

## **ANEXO II**

# **NORMA TÉCNICA PARA EL PROYECTO Y CÁLCULO DE PUENTES FERROVIARIOS METÁLICOS**

# NORMA PARA CALCULO DE PUENTES FERROVIARIOS METALICOS

## INDICE

1.	GENERAL	1. 1	Objeto
		1. 2	Gálibo y sobreelevación
2.	MATERIALES	2. 1	Materiales de proyecto
		2. 2	Materiales de refuerzo
3.	CARGAS	3. 1	General
		3. 2	Carga permanente
		3. 3	Carga móvil
		3. 4	Impacto de la carga móvil
		3. 5	Balanceo de la carga móvil
		3. 6	Presión de viento
		3. 7	Fuerza centrífuga
		3. 8	Fuerza longitudinal
		3. 9	Variaciones de temperatura
		3.10	Efectos secundarios, de montaje y especiales
4.	TENSIONES	4. 1	Tensiones admisibles básicas
		4. 2	Esfuerzos variables
		4. 3	Tensiones de cálculo
		4. 4	Estados elásticos complejos
5.	CONDICIONES GENERALES	5. 1	Condiciones de proyecto
		5. 2	Dimensiones mínimas del material
		5. 3	Uniones
		5. 4	Remachado
		5. 5	Soldadura
6.	PIEZAS CON CARGA AXIAL	6. 1	Esbeltez
		6. 2	Método de cálculo
		6. 3	Areas efectivas
		6. 4	Condiciones de proyecto: barras simples
		6. 5	Condiciones de proyecto: barras compuestas
7.	PIEZAS FLEXADAS	7. 1	Método de cálculo
		7. 2	Elementos de refuerzo
		7. 3	Condiciones de proyecto

## 1. GENERAL

### 1. 1 Objeto

La presente norma tiene por objeto codificar las provisiones técnicas referentes tanto al proyecto como al refuerzo de puentes ferroviarios metálicos.

### 1. 2 Gálibo y sobreelevación

- a) El gálibo, área transversal libre, no será menor que el indicado en la figura 121.
- b) En puentes de planta curva la sobreelevación del riel externo estará dada por la expresión

$$S = a \frac{V^2}{R}$$

donde  $a = 0.725$  siendo:

S: Sobreelevación en cm con máximo 15 cm.

V: Velocidad máxima del tren en Km/hora.

R: Radio de la curva en el punto, en metros.

En este caso, además, la dimensión 1,70 metros de la figura 1.2.1 para el gálibo se reemplazará por 2,10 metros salvo especificación contraria.

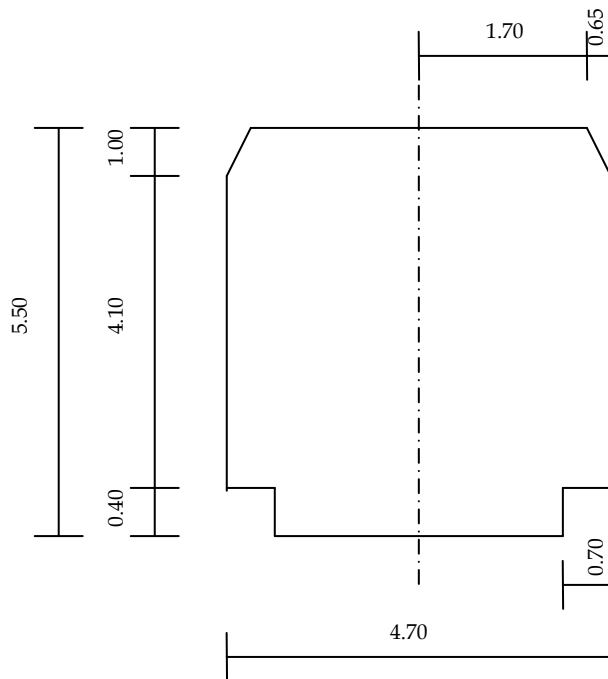


Figura 1.2.1

## 1. MATERIALES

### 2. 1 Materiales de proyecto.

Los materiales usados deberán cumplir con las condiciones requeridas por las normas UNIT correspondientes.

Mientras no se redacten dichas normas, se adoptan las siguientes:

- a) Acero estructural: A.S.T.M. : A - 7 para perfiles y A - 141 para remaches.

En ningún caso sus características resistentes serán inferiores a las siguientes:

Característica	Perfiles y chapas	Remaches
Tensión de rotura	37 Kg/mm <sup>2</sup>	35 Kg/mm <sup>2</sup>
Límite de fluencia	23 Kg/mm <sup>2</sup>	20 Kg/mm <sup>2</sup>
Ductilidad (5 d)	25 %	30 %

- b) Acero fundido: A S T M: A - 27. Sus características mínimas serán iguales a las del anterior.

- c) Aceros especiales: Su uso, así como el aumento de las tensiones admisibles básicas, deberá ser específicamente autorizado. Sus características se ajustarán en lo posible a las siguientes normas:

A S T M: A - 242 para acero de baja aleación.

A S T M: A - 94 para acero al silicio.

A S T M: A - 8 para acero al níquel.

No se admitirán aceros cuya tensión de rotura sea inferior a una y media veces el límite de fluencia.

- d) Fundición: A S T M: A - 48

- e) Aluminio: Su uso deberá ser expresamente autorizado, fijándose en tal caso las tensiones admisibles sobre la base de ensayos que el contratista deberá efectuar en el Instituto de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de Montevideo. En ningún caso se admitirá material que posea características inferiores a las siguientes:

Tensión de rotura: 30 Kg/mm<sup>2</sup>

Límite proporcional: 25 Kg/mm<sup>2</sup>

Ductilidad (5d): 15 %

### 2. 2 Materiales de refuerzo.

Si el material de que está constituido el puente a reforzar es alguno de los descritos anteriormente, los elementos de refuerzo serán del mismo material. De lo contrario se empleará material existente que posea características (térmicas y elásticas) más próximas al del puente.

En este último caso, el cálculo se efectuará para el material de características más desfavorables, teniéndose en cuenta la no - homogeneidad.

### 3.- CARGAS

#### 3. 1 General.

En el cálculo de puentes deben tenerse en cuenta las siguientes cargas y fuerzas:

##### A. Principales:

- A - 1 : Carga permanente.
- A - 2 : Carga móvil.
- A - 3 : Impacto de la carga móvil.
- A - 4 : Balanceo de la carga móvil.

##### B. Secundarias:

- B - 1 : Presión de viento.
- B - 2 : Fuerza centrífuga.
- B - 3 : Fuerzas longitudinales (frenado y aceleración de la carga móvil).
- B - 4 : Variaciones de temperatura.
- B - 5 : Efectos secundarios producidos por las cargas principales.
- B - 6 : Efectos de montaje y tensiones especiales.

Las tensiones producidas por cada una de estas cargas y fuerzas serán colocadas por separado en un cuadro de tensiones.

#### 3. 2 Carga permanente.

En la estimación de pesos a efectos de determinar las tensiones producidas por la carga permanente, se usarán los pesos unitarios siguientes:

Acero	7.850	Kg/m <sup>3</sup>
Fundición	7.200	"
Hormigones, macadán	2.400	"
Arena, gravilla, balasto	2.000	"
Granito	2.800	"
Madera, durmientes	1.300	"

En el caso de no darse el tipo de rieles y la distribución y el tipo de los durmientes, se adoptará el valor conjunto de 400 Kg/m lineal por cada vía.

#### 3. 3 Carga móvil.

- a) La carga móvil por cada vía para el proyecto de puentes será la indicada en la figura 3.3.1, ubicada en la posición más desfavorable. Para cada proyecto se especificará el valor de P a usarse, el que en ningún caso podrá ser inferior a 18 toneladas.

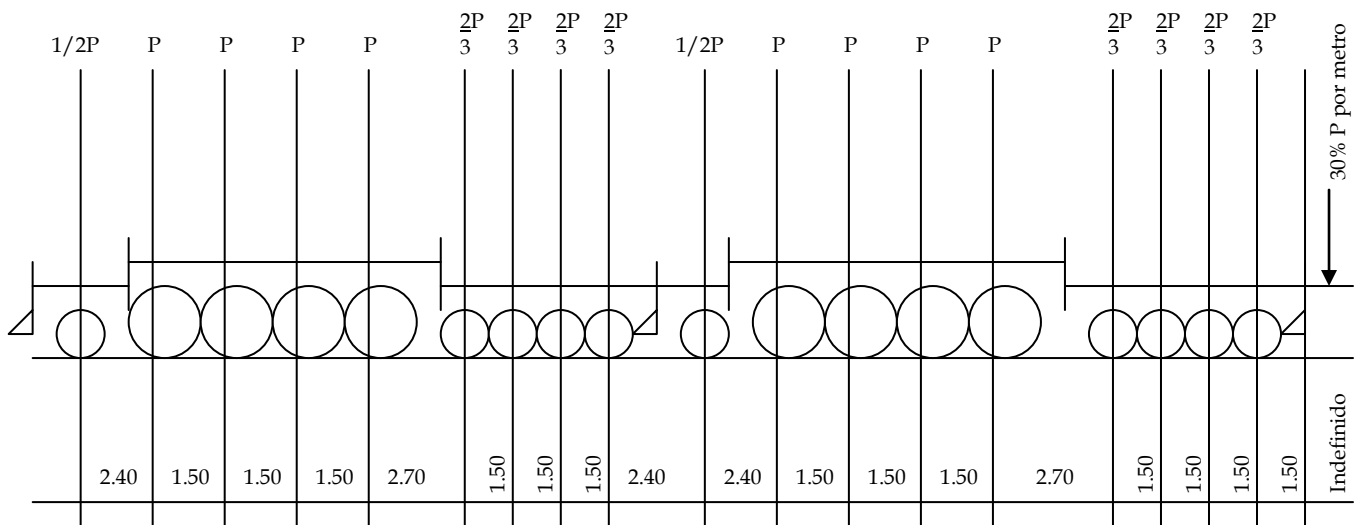


Fig. 3.3.1

- b) La carga móvil por cada vía para el estudio del refuerzo de puentes estará formada por 2 unidades acopladas del tipo de locomotora cuyo paso se prevé, seguidas por una carga de 5000 Kg/m lineal.

El tipo de locomotora se determinará de modo que el tren así formado produzca los máximos esfuerzos en su posición más desfavorable, incluyendo impacto.

### 3. 4 Impacto de la carga móvil.

El efecto del impacto de la carga móvil (irregularidades en la vía, impacto de tren, efecto de velocidad y martilleo) se considerará igual al producido por un porcentaje de aquella dado por los valores indicados a continuación:

- a) Locomotoras a vapor: En general:
- $$60 - (L^2 / 45) \text{ para } L < 30 \text{ m}$$
- $$10 + (540 / (L - 12)) \text{ para } L > 30 \text{ m}$$

Para el cálculo de reticulados:  $15 + (1200 / (L + 7.5))$  para todo L

- b) Locomotoras Diesel, eléctricas o mixtas:  $40 - (L^2 / 48)$  para  $L < 24 \text{ m}$

$$16 + (180 / (L - 9)) \text{ para } L > 24 \text{ m}$$

L: luz en metros del tramo considerado entre ejes de apoyos.

### 3.5 Balaceo de la carga móvil.

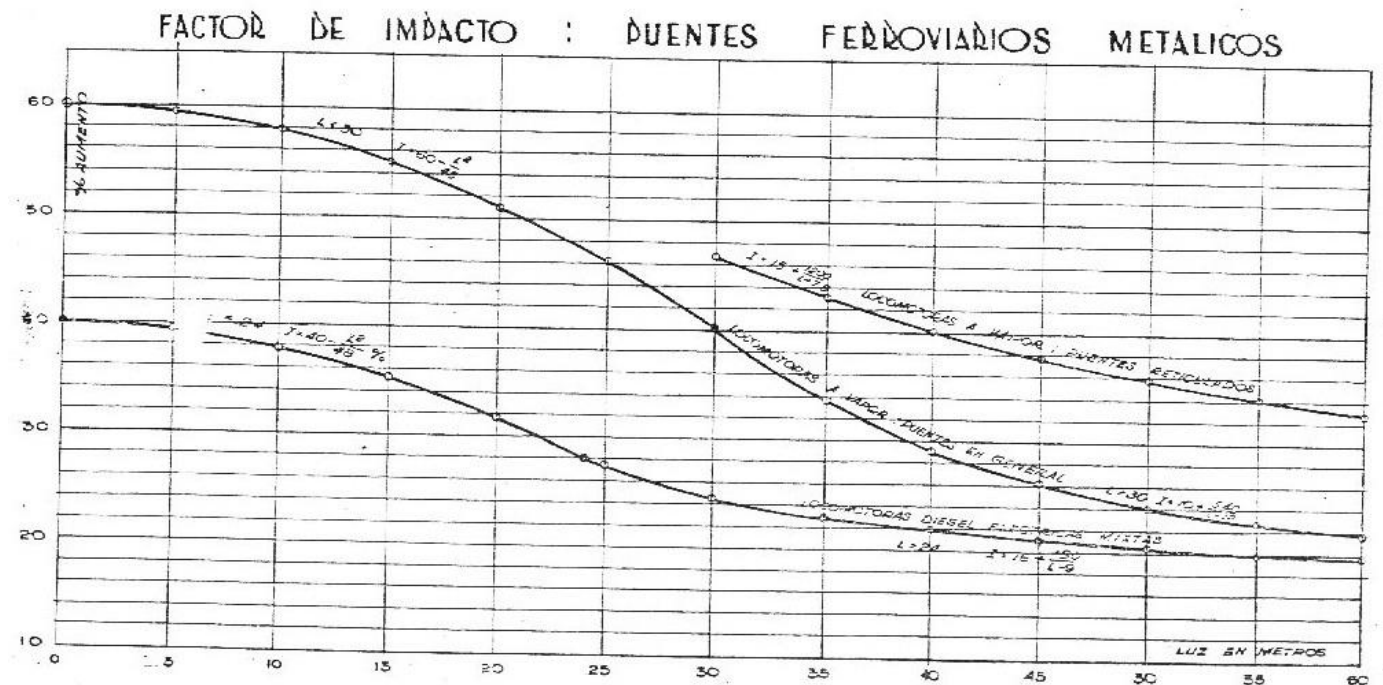
Por efectos de balanceo y choque lateral contra el riel se consideran dos tipos de carga:

- a) Carga vertical actuando hacia abajo en un riel y hacia arriba en el otro, cada una de ellas igual al 10% de la carga móvil.
- b) Carga horizontal única, perpendicular al eje del puente y aplicada en cualquier punto de este, a la altura del riel. Su valor será  $1/3 P$  y se despreciarán sus efectos verticales.

### 3.6 Presión de viento

- a) Puente cargado. Sobre el puente se considerará una presión lateral horizontal de  $150 \text{ Kg/m}^2$  con un mínimo de  $300 \text{ Kg/m}$ .  
Sobre el tren, descargado, se considerará una fuerza lateral horizontal de  $450 \text{ Kg/m}$  aplicada a  $2.40$  metros sobre los rieles.
- b) Puente descargado. Se considerará una presión lateral horizontal de  $250 \text{ Kg/m}^2$ .
- c) Como áreas expuestas se considerarán las siguientes:

Vigas de alma llena	$1 \frac{1}{2}$ veces el área de la proyección vertical
Vigas de alma calada, reticulados	Proyección vertical de 1 viga, más toda la parte que emerge del tablero



### 3.7 Fuerza centrífuga

En puentes de planta curva se considerará una fuerza centrífuga aplicada horizontalmente a 1.80 m sobre los rieles, perpendicularmente al eje de la vía, y cuyo valor estará dado por un porcentaje de la carga móvil igual a:  $V^2/R$ .

Siendo V: velocidad máxima del tren en Km/h

R: radio de curva, en metros

### 3.8 Fuerza longitudinal

El conjunto de efectos causados por aceleraciones y deceleraciones de la carga móvil se considerará igual al producido por una fuerza igual a 15% de aquella, aplicada a 1.80 m sobre los rieles y contenida en el plano vertical que pasa por el eje de la vía.

### 3.9 Variaciones de temperatura

- a) Tanto para el cálculo de solicitaciones como para el de las dilataciones se adoptará una variación de temperatura de  $\pm 35^\circ \text{C}$  y un coeficiente de dilatación térmica de 0.01 mm por metro y por grado centígrado.
- b) Todos los tramos nominalmente isostáticos con luces menores de 20 metros deberán tener un apoyo deslizante constituido por superficies lisas preferentemente una convexa. Para luces mayores de 20 metros ambos extremos deberán estar articulados y uno de ellos provisto de rodillos o péndola.

### 3.10 Efectos secundarios, de montaje y especiales

- a) Los puentes se proyectarán de modo que las tensiones secundarias inducidas por las cargas principales sean mínimas. En general, las producidas por la deformación de los reticulados se considerarán sólo en aquellas barras en que  $l/a > 10$ , siendo:  
  
l: longitud entre apoyos de la barra  
a: ancho de la sección, perpendicularmente al plano de deformación.
- b) En los casos en que el tipo de estructura y forma de montaje lo justifiquen, deberá efectuarse el cálculo de tensiones y deformaciones provocadas por el mismo. Asimismo deberán calcularse en caso necesario las tensiones especiales producidas por la interacción de los distintos elementos de la estructura o por otras causas.



## 4.- TENSIONES

### 4.1 Tensiones admisibles básicas

Los valores que se dan en el cuadro I, expresados en Kg/cm<sup>2</sup>, serán denominados tensiones admisibles básicas para la sollicitación y el material respectivo.

Solicitación	Elemento	Material			
		Acero es- Tructural	Acero Fundido	Aceros Especiales(o)	Fundición
Tracción	Chapas y barras (sección neta)	1250	1000	0.5 $\sigma_s$	
	Vástago de remaches (sección nominal)	650	500	0.25 $\sigma_s$ (*)	
	Vástago de bulones o partes roscadas (sec. Neta)	1250	1000	0.5 $\sigma_s$ (*)	
	Soldadura de cordón	750	600		
	Soldadura a tope	1000	800		
Compresión	En general (sección bruta sin pandeo)	1250	1250	0.5 $\sigma_s$	850
	Soldadura de cordón	800	800		
	Soldadura a tope	1000	1000		
Flexión	Fibras extremas de chapas o perfiles	1250	1000	0.5 $\sigma_s$	250 (*)
	Fibras extremas de pernos de articulación	2000	1500	0.75 $\sigma_s$ (*)	
	Soldadura de cordón	750	600		
	Soldadura a tope	1000	800		
Corte	Alma de vigas (sección bruta)	750	600	0.3 $\sigma_s$	250 (*)
	Remaches colocados a máquina	900	700	0.35 $\sigma_s$ (*)	
	Bulones torneados y ajustados	900	700	0.35 $\sigma_s$ (*)	
	Remaches colocados a mano	700	550	0.3 $\sigma_s$ (*)	
	Soldadura de cordón	650	500		
	Soldadura a tope	800	600		
Aplastamiento	Pernos	1500	1500	0.6 $\sigma_s$ (*)	
	Remaches a máquina, montantes	1750	1750	0.7 $\sigma_s$ (*)	
	Remaches a mano, bulones torneados	1250	1250	0.5 $\sigma_s$ (*)	
	Entre péndolas y sus articulaciones	850	850	0.35 $\sigma_s$	
	Rodillos y superficies convexas, en Kg/cm de longitud para R: radio en cm	80 R para R de 5 a 30 cm 440 R <sup>1/2</sup> para R de 30 a 150 cm		Valores del acero estructural por $\frac{\sigma_s - 900}{1400}$	

Cuadro I

(o) $\sigma_s$ : límite de fluencia en Kg/cm<sup>2</sup>

(\*) con autorización expresa

### 4.2 Esfuerzos variables

Cuando los esfuerzos en alguna barra o parte de la estructura puedan cambiar de signo por alguna combinación de las diversas cargas, o sea que esté sometida a esfuerzos alternativos, las tensiones admisibles básicas de esos elementos se obtendrán dividiendo las de la tabla del art. 4.1 por un coeficiente:

$$\gamma = 1 + 0.50 \varphi \quad \text{siendo:}$$

$\varphi = \frac{\text{esfuerzo mínimo en valor absoluto}}{\text{esfuerzo máximo en valor absoluto}}$

#### 4.3 Tensiones de cálculo

- a) En todo cálculo de puentes se deberán cumplir simultáneamente las siguientes condiciones:
- A) Las tensiones máximas provocadas por las cargas principales no superarán las tensiones admisibles básicas.
  - B) Las tensiones máximas provocadas por todo el conjunto de cargas (principales y secundarias) no superarán las obtenidas multiplicando las tensiones admisibles básicas por el factor 1.2.
- b) Para el cálculo de refuerzo de puentes de material distinto a los considerados, se efectuarán de preferencia ensayos de fluencia y rotura. Se podrán adoptar como tensiones admisibles básicas las indicadas para aceros especiales a condición de tomar como límite de fluencia  $\sigma_s$  el menor de los valores siguientes:
- A) límite de fluencia mínimo dado por los ensayos
  - B) 75% de la tensión de rotura mínima dada por los ensayos
- c) Para el cálculo de la superficie de apoyo sobre mampostería se utilizarán las tensiones admisibles siguientes:
- Ladrillo prensado con mortero de cemento: 20 Kg/cm<sup>2</sup>
  - Piedra arenisca o calcárea: 40 Kg/cm<sup>2</sup>
  - Hormigón: 45 Kg/cm<sup>2</sup>
  - Granitos: 60 Kg/cm<sup>2</sup>

#### 4.4 Estados elásticos complejos

Cuando sea necesario estudiar la seguridad de regiones sometidas a estados elásticos complejos, se utilizarán los siguientes criterios de resistencia:

- a) Estado elástico doble:

$$\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau^2 \leq \sigma_{adm}^2$$

- b) Estado elástico triple:

$$\sigma_1 - \sigma_2 \leq \sigma_{adm}$$

$$\sigma_1 \leq \sigma_{adm}$$

siendo:

$\sigma_x, \sigma_y$ : las tensiones normales en 2 planos perpendiculares.

$\tau$ : la tensión tangencial allí existente

$\sigma_1, \sigma_2$ : las tensiones principales máxima y mínima, en valor algebraico

$\sigma_{adm}$ : tensión admisible básica de tracción, colocada con signo positivo.

### 5. CONDICIONES GENERALES

#### 5.1 Condiciones de proyecto

El proyecto se efectuará de preferencia de modo que todos los elementos del puente sean accesibles para inspección, limpieza y pintura. Toda concavidad en que pueda depositarse agua será provista de orificios de drenaje o rellenada con hormigón u otro material adecuado.

## 5.2 Dimensiones mínimas del material

- a) El espesor mínimo del material será 10 mm, exceptuando el alma de perfiles laminados o el destinado a forros o recubrimientos.
- b) El espesor mínimo de las chapas de nudo será de:
  - 12 mm para luces menores de 30 m
  - 15 mm para luces mayores de 30 m
- c) No se usarán angulares menores de 75 \* 75 \* 10.

## 5.2 Uniones

- a) Las uniones serán en lo posible simétricas respecto al eje de las piezas unidas y tendrán una resistencia por lo menos igual a la de éstas.
- b) En lo posible las barras se dispondrán de manera que en los nudos sus ejes de gravedad pasen por un punto; de lo contrario deberán calcularse los esfuerzos que provoque dicha excentricidad.
- c) En las uniones de nudo deben distribuirse las líneas de remachado o soldadura de modo que su eje de gravedad coincida con el de la barra; cuando esto no sea posible deberán calcularse los esfuerzos provocados.

## 5.3 Remachado

- a) En el estudio del remachado se utilizará siempre el diámetro nominal del remache nuevo, y todas las disposiciones referentes a distancias de o entre remaches se deben tomar desde el centro de los mismos.
- b) Cuando los remaches tengan una longitud útil mayor que 4 veces el diámetro y deban transmitir esfuerzos calculables, su número se aumentará en 1% por cada milímetro de longitud en exceso de 4 diámetros, y deberá cuidarse especialmente su fabricación y colocación. No deberán utilizarse remaches cuya longitud exceda de 6 diámetros.
- c) La distancia entre remaches no será menor de 3 diámetros ni mayor de 10 diámetros.
- d) La distancia de un remache al borde más cercano no será mayor de 4 diámetros o 12 veces el espesor de la chapa.

La distancia de un remache a cualquier borde no será menor de:

- a) 1,8 veces su diámetro si es un borde cizallado
- b) 1,6 veces su diámetro si es un borde laminado de chapa
- c) 1,4 veces su diámetro si es un borde de perfil laminado

## 5.4 Soldadura

- a) La soldadura por arco se usará sujeta a las siguientes condiciones:
  - A) En el proyecto de puentes, o en refuerzos efectuados en taller en uniones mixtas de remachado o bulones y soldadura, se admitirá que la soldadura sola absorbe todas las tensiones.
  - B) En el refuerzo mediante soldadura de puentes remachados se admitirá que el remachado absorbe las tensiones producidas por la carga permanente si dicho refuerzo se efectúa en sitio; la soldadura deberá resistir todas las tensiones producidas por las demás cargas actuantes.
- b) En el estudio de la soldadura se considerará como sección efectiva la obtenida multiplicando el espesor de garganta por la longitud efectiva del cordón.  
Por espesor de garganta se entenderá:
  - A) En un cordón de soldadura, la distancia mínima de la raíz a la cara de la soldadura

- B) En una unión soldada a tope, el espesor mínimo de las partes unidas.  
 Por longitud efectiva se entiende la longitud total del filete menos dos veces su lado nominal.
- c) El lado nominal  $a$ , expresado en mm de la sección de un cordón de soldadura no será menor que el dado por  $a = 1,4(e)^{1/2}$  siendo  $e$  el espesor mínimo de chapa soldada en mm.
- d) La longitud de un cordón de soldadura no será menor de 4 cm, ni menor que 4 veces el lado nominal de la sección del cordón.  
 Para longitudes menores de cordón que esta última, se considerará el lado nominal como igual a  $1/4$  de la longitud del cordón.

## 6.- PIEZAS CON CARGA AXIAL

### 6.1 Esbeltez

- a) La esbeltez  $\lambda$  de la barra, relación de su longitud al radio de giro mínimo ( $\lambda = l/r$ ) no excederá de los siguientes valores:
- Barras comprimidas generales: 100
  - Contravientos en compresión: 120
  - Celosía simple, bridas principales: 140
  - Celosía doble, bridas secundarias: 200
  - Barras extendidas: 200
- b) En barras compuestas la separación ( $d$ ) entre bridas o entre nudos de la celosía será tal que la esbeltez ( $d/r$ ) de cada elemento de barra, considerado aisladamente, no exceda de  $2/3$  de la esbeltez de la barra en su conjunto, tanto para las barras extendidas como para las comprimidas.

### 6.2 Método de cálculo

- a) La tensión en piezas comprimidas de hierro, acero estructural o acero fundido calculada con la sección bruta, no podrá exceder de la obtenida dividiendo la tensión admisible básica de compresión por el factor de pandeo en compresión  $\omega$ , dado por las expresiones indicadas a continuación:
- A) Extremos remachados o soldados:
    - $\omega = 1,25$  para  $\lambda < 50$
    - $\omega = 1,125 + \lambda^2/20000$  para  $\lambda > 50$
  - B) Extremos articulados:
    - $\omega = 1,25$  para  $\lambda < 35$
    - $\omega = 1,125 + \lambda^2/10000$  para  $\lambda > 35$

En el cálculo de piezas comprimidas de aceros especiales se aumentará el factor de pandeo anterior en un porcentaje del mismo dado por la expresión:  $(\omega - 1,25) \sigma_s/23$

- b) En el cálculo de barras compuestas, el factor de pandeo en el plano paralelo a las uniones estará dado por:  $\omega = \omega_s (\omega_u - 0,25)$

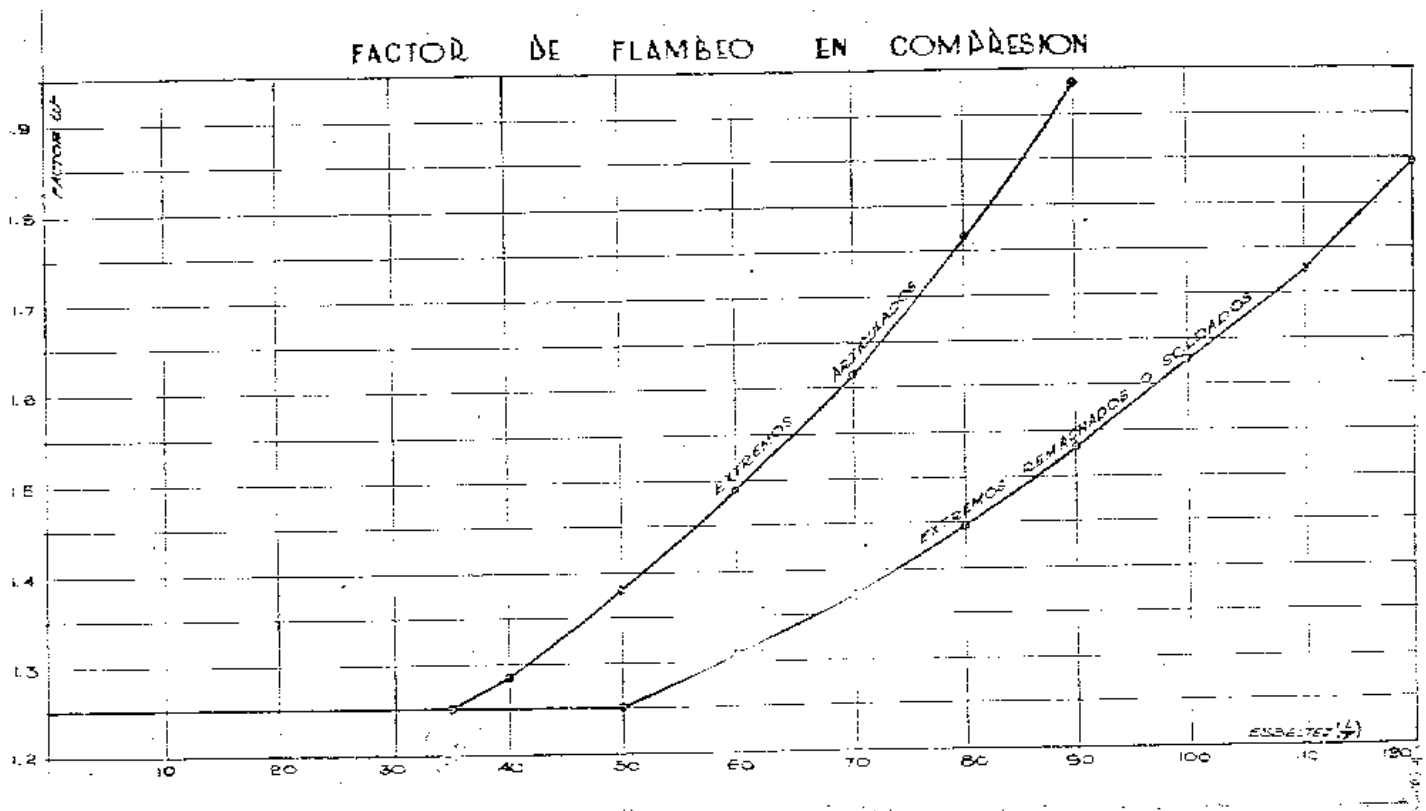
siendo:

$\omega_s$ : factor de pandeo de la barra considerada como simple

$\omega_u$ : factor de pandeo del elemento de unión (brida o celosía).

En el plano normal a las uniones, se usará  $\omega_s$ .

- c) Las piezas extendidas se calcularán con la tensión admisible básica, usando el área neta de las mismas.



### 6.3 Áreas efectivas

a) El área bruta de una barra es igual a la suma de los productos del espesor por el ancho bruto de cada uno y todos los elementos que componen la barra, medidas normalmente al eje de la misma.

b) El área neta de una barra es igual a la suma de los productos del espesor por el ancho neto de cada uno y todos los elementos que componen la barra, determinado, para barras remachadas, en la forma que se indica a continuación:

El ancho neto de un elemento será obtenido calculando para todas las líneas de rotura posibles a través de diversas líneas de remachado la expresión:

$$b_n = b - d (1 - \Sigma K) \quad \text{con } K = 1 - p^2 / (4gd)$$

siendo:

$b_n$ : ancho neto para la línea de rotura elegida.

$b$ : ancho bruto de la chapa o elemento en el lugar.

$d$ : diámetro del orificio de remache supuesto 3 mm mayor que el diámetro nominal del remache.

$p, g$ : distancia longitudinal (paso) y transversal (gramil) respectivamente, correspondiente a cada par de remaches sucesivos encontrados al recorrer la línea de rotura.

$\Sigma K$ : suma de los valores obtenidos para todos los remaches tomados 2 a 2, que se incluyen en la línea de rotura.

El ancho neto no podrá ser menor que el obtenido deduciendo del ancho bruto un número de diámetros igual al número de filas de remaches.

- c) En barras constituidas por un angular simple o por 2 angulares conectados lomo a lomo y de un mismo lado de la chapa de nudo, el área efectiva a tomar para dichas barras será igual al área, neta o bruta según corresponda, del ala unida más la mitad del ala no unida.  
Si la barra está constituida por 2 angulares unidos cada uno a una chapa separadora, pero unidos entre sí por placas de refuerzo, se podrá tomar como área efectiva el total de la sección.

### 6.3 Condiciones de proyecto: barras simples

- a) El ancho de las alas libres de los angulares en compresión no excederá de 12 veces su espesor.
- b) El espesor de las chapas que constituyen el alma de piezas comprimidas, o sea, la parte unida a las chapas de nudo, no será menor de  $1/32$  de la distancia libre entre los acordamientos con las alas en el caso de perfiles laminados, o de la distancia entre las líneas de remaches más próximas. En el caso de las otras chapas que constituyan la barra, dicha fracción será de  $1/40$ .  
En uno y otro caso, si la tensión existente ( $\sigma$ ) es menor que la admisible ( $\sigma_{adm}$ ) dichas fracciones podrán ser multiplicadas por  $(\sigma/\sigma_{adm})^{1/2}$ .
- c) En las barras extendidas articuladas, el área neta de la sección transversal correspondiente al eje del perno excederá por lo menos en 40% al área neta del cuerpo de la barra, y el área neta existente más allá del orificio del perno situada según el eje longitudinal de la barra será por lo menos igual al área neta del cuerpo de la barra.  
Además, en el caso de barras remachadas o soldadas y articuladas, el ancho neto a través del orificio del perno, transversalmente al eje de la barra, no excederá de 8 veces el espesor correspondiente.
- d) Las barras de eje tendrán un espesor no menor de 20 mm ni menor de  $1/8$  del ancho, o mayor de 60 mm.  
El diámetro del perno no será menor que  $7/8$  del ancho de la barra más ancha que llega al nudo.
- e) En el remachado de simple acoplamiento para barras extendidas principales, la distancia entre remaches que unen chapas y perfiles tanto en dirección paralela al esfuerzo (paso) como en la dirección normal (gramil) no excederá de 8 diámetros ni de 30 cm. En barras compuestas por 2 angulares separados por el espesor de la chapa de nudo y mantenidas por arandelas o forros, estos podrán colocarse a una distancia no mayor de 1.20 m, pero nunca habrá menos de 2 intermedios.
- f) En el remachado de simple acoplamiento para barras comprimidas, el paso de los remaches que unen chapas y perfiles no excederá de 12 veces el espesor de la chapa o perfil exterior más delgado, ni de 16 veces el espesor de la chapa o perfil interior más delgado; el gramil no excederá de 24 veces el espesor de la chapa o perfil más delgado. En ningún caso el paso o el gramil excederán de 6 u 8 diámetros para barras principales o secundarias respectivamente; en el extremo de la barra el paso o el gramil no excederán de 4 diámetros en una distancia igual a  $1\frac{1}{2}$  veces el ancho máximo de la barra.  
En barras compuestas de 2 angulares como en el inciso anterior, la distancia no será mayor de 0.70 m, ni tal que la esbeltez de cada angular sea mayor de 40.
- g) Los empalmes de las barras sometidas a cargas axiales deberán ser proyectados para transmitir íntegramente los esfuerzos, salvo cuando las 2 partes de una barra comprimida sean enfrentadas para realizar un apoyo mutuo directo, en cuyo caso pueden ser calculados con el único objeto de mantener las 2 partes en su lugar, siempre que cualquier esfuerzo de flexión que pueda superponerse no sea capaz de anular las tensiones de compresión.

### 6.4 Condiciones de proyecto: barras compuestas

- a) El esfuerzo cortante normal al eje longitudinal de la barra, que se usará para el cálculo de bridas o celosías en barras comprimidas, estará dado por la suma del esfuerzo cortante provocado por las cargas principales y un porcentaje de la carga admisible de compresión en la barra, expresado por:  $100/(\lambda + 10) + \lambda/100$ . En barras extendidas se considerará solo el primero de dichos esfuerzos.

Se admitirá que el esfuerzo cortante se divide en partes iguales entre los diversos planos de enlace paralelos a la fuerza, ya sean llenos (alma) o discontinuos (brida o celosía).

- b) La inclinación  $\theta$  de las barras de celosía con respecto al eje de las barras será aproximadamente de  $60^\circ$  para celosía simple o  $45^\circ$  para celosía doble.

Cuando la distancia entre líneas de remachado o soldadura de 2 elementos adyacentes sea mayor de 40 cm se utilizará siempre celosía doble, remachada o soldada en la intersección si son palastros. El ancho de los palastros de celosía no será menor de 3 veces el diámetro de los remaches respectivos; cuando los cordones o elementos de la barra tengan más de 12 cm de ancho se colocarán al menos 2 remaches en cada extremidad.

- c) Todas las barras compuestas llevarán bridas en sus extremos y en lo posible dentro de los nudos. En piezas comprimidas, el ancho de dichas bridas según el eje de la barra no será menor que la distancia entre las líneas de remachado o soldadura que las unen a los elementos de barra y en piezas extendidas  $2/3$  de esta distancia. En bridas intermedias se podrán adoptar respectivamente  $1/2$  y  $1/3$  de dicha distancia.

## 7. PIEZAS FLEXADAS

### 7.1 Método de cálculo

- a) Las tensiones máximas de tracción ( $\sigma_t$ ) y de compresión ( $\sigma_c$ ) en secciones de piezas sometidas a flexión simple serán calculadas por el método del momento de inercia, usando las siguientes expresiones:

$$\sigma_c = (M/I_B)c' \quad \sigma_t = (M/I_B)c \quad (A/A_n)$$

siendo:

$I_B$ : momento de inercia bruto

$c, c'$ : distancia desde la línea neutra (por el centro de gravedad de la sección bruta) hasta la fibra más alejada, extendida y comprimida, respectivamente.

$A, A_n$ : áreas bruta y neta del cordón extendido, respectivamente.

La tensión máxima de compresión no podrá exceder del valor obtenido dividiendo la tensión admisible básica de compresión por el factor de pandeo en flexión  $\mu$ , dado por las expresiones indicadas a continuación:

$$\mu = 1 + \alpha/3000 \quad \text{para } \alpha < 750$$

$$\mu = \alpha/600 \quad \text{para } \alpha > 750$$

$\alpha = Ld/(bt)$  es la esbeltez lateral de la viga siendo:

$L$ : longitud lateralmente libre de la viga (en ménsulas tomar el doble de la luz).

$d$ : altura de la viga

$b$ : ancho del cordón comprimido

$t$ : espesor del cordón comprimido.

La esbeltez lateral  $\alpha$  no podrá exceder de 3000.

- b) En barras sometidas a flexión y compresión axial, la tensión admisible básica de compresión deberá ser superior o igual a la dada por la expresión:

$$\sigma = \omega P/A + \mu M/W$$

## 7.2 Elementos de refuerzo

- a) Si la relación ( $h'/t$ ) de la altura libre entre cordones ( $h'$ ) al espesor del alma ( $t$ ) es mayor que 60 se determinará el factor  $K = \tau (h'/(100t))^2$  siendo  $\tau$  el esfuerzo tangencial máximo, en Kg/cm<sup>2</sup>, en la región considerada.

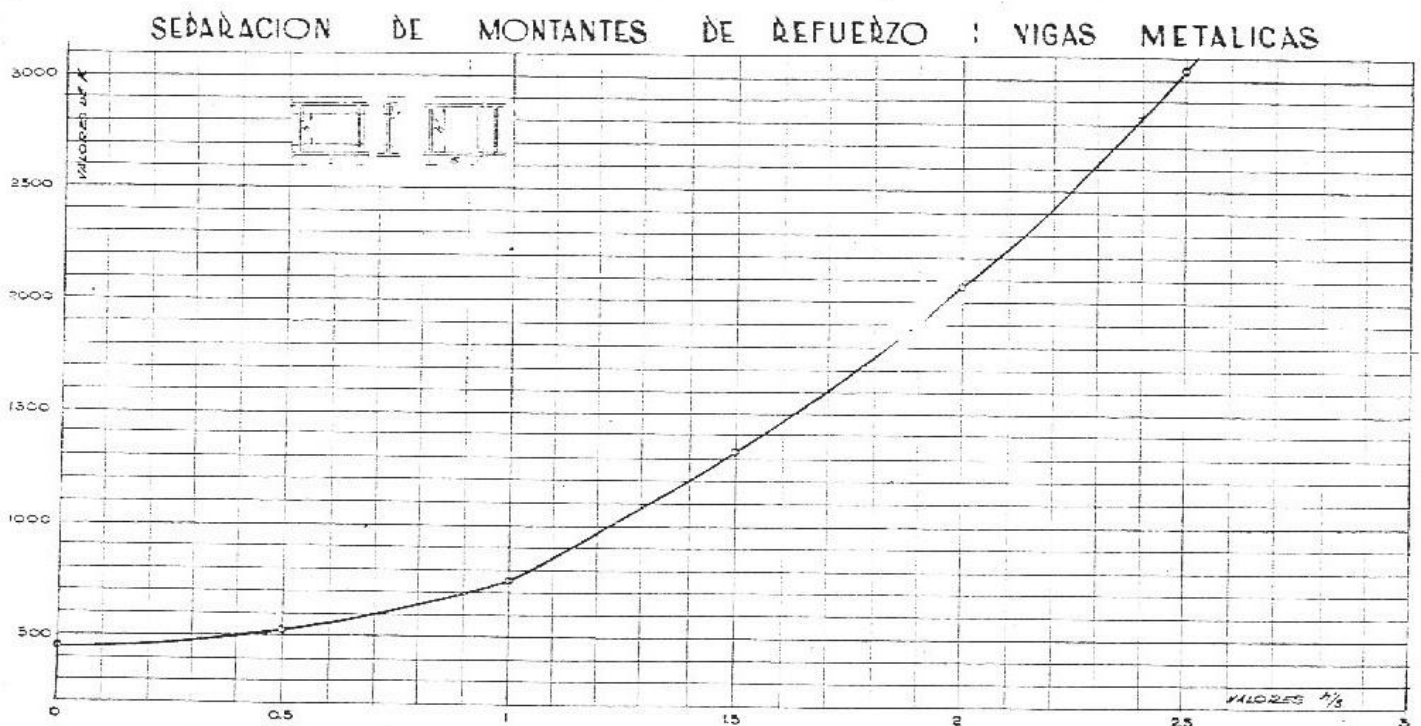
Cuando además  $K$  es mayor que 440, es necesario, a los efectos de la estabilidad del alma, colocar montantes de refuerzo separados una distancia ( $s$ ) medida a lo largo del eje de la viga, dada por las expresiones:

$$S = h' (300/(K - 440))^{1/2} \text{ para } k < 740$$

$$S = h' (440/(K - 300))^{1/2} \text{ para } k > 740$$

La relación  $h'/t$  no será mayor de 170

- b) En todos aquellos lugares en que lleguen cargas concentradas a una viga de alma llena a través de los cordones (apoyos, reacciones, etc.), se colocarán además montantes de repartición.
- c) Los montantes serán calculados como columnas de extremos fijos, pero podrá disminuirse en 0.25 el factor de pandeo en compresión. Para los montantes de refuerzo, se considerará como carga el esfuerzo cortante máximo que actúa en el panel.



## 7.3 Condiciones de proyecto

- a) Los montantes serán simétricos respecto al plano medio del alma, con contacto contra los cordones, no serán acodillados y se extenderán, normalmente al alma, tan cerca del cordón como sea posible. En caso de angulares, el lado normal al alma no será superior a 16 veces su espesor ni inferior a 5 cm más un trigésimo de la altura de la viga. Los montantes irán unidos al alma por soldadura o remachado de pase no mayor de 8 diámetros.
- b) Los empalmes de alma de las vigas compuestas se proyectarán para transmitir las tensiones totales de corte y flexión del alma en el lugar del empalme.



Los empalmes de cordón se proyectarán para desarrollar el esfuerzo total de los elementos cortados.

Los angulares se empalmarán con angulares y no se admitirán empalmes de elementos diferentes en la misma sección.

- c) El espesor de los elementos del cordón comprimido normales al alma no será menor de 1/12 del ancho libre respectivo; dicho ancho no será mayor de 15 cm. El área total de los palastros que integran un cordón no será mayor del 70% del área total del mismo y el espesor de aquellos no será mayor que el espesor de los angulares o perfiles que los unen al alma.

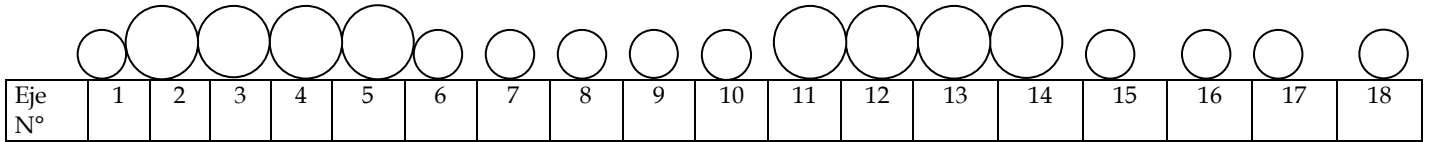
El remachado o soldadura de conexión de los cordones al alma deberá ser capaz de transmitir el cortante horizontal producido y además cualquier carga directamente aplicada al cordón.

TREN TIPO P = 1 TON				
Solicitaciones máximas en tramos simples				
Luz del tramo (m)	Esfuerzo Cortante		Momento Flector	
	Máximo Toneladas	Carga uniforme Equivalente Ton/m	Máximo Ton * m	Carga uniforme equivalente Ton/m
2	1.25	1.25	0.50	1.00
4	1.88	0.94	1.50	0.75
5	2.20	0.88	2.25	0.72
6	2.50	0.83	3.00	0.67
8	2.92	0.73	5.07	0.63
10	3.37	0.67	7.28	0.59
12	3.82	0.64	9.85	0.55
14	4.22	0.60	12.75	0.52
15	4.42	0.59	14.37	0.51
16	4.59	0.57	16.02	0.50
18	4.96	0.55	19.43	0.48
20	5.45	0.54	23.17	0.46
22	5.79	0.54	26.99	0.45
24	6.50	0.54	31.00	0.45
25	6.71	0.54	33.92	0.45
26	6.78	0.53	39.63	0.44
28	7.45	0.53	44.86	0.44
30	7.83	0.52	52.05	0.44
35	9.08	0.51	68.63	0.44
40	9.73	0.49	88.83	0.44
45	10.61	0.47	113.16	0.44
50	11.47	0.46	137.88	0.44
55	12.30	0.45	164.28	0.43
60	13.12	0.44	192.51	0.43

Plano A.F.E. N° C - 8039

Anexo Ib

A.F.E. PM - 3 - 54					TREN TIPO P = 1 TON													
Carga	1/2	1	1	1	1	2/3	2/3	2/3	2/3	1/2	1	1	1	1	2/3	2/3	2/3	2/3
Dist		2.40	1.50	1.50	1.50	2.70	1.50	1.50	1.50	2.40	2.40	1.50	1.50	1.50	2.70	1.50	1.50	1.50



ESFUERZOS PARCIALES EN TONELADAS																		
Eje N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0.50	1.50	2.50	3.50	4.50	5.17	5.83	6.50	7.17	7.67	8.67	9.67	10.67	11.67	12.34	13.00	13.67	14.33
2		1.00	2.00	3.00	4.00	4.67	5.33	6.00	6.67	7.17	8.17	9.17	10.17	11.17	11.84	12.50	13.17	13.83
3			1.00	2.00	3.00	3.67	4.33	5.00	5.67	6.17	7.17	8.17	9.17	10.17	10.84	11.50	12.17	12.83
4				1.00	2.00	2.67	3.33	4.00	4.67	5.17	6.17	7.17	8.17	9.17	9.84	10.50	11.17	11.83
5					1.00	1.67	2.33	3.00	3.67	4.17	5.17	6.17	7.17	8.17	8.84	9.50	10.17	10.83
6						0.67	1.33	2.00	2.67	3.17	4.17	5.17	6.17	7.17	7.84	8.50	9.17	9.83
7							0.67	1.33	2.00	2.50	3.50	4.50	5.50	6.50	7.17	7.83	8.50	9.16
8								0.67	1.33	1.83	2.83	3.83	4.83	5.83	6.50	7.16	7.83	8.50
9									0.67	1.17	2.17	3.17	4.17	5.17	5.84	6.50	7.17	7.83
10										0.50	1.50	2.50	3.50	4.50	5.17	5.83	6.50	7.17
11											1.00	2.00	3.00	4.00	4.67	5.33	6.00	6.67
12												1.00	2.00	3.00	3.67	4.33	5.00	5.67
13													1.00	2.00	2.67	3.33	4.00	4.67
14														1.00	1.67	2.33	3.00	3.67
15															0.67	1.33	2.00	2.67
16																0.67	1.33	2.00
17																	0.67	1.33
18																		0.67

MOMENTOS PARCIALES EN TONELADAS * METRO																		
Eje N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0.00	1.20	3.45	7.20	12.45	24.60	32.35	41.10	50.85	68.05	86.05	99.45	114.85	129.95	165.49	179.95	205.85	225.15
2		0.00	1.50	4.50	9.00	19.80	26.80	34.80	43.80	59.80	76.60	89.25	103.90	118.25	152.40	166.15	191.40	209.95
3			0.00	1.50	4.50	12.60	18.10	24.60	32.10	45.70	60.10	71.25	84.40	97.25	128.70	140.95	164.70	181.95
4				0.00	1.50	6.90	10.90	15.90	21.90	33.10	45.10	54.75	66.40	77.75	106.50	117.25	139.50	155.25
5					0.00	2.70	5.20	8.70	13.20	22.00	31.60	39.75	49.90	59.75	85.80	95.05	115.80	130.05
6						0.00	1.00	3.00	6.00	12.40	19.60	26.25	34.90	43.25	66.60	74.35	93.60	106.35
7							0.00	1.00	3.00	7.80	13.40	19.05	26.70	34.05	51.60	62.35	74.10	92.35
8								0.00	1.00	4.20	8.20	12.85	19.50	25.85	41.60	51.35	62.10	72.85
9									0.00	1.60	4.00	7.65	13.30	18.65	32.60	41.35	51.10	60.85
10										0.00	1.20	3.45	7.20	12.45	24.60	32.35	41.10	50.85
11											0.00	1.50	4.50	9.00	19.80	26.80	34.80	43.80
12												0.00	1.50	4.50	12.60	18.10	24.60	32.10
13													0.00	1.50	6.90	10.90	15.90	21.90
14														0.00	2.70	5.20	8.70	13.20
15															0.00	1.00	3.00	6.00
16																0.00	1.00	3.00
17																	0.00	1.00
18																		0.00