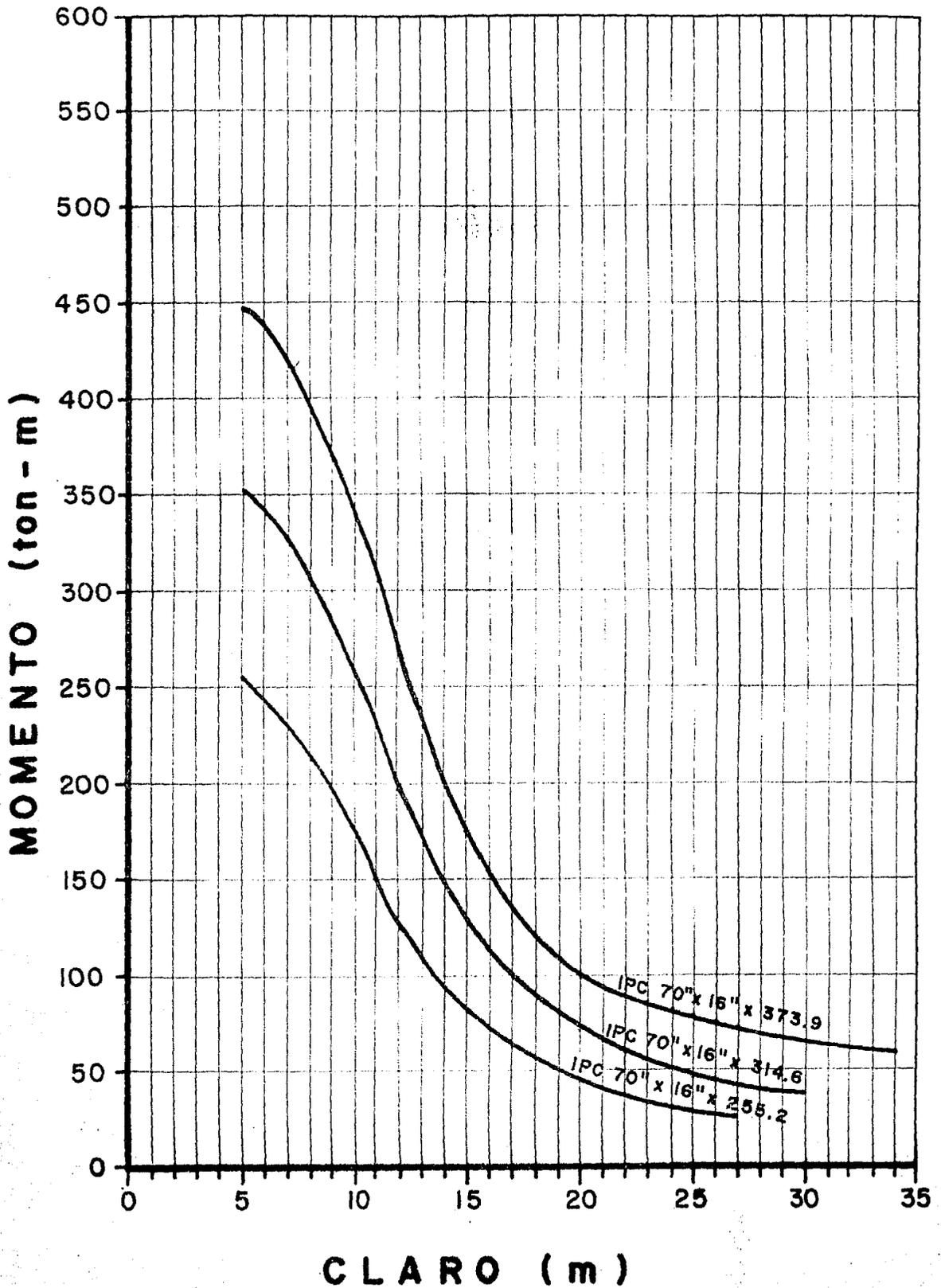
SECCIONES IPC 62" x 16" y 62" x 20"



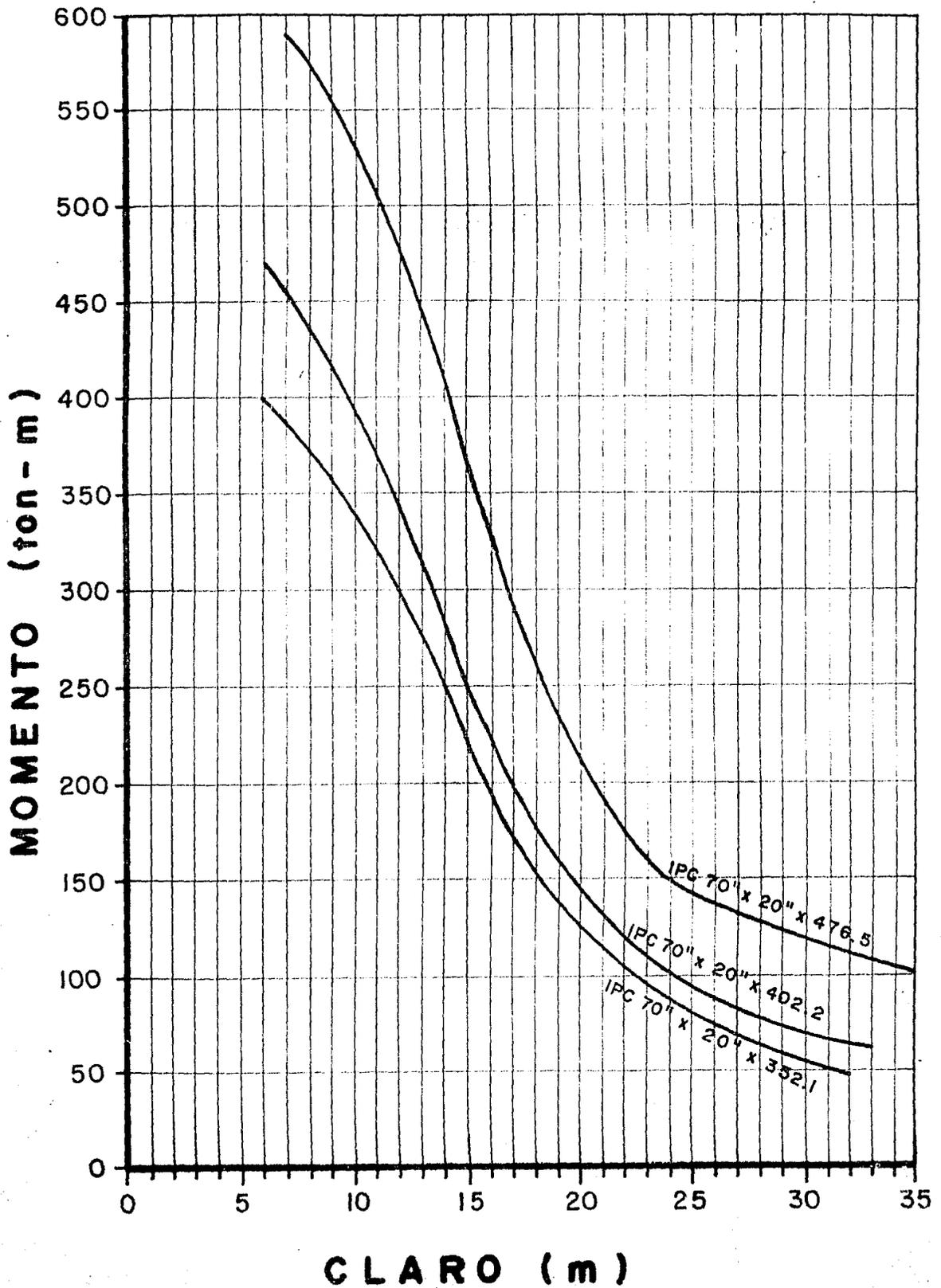
SECCIONES IPC 66" x 16" y 66" x 20"



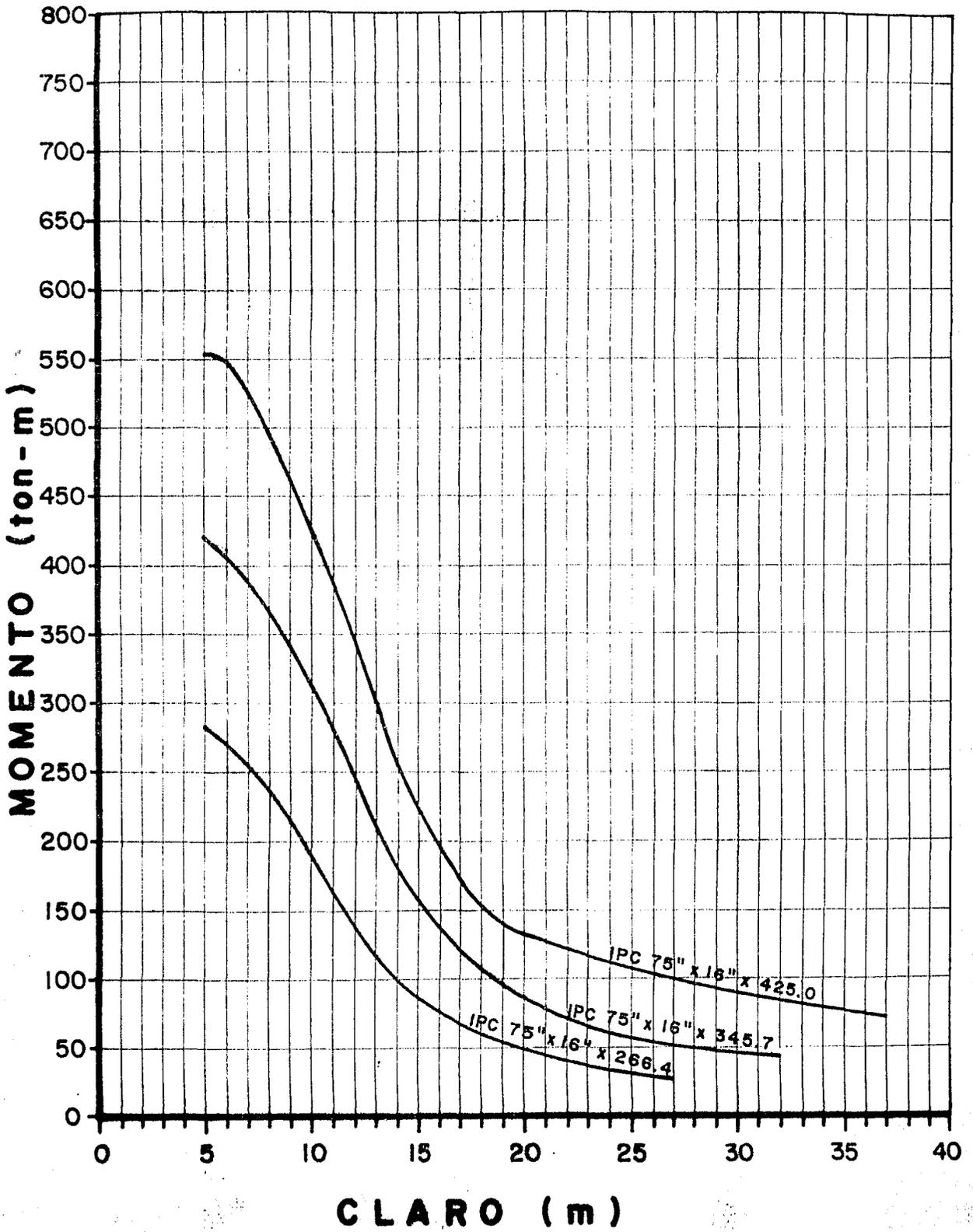
SECCION IPC 70" x 16"



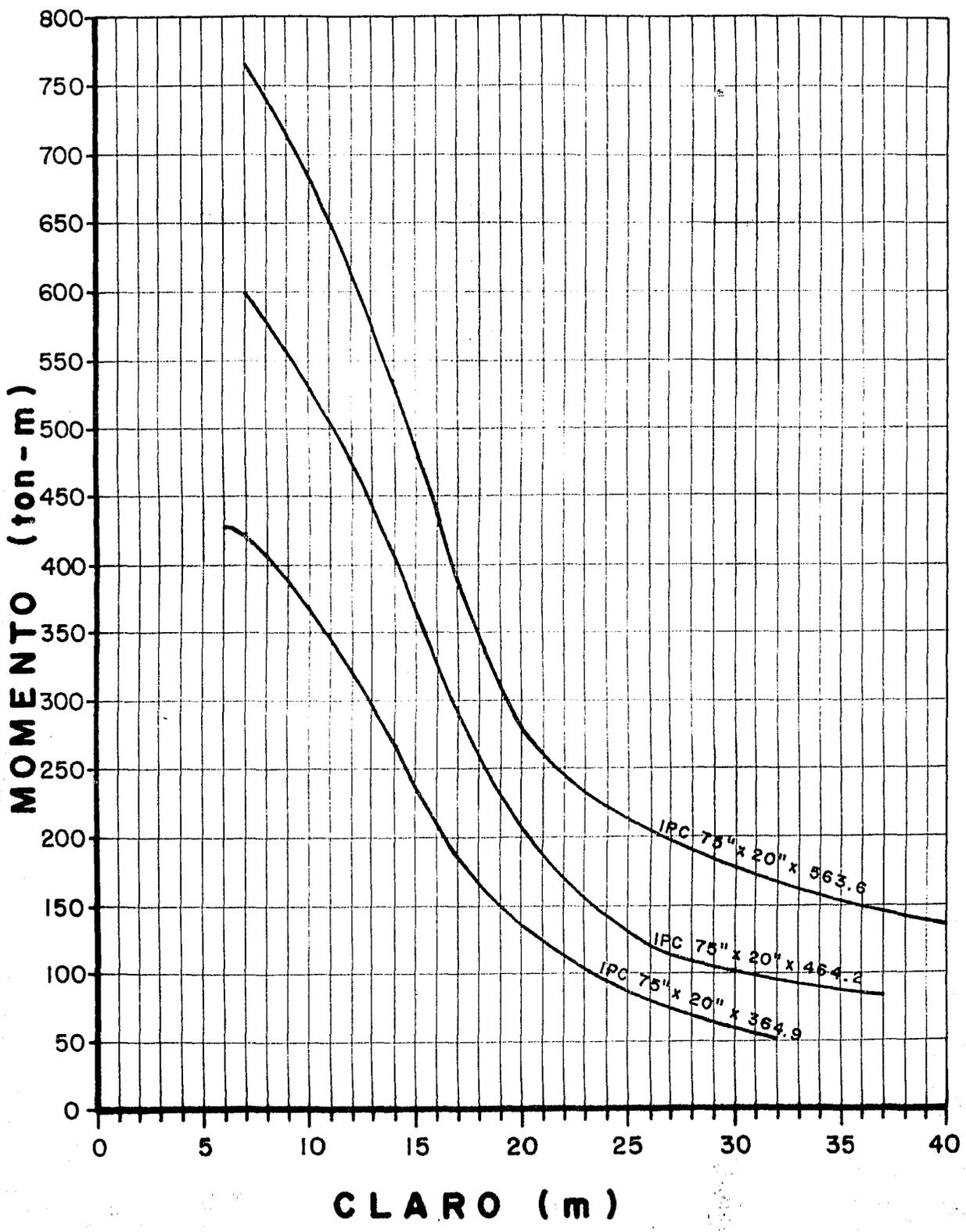
SECCION IPC 70" x 20"



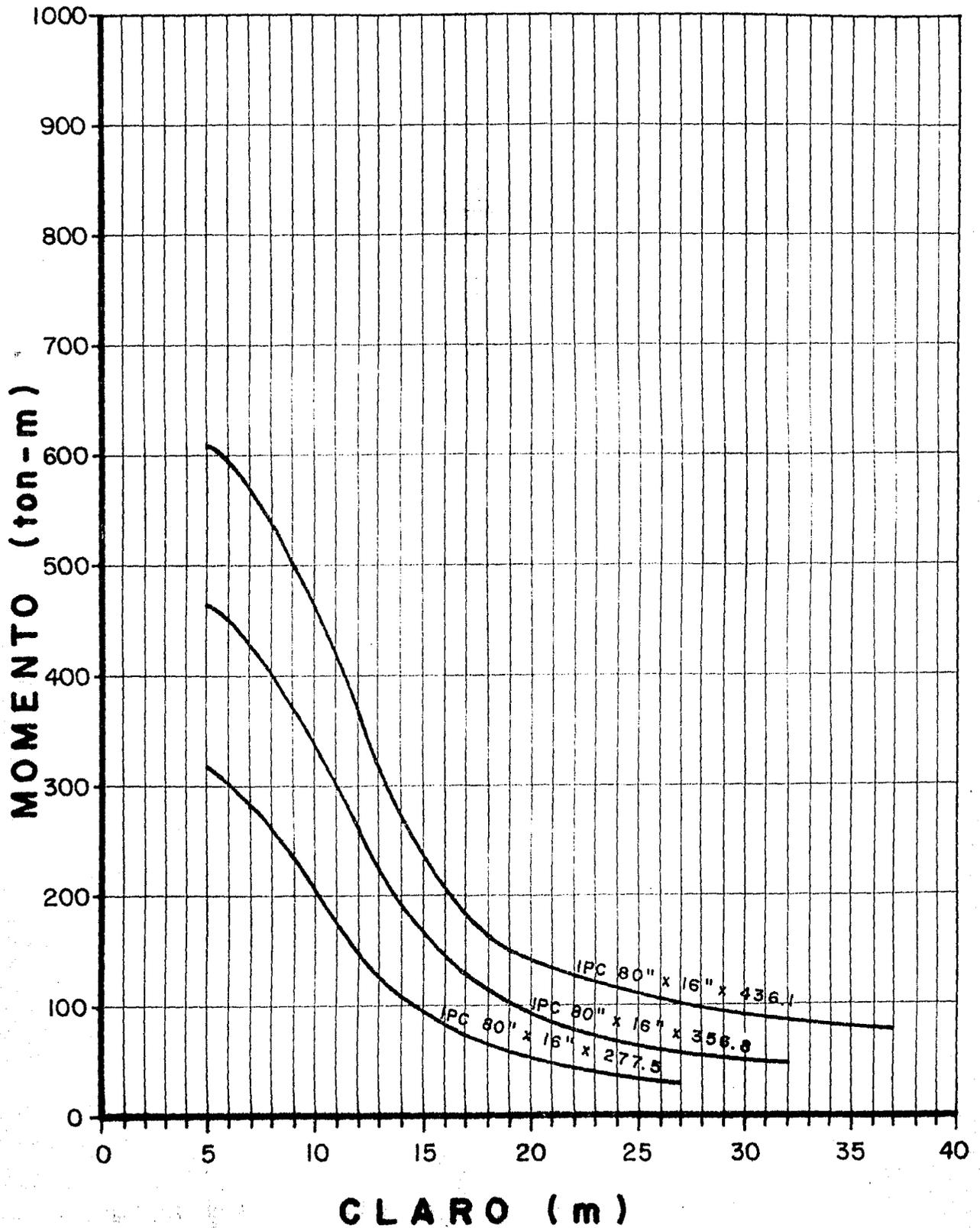
SECCION IPC 75" x 16"



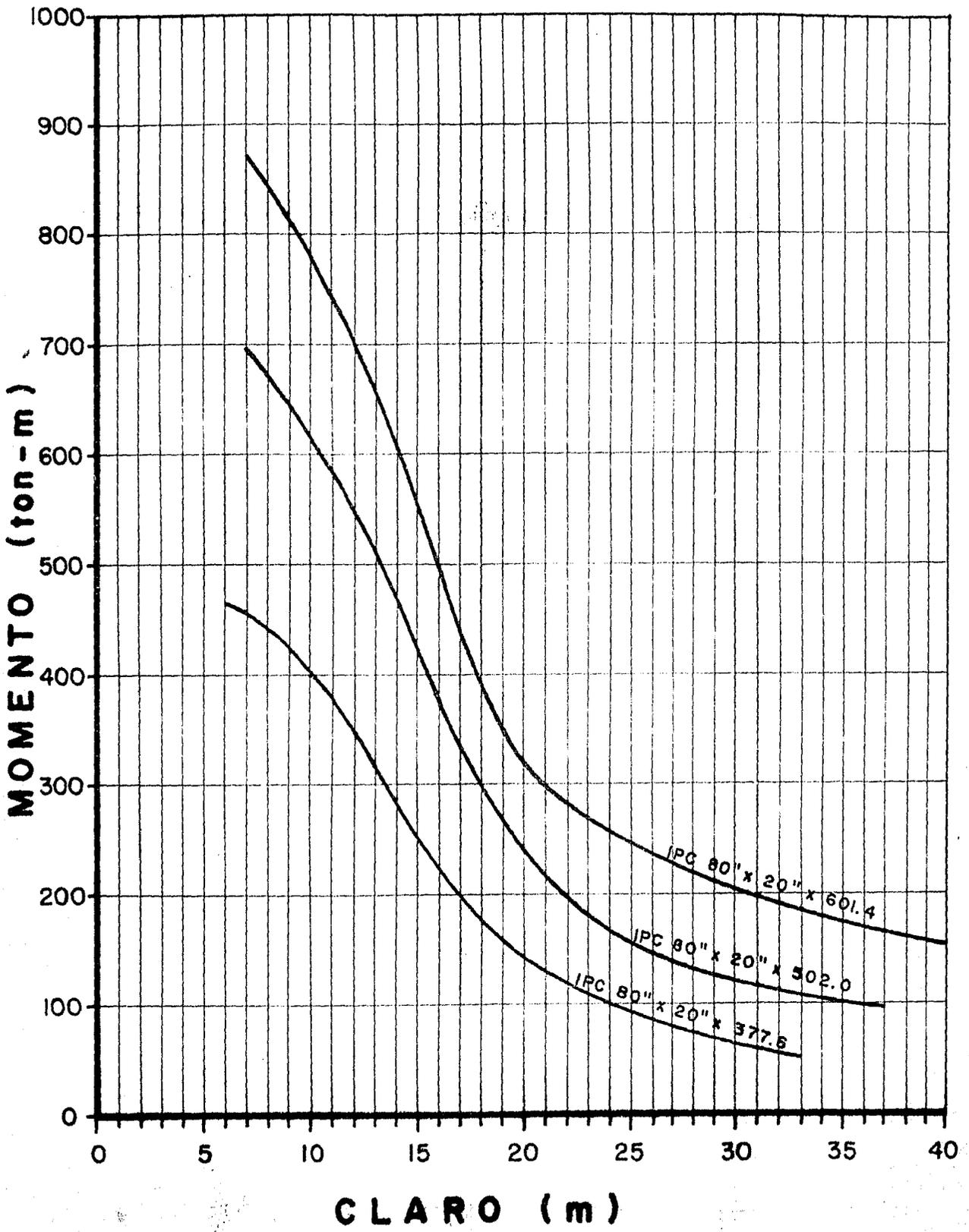
SECCION IPC 75" x 20"



SECCION IPC 80" x 16"



SECCION IPC 80" x 20"



CAPITULO 5.

EJEMPLOS DE APLICACION
Y CASOS PARTICULARES

5. EJEMPLOS DE APLICACION Y CASOS PARTICULARES

5.1 Diseño de traveses IPC

5.1.1. Ejemplo

Se desea diseñar una trabe IPC que - cubriendo un claro de 13 mts. sea ca paz de soportar un momento de 150 ton-m. Solo existe soporte lateral en - los apoyos.

Hallar la sección con menor peso.

- 1) Como hemos observado en el capítulo de Ecuaciones Básicas para el primer tanteo podemos hacer cierta la relación:

$$h = L/10 \quad \therefore \quad h = 1300/10 = 130 \text{ cm} \approx 51''$$

- 2) Buscamos en la gráfica de secciones IPC 50" ó menores. Se entra con el momento en las ordenadas y el claro en las abscisas y el perfil correspondiente a la curva que queda por encima del punto encontrado, será el perfil deseado.

Entonces observando las gráficas obtenemos - los siguientes perfiles

IPC	50"	x	20"	x	301.2
IPC	46"	x	20"	x	291.0
IPC	42"	x	20"	x	280.8

Por lo tanto usaremos IPC 42" x 20" x 280.8

- 3) Para gráficas mayores de 50" de peralte obtenemos los siguientes perfiles.

IPC 54" x 20" x 311.3
IPC 58" x 20" x 321.5

Podemos notar que los pesos son mayores además de estar demasiado sobradas.

5.1.2. Diseñar una trabe de un puente la cual soporta un momento de 400 Ton-m. Como la losa de piso le da soporte lateral en toda su longitud, podemos trabajarla directamente con el momento actuante por lo que buscamos solo en el eje de las ordenadas.

Entonces de la gráfica de las secciones IPC 54" en adelante tenemos que:

IPC 54" x 20" x 410.7

IPC 58" x 20" x 420.9

IPC 62" x 20" x 381.8

IPC 66" x 20" x 392.0

IPC 70" x 16" x 373.9

IPC 70" x 20" x 352.1

IPC 75" x 16" x 345.7

Con este ejemplo podemos observar que existen varios perfiles que cumplen con las sollicitaciones de la trabe.

Si nos decidimos por el menor peso, sin importar las restricciones del peralte tomaremos la IPC 75"x 16" x 345.7

Pero si por razones arquitectónicas nos indican que el peralte máximo no debe de exceder a 1.60 mts. $\approx 63"$

se deben tomar de la siguiente forma:

IPC 62" x 20" x 381.8

IPC 54" x 20" x 410.7

IPC 58" x 20" x 420.9

5.2 Revisión de traveses IPC

5.2.1. Se requiere conocer el momento máximo que puede aguantar un determinado perfil IPC para un claro de 20m sin arriostrar.

Empezamos por los IPC 80" x 20"

IPC	80"	x	20"	x	601.4	soporta	M=	320.0	ton-m
IPC	80"	x	20"	x	502.0	soporta	M=	242.5	ton-m
IPC	80"	x	20"	x	377.6	soporta	M=	145.0	ton-m

IPC 75" x 20"

IPC	75"	x	20"	x	563.6	soporta	M=	282.5	ton-m
IPC	75"	x	20"	x	464.2	soporta	M=	207.5	ton-m
IPC	75"	x	20"	x	364.9	soporta	M=	137.5	ton-m

Así podemos seguir obteniendo valores de momentos según los perfiles escogidos, podemos entonces revisar una trabe existente a la cual se le incremente el momento actuante por nuevas cargas.

Una IPC 75" x 20" x 563.6 para un claro de 20m sin arriostramiento lateral en el patín de compresión puede soportar hasta M=282.5 ton-m. En caso de que sea mayor el momento actuante vs.

el resistente, habrá que disminuir la longitud real sin arriostrar de tal forma que se pueda incrementar el momento resistente hasta exceder el momento actuante.

Otra posible solución sería el uso de cubre placas, lo cual queda fuera del alcance de este trabajo.

CASOS PARTICULARES

Tomamos como caso especial, la comparación de una trabe calculada por las ecuaciones propuestas por el AISC que a continuación se ilustra, contra la obtenida por medio de las gráficas elaboradas anteriormente.

El momento de $M = 505.85 \text{ T-m}$ fue tomado de los cálculos que se muestran mas adelante y con un claro de 7 mts. sin ARRIOSTRAR.

Entrando a las gráficas obtenemos:

IPC 70" x 20" x 476.5

IPC 75" x 16" x 425.0

IPC 75" x 20" x 464.2

IPC 80" x 16" x 436.1

IPC 80" x 20" x 502.0

El perfil obtenido según cálculos es aproximadamente IPC 80" x 24" x 452.0

Ahora por medio de una tabla haremos las comparaciones:

	AREA	I	Sxx	δ_b	F_b
70" x 20"	603.22	3'451,664	38,826	1303	1518
75" x 16"	537.97	3'475,236	36,485	1386	1439
75" x 20"	587.65	3'754,691	39,419	1283	1518
80" x 16"	552.07	4'011,430	39,482	1281	1438
80" x 20"	635.48	5'827,116	57,353	882	1207
80" x 24"	574.6	4'599,196	44,566	1135	1518

Podemos decidirnos por la IPC 75" x 16" x 425.0 puesto que es la de menor peso, además de ser la que mejor trabaja con respecto a esfuerzos como se puede notar en la tabla comparativa anterior.

La trabe calculada no es la óptima y para poder obtenerla con esta secuencia de cálculo, tendríamos que realizar los tanteos necesarios hasta poder llegar a ella, implicando esto el uso de mayor tiempo de ingeniería y siendo ello susceptible de incurrir en mayor número de errores por la laboriosidad del trabajo y el empleo de numerosas consideraciones.

Después de hacer las comparaciones, las diferencias que existen entre los esfuerzos de flexión actuantes y permisibles, son los siguientes:

IPC	70" x 20" x 476.5;	Fb - f_b	= 215 Kg/cm ²
IPC	75" x 16" x 425.0;	Fb - f_b	= 53 "
IPC	75" x 20" x 464.2;	Fb - f_b	= 235 "
IPC	80" x 16" x 436.1;	Fb - f_b	= 157 "
IPC	80" x 20" x 502.0;	Fb - f_b	= 325 "

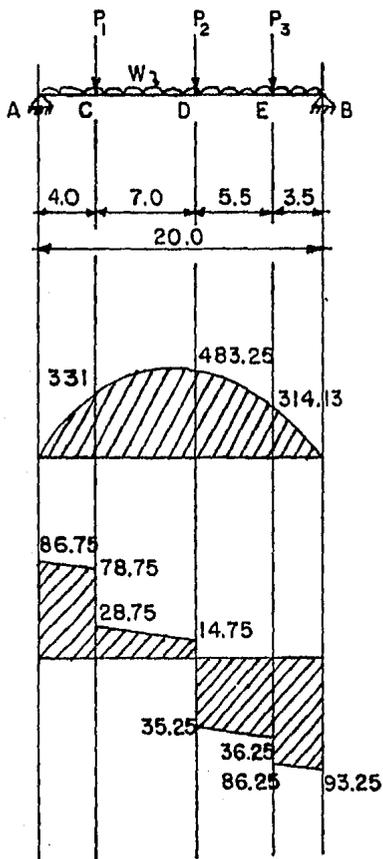
IPC	80" x 24" x 452.0;	Fb - f_b	= 383 Kg/cm ²
-----	--------------------	------------	--------------------------

La diferencia de los esfuerzos de flexión resistente y actuante de las IPC obtenidas por las gráficas, son menores que la de la calculada en todos los casos.

EJEMPLO CALCULADO TRADICIONALMENTE

Diseñar una viga armada soldada para soportar tres -
columnas apoyadas en ella, de una estructura que por
motivos arquitectónicos debe cubrir un claro de 20
mts. para estacionamiento.

La carga uniforme que soporta debido a cargas vivas
y cargas muertas es de 2.0 ton/m sin incluir peso -
propio de la trabe. Las cargas concentradas son -
 $P_1=P_3=50$ Ton. $P_2= 40$ Ton. y su localización se mues-
tra en la figura



El acero es A - 36

Cálculo de reacciones en la -
trabe.

$$R_B = \frac{50 \times 4 + 40 \times 11 + 50 \times 16.5 + (20 \times 2 \times 20) / 2}{20}$$

$$R_B = 93.25 \text{ Ton.}$$

$$R_A = 20 \times 2 + 50 + 40 + 50 - 93.25$$

$$R_A = 86.75 \text{ Ton.}$$

Nota: Se supondrá contraventeo
lateral del patín a com-
presión en los extremos
y en las cargas concen-
tradas.

CALCULO DE MOMENTOS

$$0 < x < 4$$

$$M = 86.75 x - \frac{2x^2}{2}$$

$$x = 0 \quad M = 0$$

$$x = 4 \quad M = 331 \text{ T-m}$$

$$4 < x < 11$$

$$M = 86.75 x - \frac{2x^2}{2} - 50(x-4)$$

$$x = 4 \quad M = 331 \text{ T-m}$$

$$x = 11 \quad M = 483.25 \text{ T-m}$$

$$11 < x < 16.5$$

$$M = 86.75 x - 50(x-4) - 40(x-11) - \frac{2x^2}{2}$$

$$x = 11 \quad M = 483.25 \text{ T-m}$$

$$x = 16.5 \quad M = 314.125 \text{ T-m}$$

$$16.5 < x < 20$$

$$M = 86.75x - 50(x-4) - 40(x-11) - 50(x-16.5) - \frac{2x^2}{2}$$

$$x = 16.5 \quad M = 314.125 \text{ T-m}$$

$$x = 20 \quad M = 0 \text{ T-m.}$$

CALCULO DE CORTANTES

$$86.75 - 2x = 0$$

$$x = 0 \quad V = 86.75 \text{ Ton}$$

$$x = 4 \quad V = 78.75 \text{ Ton}$$

$$86.75 - 2x - 50 = 0$$

$$x = 4 \quad V = 28.75 \text{ Ton}$$

$$x = 11 \quad V = 14.75 \text{ Ton}$$

$$86.75 - 50 - 40 - 2x = 0$$

$$x = 11 \quad V = -35.25 \text{ Ton}$$

$$x = 16.5 \quad V = -36.25 \text{ Ton}$$

$$86.75 - 50 - 40 - 50 - 2x$$

$$x = 16.5 \quad V = -86.25 \text{ Ton}$$

$$x = 20 \quad V = -93.25 \text{ Ton}$$

PASO 1.

Se hace un diseño preliminar de la placa del alma.
Ayudándonos de la siguiente relación, podemos partir
como base:

$$h = \frac{L}{10} \quad \therefore \quad h = \frac{2000}{10} = 200 \text{ cm}$$

Para que no haya reducción en el esfuerzo permisible a flexión en el patín, debemos observar que:

$$\frac{h}{tw} = \frac{6400}{\sqrt{F_b}} \quad \text{donde } F_b = \frac{F_y}{1.65}$$

Como es acero A - 36, $F_y = 2530 \text{ Kg/cm}^2$

$$\therefore F_b = \frac{2530}{1.65} = 1533.33 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\frac{h}{tw} = \frac{64000}{\sqrt{1533.33}} = 163.44$$

$$tw = \frac{200}{163.44} = 1.22 \text{ cm} \quad \text{probar } 1.3 \text{ cm } (1/2")$$

también se debe cumplir que:

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{985000}{\sqrt{F_y (F_y + 1160)}} \quad \therefore \frac{985000}{\sqrt{2530 (2530 + 1160)}} = 322$$

$$\frac{200}{1.3} = 154 < 322 \quad \text{se acepta}$$

(Valor máximo admisible de la relación del peralte libre al grueso del alma)

$$\text{Area del alma} = A_w = 200 \times 1.3 = 260 \text{ cm}^2$$

PASO 2.

Hacer un diseño preliminar de la placa del patín

$$A_f = \frac{M}{F_b h} \quad A_f = \frac{483.25 \times 10^5}{1533.33 \times 200} = 157.6 \text{ cm}^2$$

Para proponer el ancho espesor se debe cumplir que:

$$\frac{b}{2t_f} \leq \frac{300}{\sqrt{F_y}} \rightarrow \frac{b}{2t_f} \leq \frac{800}{\sqrt{2530}}$$

$$\frac{b}{2t_f} \leq 16 \quad \text{revisión por pandeo local}$$

Luego el ancho del patín debe ser menor o igual a - 32 veces el espesor del mismo.

$$\text{Sabemos que } A_f = 157.6 \text{ cm}^2$$

$$y \quad b = \frac{A_f}{t_f} \rightarrow b = \frac{157.6}{t_f}$$

$$\text{Probamos con } t_f = 2.54 \text{ cm (1")}$$

$$b = \frac{157.6}{2.54} \doteq 60 \text{ cm}$$

$$A_f = 60 \times 2.54 = 152.4 \text{ cm}^2$$

Revisamos

$$\frac{b}{2t_f} = \frac{60}{2 \times 2.54} = 11.8 < 16 \quad \text{Se acepta por pandeo local.}$$

PASO 3.

Calcular el momento de inercia real y el módulo de sección de la sección preliminar y revisar las dimensiones según se requiera

No tomaremos en cuenta el momento de inercia de las placas del patín con respecto a su eje centroidal.

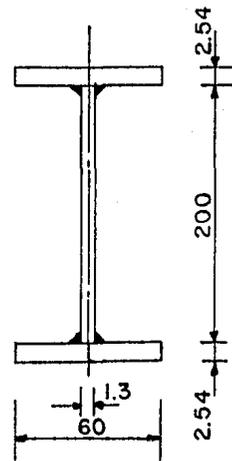
Entonces podemos escribir la fórmula de la manera siguiente:

$$I_{xx} = \frac{b h^3}{12} + 2 A d^2$$

$$I_{xx} = \frac{1.3 \times 200^3}{12} + 2 \times 2.54 \times 60 \times (101.3)^2$$

$$I_{xx} = 3,994,430 \text{ cm}^4$$

$$S_{xx} = \frac{I_{xx}}{c} = \frac{3,994,430}{102.54} = 38955 \text{ cm}^3$$



Cálculo del peso de la trabe

$$W_{pp} = (A_w + A_f) \gamma_s$$

$$W_{pp} = (260 + 152.4) 0.786 = 324 \text{ Kg/m} = 0.324 \text{ Ton/m}$$

Considerando que el momento calculado se encuentra al centro de la trabe, el momento debido a peso propio es:

$$M = \frac{0.324 \times 20^2}{8} = 16.2 \text{ Ton-m}$$

Por lo que el momento total a flexión es:

$$M_{\max} = 483.25 + 16.2 = 499.45 \text{ T-m}$$

Se revisa el esfuerzo de flexión actuante

$$f_b = \frac{M}{S_{xx}} = \frac{499.45 \times 10^5}{38955} = 1282 < 1518 = (0.6 F_y)$$

Como es menor que 1518 revisamos el espesor del alma:

$$t_w = 3/8'' (0.953 \text{ cm})$$

Revisión del cortante en el alma para comprobar que la placa no sea demasiado delgada.

$$\frac{P}{A} = f_v = \frac{93250 + 3240}{200 \times 0.953} = 506 \ll 0.4 F_y = 1012 \text{ Kg/cm}^2$$

Se acepta.

PASO 4.Recalcular I_{xx} y S_b

$$I_{xx} = \frac{0.953 \times 200^3}{12} + 2 \times 2.54 \times 60 \times (101.3)^2 = 3763096 \text{ cm}^4$$

$$S_{xx} = \frac{3763096}{102.54} = 36699 \text{ cm}^3$$

Cálculo del peso de la trabe.

$$W_{pp} = (190.6 + 152.4) \times 0.786 = 270 \text{ Kg/m} = 0.27 \text{ T/m}$$

Momento debido a peso propio.

$$M = \frac{0.27 \times 20^2}{8} = 13.5 \text{ T-m}$$

$$M_{max} = 483.25 + 13.5 = 496.75 \text{ T-m}$$

Revisión del esfuerzo de flexión actuante.

$$f_b = \frac{M}{S_{xx}} = \frac{496.75 \times 10^5}{36699} = 1354 < 0.6 F_y$$

Usar 2 placas para los patines de 2.54 x 60cm
 (1" x 23 5/8") y para el alma una placa de:
 0.953 x 200 cm (3/8" x 6' 6 3/4")

PASO 5.

Comprobación del esfuerzo permisible F_b

Cálculo del radio de giro a flexión que es igual - al momento de inercia alrededor del eje Y del patín de compresión más un sexto del área del alma.

$$r_T = \sqrt{\frac{I_{yy}}{A_f + \frac{Aw}{6}}}$$

$$I_{yy} = \frac{2.54 \times 60^3}{12} = 45\,720 \text{ cm}^4$$

$$A_f + \frac{Aw}{6} = 2.54 \times 60 + \frac{0.953 \times 200}{6} = 184.17 \text{ cm}^2$$

$$r_T = \sqrt{\frac{45\,720}{184.17}} = 15.76 \text{ cm}$$

Se determina el esfuerzo permisible en cada tablero puesto que C_b es diferente en cada lugar.

Tramo A - C.

$$L = 4.0 \text{ m}$$

$$m_1 = 0; m_2 = 331 \text{ T-m}$$

$$C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M1}{M2} \right) + 0.3 \left(\frac{M1}{M2} \right)^2$$

$$C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{0}{331} \right) + 0.3 \left(\frac{0}{331} \right)^2 = 1.75$$

Трамo C - D.

$$L = 7.0 \text{ m}$$

$$m_1 = 331; \quad m_2 = 483.25$$

$$C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{331}{483.25} \right) + 0.3 \left(\frac{331}{483.25} \right)^2 = 2.61 > 2.3$$

$$\therefore C_b = 2.3$$

Трамo D - E.

$$L = 5.50 \text{ m}$$

$$m_1 = 314.125; \quad m_2 = 483.25$$

$$C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{314.125}{483.25} \right) + 0.3 \left(\frac{314.125}{483.25} \right)^2 = 2.56 > 2.3$$

$$\therefore C_b = 2.3$$

Трамo E - B.

$$L = 3.50 \text{ m}$$

$$m_1 = 0; \quad m_2 = 314.125$$

$$\therefore C_b = 1.75$$

Revisión de la relación $\frac{L}{r_T}$

$$\text{Si } \frac{L_b}{r_T} < 53 \sqrt{Cb} \rightarrow F_b = 0.6 F_y$$

$$\text{Si } 53 \sqrt{Cb} < \frac{L_b}{r_T} < 119 \sqrt{Cb}$$

$$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y \left(\frac{L_b}{r_T} \right)^2}{107525 \times 10^3 Cb} \right] F_y \leq 0.6 F_y$$

$$\text{Si } \frac{L_b}{r_T} > 119 \sqrt{Cb}$$

$$F_b = \frac{11952.7 \times 10^3 Cb}{\left(\frac{L_b}{r_T} \right)^2} \leq 0.6 F_y$$

o

$$F_b = \frac{843680 Cb}{L_b \left(\frac{d}{A_f} \right)} \leq 0.6 F_y$$

Revisamos el tramo C - D.

$$L = 700 \text{ cm } r_T = 15.76 \text{ cm.}$$

$$\therefore \frac{L}{r_T} = \frac{700}{15.76} = 44.42 < 53 \sqrt{Cb}$$

Por lo que usamos el esfuerzo permisible a flexión como:

$$F_b = 0.6 F_y = 0.6 \times 2530 = 1518 \text{ Kg/cm}^2$$

Reducción en el esfuerzo del patín.

Cuando la relación entre el peralte y el espesor del alma excede:

$$\frac{h}{tw} > \frac{6370}{\sqrt{F_b}}$$

El esfuerzo máximo en el patín de compresión no deberá exceder de:

$$F_b' = F_b \left[1 - 0.0005 \frac{Aw}{Ag} \left(\frac{h}{tw} - \frac{6370}{\sqrt{F_b}} \right) \right]$$

$$\text{Entonces: } \frac{h}{tw} = \frac{200}{0.953} = 210 > \frac{6370}{\sqrt{1518}} = 163$$

Por lo que:

$$F_b' = 1518 \left[1 - 0.0005 \times \frac{190.6}{152.4} (210 - 163) \right] = 1473.39$$

$$F_b' = 1473.39 \text{ Kg/cm}^2 > \phi_b = 1354 \text{ Kg/cm}^2$$

Las dimensiones son adecuadas y en la comprobación por interacción se verá si requieren revisión las dimensiones de la trabe.

PASO 6.

Cálculo de los requerimientos de los atiesadores.
 Por especificación (AISC) se requiere que existan -
 atiesadores de apoyo bajo las reacciones y las car-
 gas concentradas.

En los apoyos:

$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{93250 + 270 \left(\frac{20}{2} \right)}{190.6} = 503.41 \text{ Kg/cm}^2$$

No se requieren atiesadores intermedios siempre
 que:

$$\frac{h}{tw} \leq 260 \quad \text{y} \quad f_v \leq F_v = \frac{F_y C_v}{2.89} \leq 0.4 F_y$$

$$\frac{h}{tw} = \frac{200}{0.953} = 210 < 260 \quad \text{correcto}$$

Determinación del esfuerzo admisible en el alma pa-
 ra el pánel exterior: $a = 400 \text{ cm}$

$$\frac{a}{h} = \frac{400}{200} = 2.0 > 1$$

$$\text{Para } \frac{a}{h} \leq 1 \quad k = 4 + \frac{5.34}{(a/h)^2}$$

$$\frac{a}{h} > 1 \quad k = 5.34 + \frac{4}{(a/h)^2}$$

Cuando $a/h > 3$ $k = 5.34$

Entonces: $k = 5.34 + \frac{4}{(2.0)^2} = 6.34$

Suponemos que $C_v < 0.8$

$$C_v = \frac{3\,160\,000\,k}{F_y (h/t_w)^2} = \frac{3\,160\,000 (6.34)}{2530 (200/0.953)^2} = 0.180 < 0.8$$

Si no se usan atiesadores intermedios, el esfuerzo cortante permisible se limita a:

$$F_v = \frac{F_y C_v}{2.89} = \frac{2530 \times 0.180}{2.89} = 157.4 < f_v \therefore \text{se requiere atiesadores}$$

Pruébese uno a la mitad del claro: $a = 200$

$$\frac{a}{h} = \frac{200}{200} = 1 \quad k = 4 + \frac{5.34}{(1)^2} = 9.34$$

Suponemos $C_v < 0.8$

$$C_v = \frac{3\,160\,000 (9.34)}{2530 (200/0.953)^2} = 0.265 < 0.8$$

$$F_v = \frac{F_y}{2.89} \left[C_v + \frac{1 - C_v}{1.15 [1 + (a/h)^2]^{1/2}} \right]$$

Con atiesadores intermedios y $C_v < 1$

$$F_v = \frac{2530}{2.89} \left[0.265 + \frac{1 - 0.265}{1.15 [1 + (200/200)^2]^{1/2}} \right] = 627.6$$

$F_v > f_v$ se acepta.

Para el otro pánel exterior de 3.50 m probamos con:

Separación máxima entre atiesadores intermedios

$$\frac{a}{h} = \left(\frac{260}{h/tw} \right)^2 = \left(\frac{260}{200/0.953} \right)^2 = 1.535$$

$$\therefore a = 1.535 h = 1.535 \times 200 = 307 \text{ cm}$$

Determinación del esfuerzo admisible en el alma para una separación entre atiesadores de $a = 307 \text{ cm}$.

$$\frac{a}{h} = \frac{307}{200} = 1.535 > 1$$

$$k = 5.34 + \frac{4}{(a/h)^2} = 5.34 + \frac{4}{(1.535)^2} = 7.038$$

Suponemos que C_v dar  un valor menor de 0.8

$$C_v = \frac{3\,160\,000 k}{F_y (h/tw)^2} = \frac{3\,160\,000 \times 7.038}{2530 (200/0.953)^2} = 0.192 < 0.8$$

Con atiesadores intermedios y $C_v < 1$

$$F_v = \frac{F_y}{2.89} \left[C_v + \frac{1 - C_v}{1.15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right]$$

$$F_v = \frac{2530}{2.89} \left[0.192 + \frac{1 - 0.192}{1.15 \sqrt{1 + (1.535)^2}} \right] = 875.43 \quad (0.192 + 0.384)$$

$$F_v = 168.1 + 336.2 = 504.3 \text{ Kg/cm}^2 > f_v = 503.4 \quad \text{se acepta.}$$

Por lo que ponemos atiesadores a la mitad del claro en ambos p neles extremos.

Como es mayor el permisible que el actuante en el apoyo, no es necesario comprobar más el esfuerzo cortante en el análisis del atiesador.

PASO 7.

Revisión por interacción en las cargas concentradas debido a flexión y cortante.

No se requerirá revisar la interacción si:

$$a) \delta_v \leq 0.6 F_v \text{ y } F_b \leq 0.6 F_y \quad \delta$$

$$b) \delta_v \approx F_v \text{ pero } \delta_b \leq 0.75 F_b$$

Si no se cumplen cualesquiera de estas condiciones, será necesario verificar la interacción y posible-mente reducir el esfuerzo permisible de flexión en el patín con la siguiente ecuación:

$$F_b \leq \left(0.825 - \frac{0.375 \delta_v}{F_v} \right) F_y \leq 0.6 F_y$$

$$\text{Revisando } \delta_v = 503.4 \quad \text{y} \quad F_v = 504.3$$

$$\text{Probamos con la condición } \underline{b} \quad 503.4 \approx 504.3$$

$$\delta_b = 1354 ; \quad F_b = 1518 ; \quad 0.75 F_b = 1139$$

$$\delta_b > 0.75 F_b \quad \therefore \text{ hay que revisar}$$

A una distancia dx a la derecha de la columna del tramo E - B, el cortante será:

$$V = 93.25 + 2.7 - 3.5 (2 + 0.27) = 88 \text{ Tons.}$$

Para este cortante, el esfuerzo cortante en el alma es:

$$\delta_v = \frac{88\,000}{200 \times 0.953} = 461.7 \text{ Kg/cm}^2$$

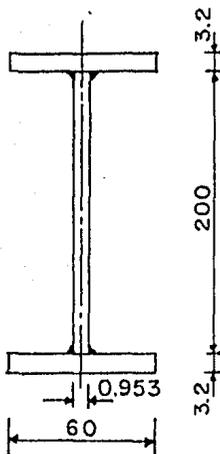
$$F_b = \left(0.825 - \frac{0.375 \times 461.7}{504.3} \right) 2530 = 1218.6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$1218.6 < 1518$$

Se toman los esfuerzos permisibles menores y en este caso

$$\delta_b = 1354 > F_b = 1218$$

∴ Se rediseñará la sección



$$I_{xx} = \frac{0.953 \times 200^3}{12} + 2 \times 3.2 \times 60 \times 101.6^2$$

$$I_{xx} = 4,599,196 \text{ cm}^4$$

$$S_{xx} = \frac{4,599,196}{103.2} = 44566 \text{ cm}^3$$

Cálculo del peso de la trabe:

$$W_{pp} = (190.6 + 384) 0.786 = 452 \text{ Kg/m} = 0.452 \text{ T/M}$$

$$M = \frac{0.452 \times 20^2}{8} = 22.6 \text{ T-m}$$

$$M_T = 483.25 + 22.6 = 505.86 \text{ T-m}$$

$$\delta_b = \frac{505.85 \times 10^5}{44\,566} = 1135 \text{ Kg/cm}^2$$

Revisamos la interacción

$$\delta_v = F_v \rightarrow 503.4 \approx 504.3$$

$$\delta_b \leq 0.75 F_y \rightarrow 1135 \leq 0.75 \times 1518 = 1138$$

Por lo que no se requiere revisión.

PASO 8.

Verificar los requerimientos en los claros interiores entre columnas.

Se prueba el tramo C - D $L = 7.00 \text{ m.}$

Cortante máximo

$$V = 86.75 + \frac{0.452 \times 20}{2} - 4 (2 + 0.452 - 50) = 31.462 \text{ Ton.}$$

$$\delta_v = \frac{31462}{190.6} = 165.1 \text{ Kg/cm}^2$$

Se prueba sin atiesadores

$$\frac{a}{h} = \frac{700}{200} = 3.5 > 3.0 \quad \therefore k = 5.34$$

Suponemos que $C_v < 0.8$

$$C_v = \frac{3\,160\,000 \times 5.34}{2\,530 (200/0.953)^2} = 0.151 < 0.8$$

$$F_v = \frac{2\,530 \times 0.151}{2.89} = 132 < 165.1 \text{ Kg/cm}^2$$

∴ Se requiere atiesador .

Se le pondrá un atiesador a la mitad del claro de 7.00 m. y probamos nuevamente: $a = 350 \text{ cm}$

$$\frac{a}{h} = \frac{350}{200} = 1.75 > 1$$

$$k = 5.34 + \frac{4}{(1.75)^2} = 6.646$$

$$C_v = \frac{3\,160\,000 \times 6.646}{2\,530 (200/0.953)^2} = 0.188 < 0.8$$

Con atiesadores intermedios y $C_v < 1$

$$F_v = \frac{2530}{2.89} \left[0.188 + \frac{1 - 0.188}{1.15 \left[1 + (350/200)^2 \right]^{1/2}} \right] = F_v = 471.26 > \delta_v = 165.1 \text{ Kg/cm}^2$$

∴ Se acepta

Se prueba el claro D - E $L = 5.50 \text{ m}$

Cortante máximo

$$V = 93.25 + \frac{0.452 \times 20}{2} - 3.5 (2 + 0.452) - 50 = 39.2 \text{ Ton.}$$

$$\delta_v = \frac{39200}{190.6} = 205.6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\frac{a}{h} = \frac{550}{200} = 2.75$$

$$k = 5.34 + \frac{4}{(2.75)^2} = 5.869$$

$$C_v = \frac{3\,160\,000 \times 5.869}{2530 (200/0.953)^2} = 0.166$$

$$F_v = \frac{2530 \times 0.166}{2.89} = 146 < \delta_v = 205.6 \text{ Kg/cm}^2$$

∴ Requiere atiesadores

Se le pondrá un atiesador a la mitad del claro de 5.50 y probamos nuevamente: $a = 225 \text{ cm}$

$$\frac{a}{h} = \frac{225}{200} = 1.125 > 1$$

$$k = 5.34 + \frac{4}{(1.125)^2} = 8.50$$

$$C_v = \frac{3\,160\,000 \times 8.50}{2530 (200/0.953)^2} = 0.241 < 0.8$$

Con atiesadores intermedios y $C_v < 1$

$$F_v = \frac{2530}{2.89} \left[0.241 + \frac{1 - 0.241}{1.15 \cdot [1 + (225/200)^2]^{1/2}} \right] = F_v = 2082 > \delta_v = 205.6$$

∴ Se acepta

PASO 9.

Revisión del alma entre atiesadores, verificación - del aplastamiento del alma bajo el patín a compresión debido a la carga uniforme.

La carga a compresión que soporta el alma es de - 2 Ton/m. mas el peso del patín superior.

No se tendrá en cuenta el peso propio del patín.

$$f_c = \frac{W}{tw} = \frac{2000}{0.953 \times 100} = 21 \text{ Kg/cm}^2$$

Para un patín que entrega una carga a compresión - al alma que está libre de rotar (sin restricción)

$$k_c = 2 + \frac{4}{(a/h)^2}$$

Y para un patín que entrega una carga a compresión, restringido contra la rotación.

$$k_c = 5.5 + \frac{4}{(a/h)^2}$$

El esfuerzo permisible a compresión en el alma es:

$$F_c = \frac{708\,000}{(h/tw)^2} k_c$$

Considerando que esté libre de rotar y donde a/h - es crítica:

$$F_c = \frac{708\,000}{(200/0.953)^2} \left[2 + \frac{4}{(350/200)^2} \right] = 53 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_c = 53 \text{ Kg/cm}^2 > b_c = 21 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{Se acepta.}$$

PASO 10.

Diseño de los atiesadores de apoyo e intermedios.
Se diseñan los atiesadores de apoyo en los extremos de la trabe.

$$\frac{b}{t} \leq \frac{800}{F_y} \rightarrow \frac{b}{t} \leq 16$$

buscamos que la suma del ancho de los dos atiesadores más el espesor del alma sea aproximadamente el ancho del patín.

Suponemos placas de 25 cm x 5/8" (1.6 cm)

$$\frac{b}{t} = \frac{25}{1.6} = 15.6 \approx 16 \quad \text{Se acepta.}$$

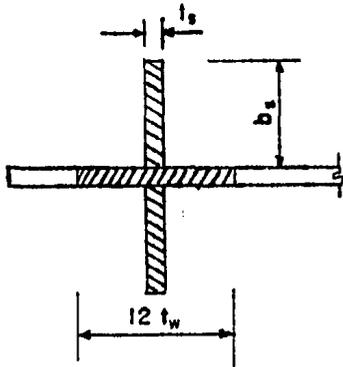
Propiedades del atiesador.

Para un ancho

2 x 25 + 0.953 = 50.953 cm y espesor 1.6 cm

$$I_{xx} = \frac{1.6 \times (50.953)^3}{12} = 17638 \text{ cm}^4$$

El área efectiva de la columna para el radio de giro es para atiesadores de extremo como muestra la figura igual a:



$$A_{\delta} = 2bs ts + 12 tw (tw)$$

$$A_{\delta} = 2 \times 25 \times 1.6 + 12 \times 0.953 \times 0.953$$

$$A_{\delta} = 100.6 \text{ cm}^2$$

$$\therefore r = \sqrt{\frac{17638}{100.6}} = 13.24 \text{ cm.}$$

La longitud efectiva del atiesador se toma como:

$L' = 0.75 h$ debido a que está seguramente conectado al alma.

$$L' = 0.75 (200) = 150 \text{ cm}$$

$$\frac{L'}{r} = \frac{150}{13.24} = 11.33$$

de tablas $F_a = 1486.7 \text{ Kg/cm}^2$

$$f_a = \frac{93,250 + \frac{300 \times 20}{2}}{100.6} = 957 < F_a \quad \text{Se acepta.}$$

Comprobación del esfuerzo de aplastamiento.

Supóngase una soldadura

$$t = 0.953 - 0.159 = 0.794 \text{ cm (5/16")}$$

Por lo que el área efectiva de aplastamiento

$$A = (25 - 0.794)(1.6)(2) = 77.5 \text{ cm}^2$$

El esfuerzo permisible de apoyo

$$F_{\text{apoyo}} = 0.9 F_y = 0.9 \times 2530 = 2277 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_e = F_{\text{apoyo}} A_{\text{efectiva}} = 2277 \times 77.5 = 176373 \text{ Kg.}$$

$$P_e \gg 97\,770 \quad \therefore \text{ Se acepta}$$

El área total de los atiesadores es:

$$A_{st} = \frac{1 - C_v}{2} \left[\frac{a}{h} - \frac{(a/h)^2}{1 + (a/h)^2} \right] y D h t_w$$

$y = 1$ para aceros con el mismo punto de cedencia.

$D = 1$ para placas de atiesamiento en ambos lados de la placa del alma.

$D = 1.8$ para un angular usado como atiesador en un lado del alma.

$D = 2.4$ para una placa atiesadora en un solo lado de la placa del alma.

Para los atiesadores intermedios en el tramo C - D

$a/h = 1.75$; $C_v = 0.188$ se usarán dos placas.

$$A_{st} = \frac{1 - 0.188}{2} \left[1.75 - \frac{(1.75)^2}{\sqrt{1 + (1.75)^2}} \right] (1)(1)(200)(0.953)$$

$$A_{st} = 17.843 \text{ cm}^2$$

Probar dos placas de $0.953 \times 10 \text{ cm}$ ($3/8'' \times 4''$)

$$A = 2 (0.953 \times 10) = 19 \text{ cm}^2 > 17.8 \text{ cm}^2$$

Se acepta.

$$\frac{b}{t} = \frac{10}{0.953} = 10.5 < 16 \quad \text{Se acepta.}$$

El momento de inercia mínimo de los atiesadores es:

$$I_{\text{st}} \geq \left(\frac{h}{50} \right)^4$$

$$\left(\frac{h}{50} \right)^4 = \left(\frac{200}{50} \right)^4 = 256 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{st}} = \frac{0.953 \times (20 + 0.953)^3}{12} = 730.6 \text{ cm}^4 \gg 256 \text{ cm}^4$$

Se acepta.

Usar una longitud de placa para el atiesador de

$$L_{\text{st}} = h - 4tw = 200 - 4(0.953) = 196 \text{ cm.}$$

PASO 11.

Diseño de la soldadura para fijar los atiesadores al alma.

$$\phi_{\text{vs}} = h \sqrt{\left(\frac{F_y}{1400} \right)^3} = 200 \sqrt{\left(\frac{2530}{1400} \right)^3} = 486 \text{ Kg/cm}^2$$

Para un solo atiesador

$$\delta_{vs} = \frac{.486}{2} = 243 \text{ Kg/cm}^2$$

Para los atiesadores de apoyo de 0.953 (3/8") y -
con soldadura de 0.794 cm (5/16") E-60

$$F_v = 0.7071 \pm F_v$$

$$F_v = 0.3 F_u$$

$$F_v = 0.3 \times 4200 = 1260 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_v = 0.7071 (0.794) (1260)$$

$$F_v = 707.4 \text{ Kg/cm}^2 \gg 243 \text{ Kg/cm}^2$$

Se usará soldadura de 8mm (5/16") de espesor de filete y continua para los atiesadores tanto de apoyo como intermedios.

PASO 12.

Diseño de la soldadura para fijar la placa del patín al alma.

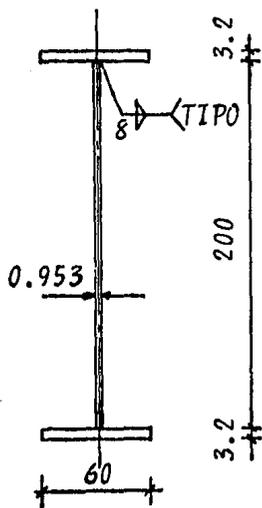
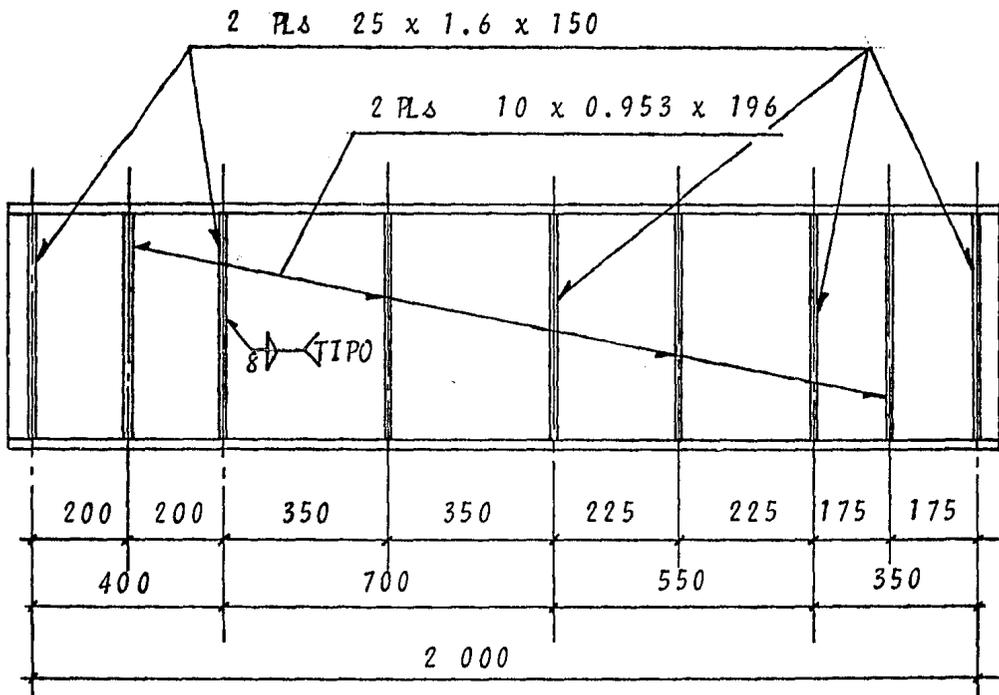
Se diseña con el máximo cortante en el apoyo.

$$v = \frac{VQ}{I} = \frac{\left(93250 + \frac{300 \times 20}{2}\right) (60 \times 3.2) \left[(200 + 3.2)/2\right]}{459952}$$

$$v = 408.21 \text{ Kg/cm}$$

Si usamos soldadura de 5/16" (0.794)

$$F_v = 707.4 > 408.21 \quad \therefore \text{Se acepta.}$$



Diseño final de la trabe IPC perfil - compuesto por tres placas soldadas.

CAPITULO 6.

C O N C L U S I O N E S

CONCLUSIONES

Como se ha podido observar en el transcurso de este trabajo, lo que se ha realizado es un conjunto de gráficas que nos ahorran tiempo y nos dan seguridad de no cometer errores en el diseño y selección de perfiles de sección "I" formadas por tres placas de acero de normalización nacional.

Este conjunto de gráficas vienen siendo una Ayuda de Diseño para Ingenieros, estudiantes y todas aquellas personas relacionadas con los trabajos estructurales de acero.

Con el uso de estas curvas, las cuales representan una determinada sección IPC cada una, se tiene la facilidad de elegir entre varios peraltes, anchos de patín y pesos, algún perfil que cumpla con las solicitudes y restricciones que el problema de diseño de una trabe nos imponga.

El tiempo de diseño y la optimización que resulten del uso de estas gráficas, quedará de la habilidad y experiencia de la persona que haga uso de ellas.

Se ha comprobado que estas secciones usadas para la elaboración de las curvas, que fueron tomadas del manual A H M S A, y según la comparación hecha en el capítulo 5 son las de menor peso y no trabajan muy sobradas con respecto a esfuerzos de flexión.

De aquí podemos concluir que la utilización del -
acero en la fabricación de perfiles de sección IPC
obtenidas utilizando las gráficas, es mejor que si
la sección fuera diseñada como se efectuó en este
trabajo en el mismo capítulo 5, además del tiempo
empleado.

CAPITULO 7.

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

BIBLIOGRAFIA

REGLAMENTO A.I.S.C. 1978
American Institute of Steel Construction 1978.

DISEÑO DE ACERO ESTRUCTURAL
Joseph E. Bowles

ESTRUCTURAS DE ACERO, COMPORTAMIENTO Y DISEÑO
Oscar de Buen y López de Heredia.

MANUAL AHMSA
Construcción de Acero Altos Hornos de México, S.A.

DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO
Bresler, Lin y Scalzi.