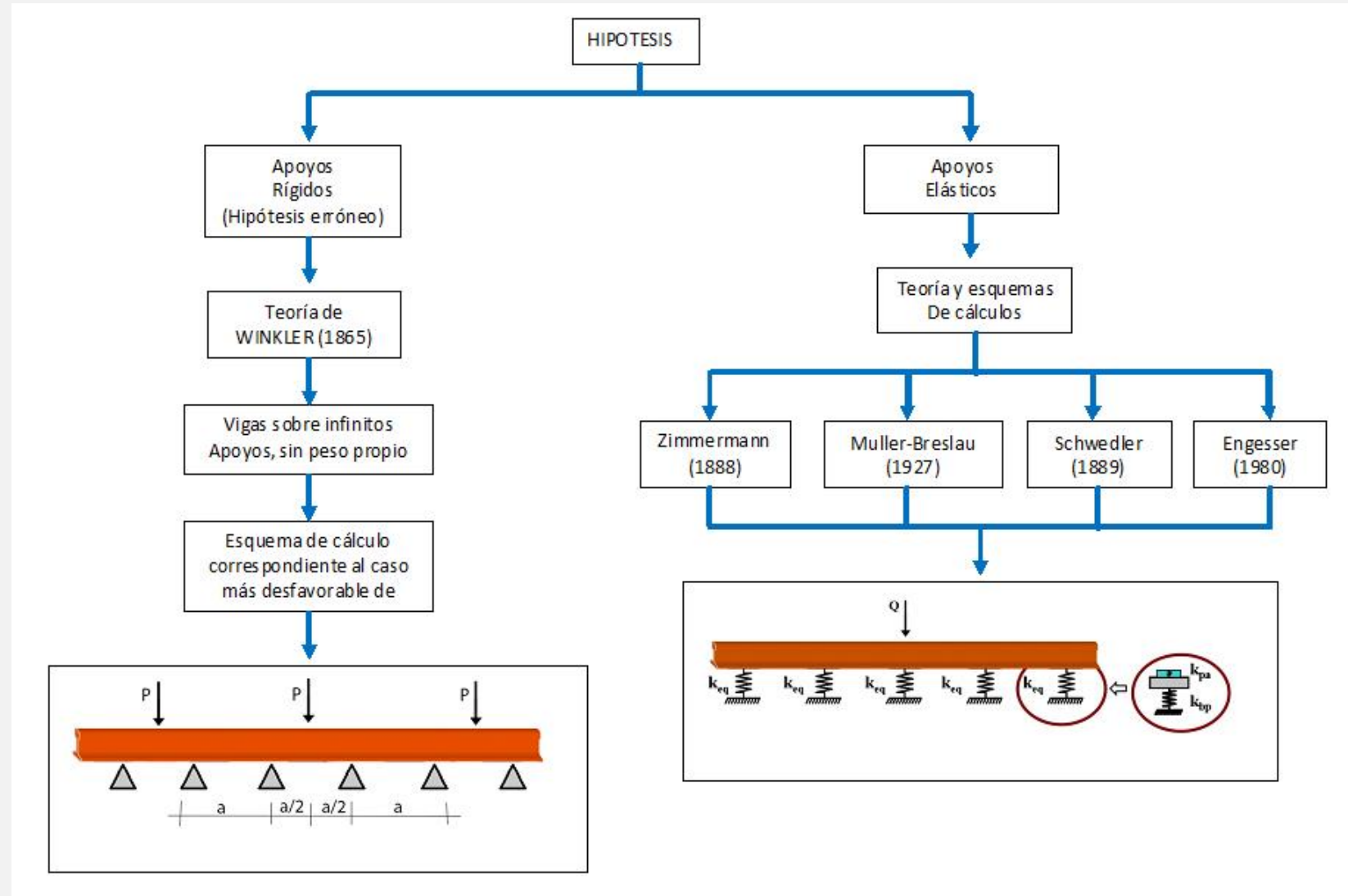


5.B-EVALUACIÓN DE ESFUERZOS

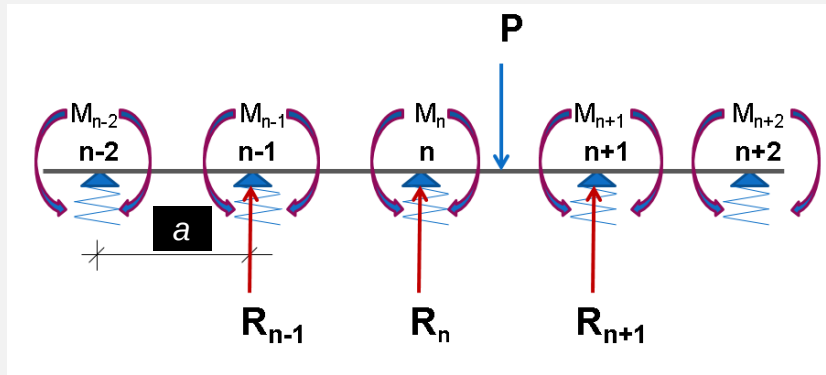
Verificación de superestructura de vía ante sollicitaciones dinámicas
verticales

MODELOS CLÁSICOS



$$M = 0,188 \times a \times P$$

HIPÓTESIS DE ZIMMERMANN-APOYO ELÁSTICO DISCRETO



M : Momento flector máximo en el carril

E : módulo de elasticidad del carril

I : momento de inercia del carril (eje horizontal)

γ : coeficiente de calado

a : distancia entre apoyos

D : carga puntual que aplicada simétricamente al durmiente, produce un asentamiento unitario (coef. de rigidez de vía).

$$M = \frac{1}{4} \times \frac{8\gamma + 4}{4\gamma + 10} \times a \times P$$

$$\gamma = \frac{1}{4} \times \frac{6EI}{a^3 - D}$$

$$\frac{1}{D} = \frac{1}{D_d} + \frac{1}{D_b}$$

Concepto básico
 c : coef. de balasto σ/γ
o de Winkler

$$D_d = 40.000 \text{ kg/cm}$$

$$D_b = k \cdot c \cdot b \cdot l (\text{kg/cm})$$

k : 0,6 a 0,95 Coef. de bateo (es función de la conservación de vía)

c : coef. de balasto σ/γ

b : ancho de durmiente

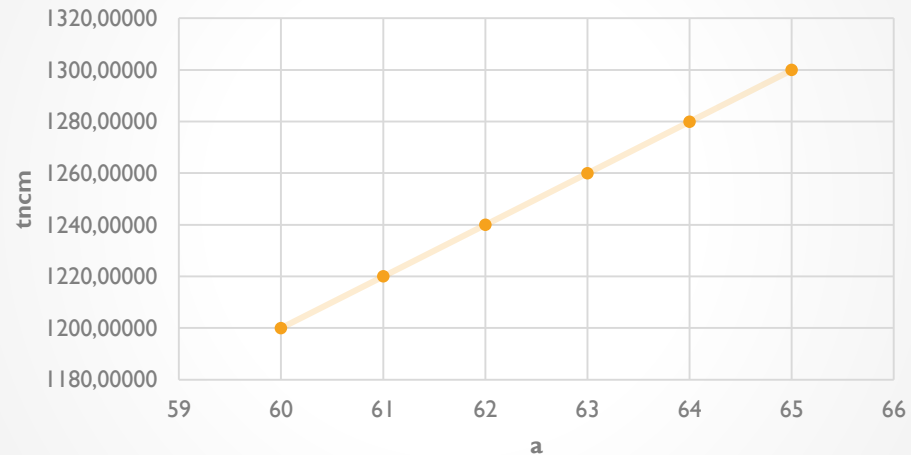
l : semilongitud de durmiente

FERROCARRILES

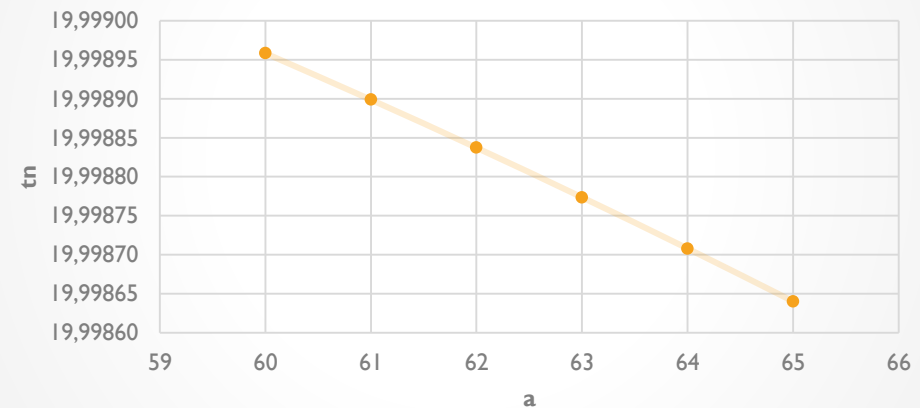
HIPÓTESIS DE ZIMMERMANN-APOYO ELÁSTICO DISCRETO

a	a^3-D	γ	$8\gamma+4 / 4\gamma+10$	M (tncm)	R(tn)
60	191754,23	38405,33	1,99990	1199,93751	19,99896
61	202735,23	36325,14	1,99989	1219,93283	19,99890
62	214082,23	34399,80	1,99988	1239,92791	19,99884
63	225801,23	32614,46	1,99988	1259,92274	19,99877
64	237898,23	30956,03	1,99987	1279,91731	19,99871
65	250379,23	29412,92	1,99986	1299,91161	19,99864

MOMENTO FLECTOR EN EL RIEL

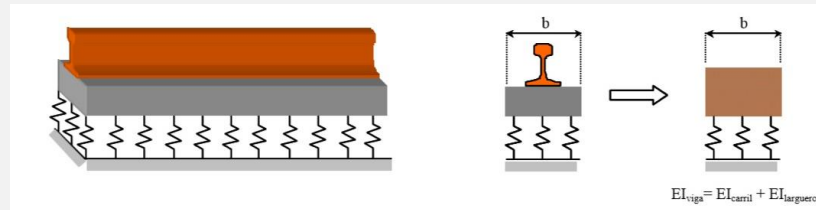


REACCIÓN DE APOYO EN EL DURMIENTE



MODELOS CLÁSICOS

HIPÓTESIS DE ZIMMERMANN-WINKLER-APOYO ELÁSTICO CONTINUO



-Utiliza un modelo de análisis carril-larguero
-Plantea la ecuación diferencial de equilibrio a flexión

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + p(x) = q(x)$$

Para caracterizar la resistencia vertical



Relación de proporcionalidad entre
asientos y presiones

$$p^*(x) = C \cdot y(x)$$

$$p(x) = b \cdot p^*(x) = b \cdot C \cdot y(x)$$

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + b \cdot C \cdot y(x) = q(x)$$

$$y(x) = \frac{Q}{2 \cdot b \cdot C} \cdot \frac{1}{L} \cdot e^{-\frac{x}{L}} \cdot \left[\cos \frac{x}{L} + \sen \frac{x}{L} \right]$$

Luego,

$$p(x) = b \cdot C \cdot y(x) = \text{Re}_{(x)=0,5} \cdot \sum_{i=1}^n \left\{ \left(\frac{P_i}{L_e} \right) \cdot e^{-\frac{|X-X_i|}{L_e}} \cdot \left[\cos \frac{|X-X_i|}{L_e} + \sen \frac{|X-X_i|}{L_e} \right] \right\}$$

$p(x)$: presión de contacto entre larguero y plataforma (N/mm)

$p^*(x)$: presión por unidad de superficie (N/mm²)

$y(x)$: flexión vertical en el punto x (mm)

$q(x)$: carga vertical ejercida por las ruedas (N/mm)

Q : carga aplicada en el punto $x=0$, N (N)

EI : rigidez a flexión en el sentido vertical del conjunto carril – larguero, (N/mm)

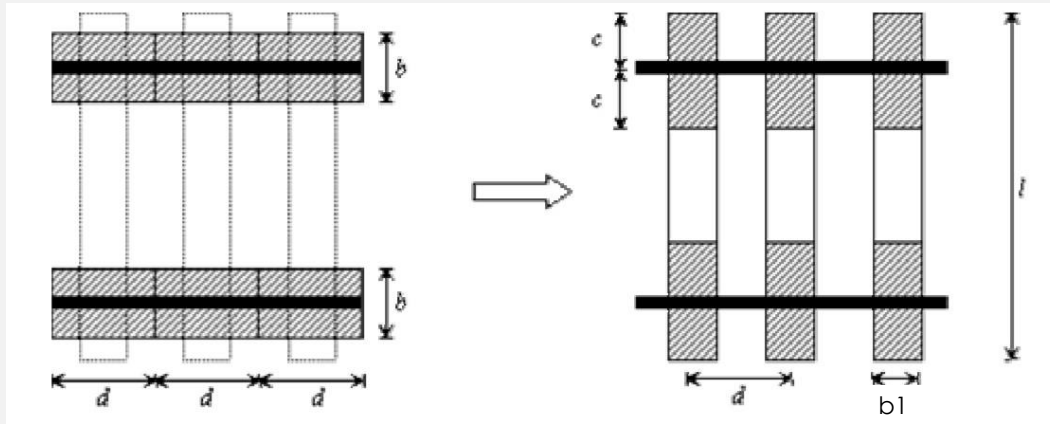
C : coeficiente de balasto, (o de Winkler) (N/mm³)

b : ancho del larguero (mm)

L : longitud elástica (mm), definida por: $L = \sqrt[4]{\frac{4EI}{CF}}$

MODELOS CLÁSICOS

TIMOSHENKO-SHALLER-HANKER



$$b \cdot d = F_1$$

$$F_1 = a \times b_1$$

$$a = 2 \times c$$

$$Re_{(x)} = 0,5 \cdot \sum_{i=1}^n \left\{ \left(\frac{P_i}{L_e} \right) \cdot e^{-\frac{|X-X_i|}{L_e}} \cdot \left[\cos \frac{|X-X_i|}{L_e} + \text{sen} \frac{|X-X_i|}{L_e} \right] \right\}$$

$$Me_{(x)} = 0,25 \cdot \sum_{i=1}^n \left\{ P_i \cdot L_e \cdot e^{-\frac{|X-X_i|}{L_e}} \cdot \left[\cos \frac{|X-X_i|}{L_e} - \text{sen} \frac{|X-X_i|}{L_e} \right] \right\}$$

MODELOS CLÁSICOS

HIPÓTESIS DE TIMOSHENKO-SHALLER-HANKER

Valores de referencia de C

TIPO DE PLATAFORMA	TIPO DE BALASTO	
	TIERRA	PIEDRA
TÚNELES	-	29,1 Kg. / cm ³
ROCOSO	5,4 Kg. / cm ³	14,55 Kg. / cm ³
RIPIOSO	4,2 Kg. / cm ³	13,55 Kg. / cm ³
ARCILLOSO	3,25 Kg. / cm ³	8 Kg. / cm ³
FRIABLE	2 Kg. / cm ³	5,5 Kg. / cm ³

MODELOS CLÁSICOS

TEORÍA DEL MÓDULO DE VÍA – TALBOT

En base a modelo de viga continua sobre apoyos elásticos de Winkler (1867) y Schwedler (1882) utiliza el parámetro de módulo de vía para caracterizar la rigidez de apoyo

$$p(x) = u \times y(x)$$

$p(x)$: fuerza de soporte por unidad de longitud de carril (N/mm)

$y(x)$: asiento vertical del carril (mm)

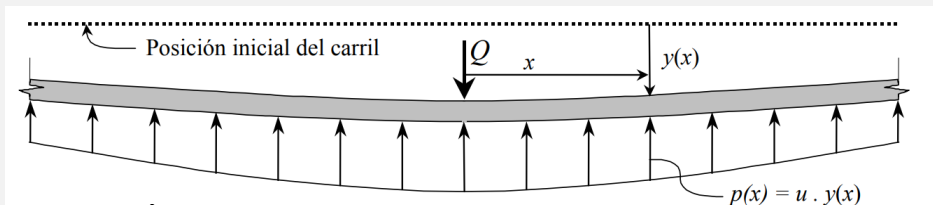
$q(x)$: carga vertical ejercida por las ruedas (N/mm)

u : Módulo de vía (N/mm²)



Carga lineal unitaria sobre el carril que provoca un asentamiento unitario
o

Reacción de apoyo del carril unitario por unidad de deflexión del mismo



$p(x)$: presión de contacto entre larguero y plataforma (N/mm)

$y(x)$: flexión vertical en el punto x (mm)

$q(x)$: carga vertical ejercida por las ruedas (N/mm)

Q : carga aplicada en el punto $x=0$, N (N)

EI : rigidez a flexión en el sentido vertical del conjunto carril – larguero, (N/mm)

L : longitud elástica (mm), definida por:

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot EI}{u}}$$

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + p(x) = q(x)$$



$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + u \cdot y = 0$$

$$y(x) = \frac{Q}{2 \cdot u} \cdot \frac{1}{L} \cdot e^{-\frac{x}{L}} \cdot \left[\cos \frac{x}{L} + \sin \frac{x}{L} \right]$$

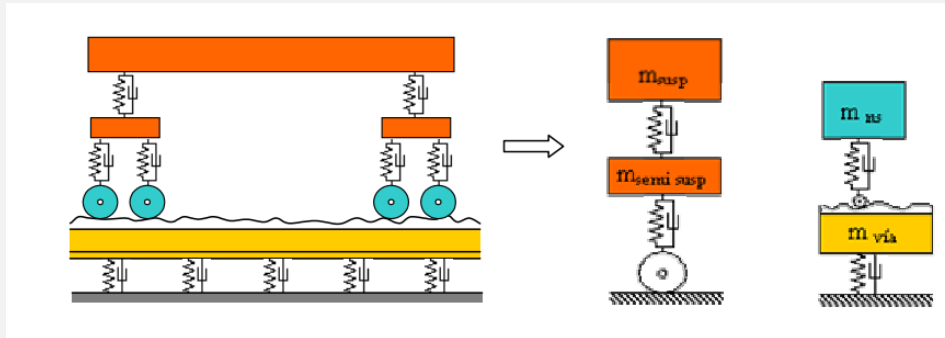
$$M(x) = \frac{Q}{4} \cdot L \cdot e^{-\frac{x}{L}} \cdot \left[\cos \frac{x}{L} - \sin \frac{x}{L} \right]$$

MODELOS CLÁSICOS**COEFICIENTE DE IMPACTO**

TIPO DE PLATAFORMA	TIPO DE BALASTO	
	TIERRA	PIEDRA
TÚNELES	-	29,1 Kg. / cm ³
ROCOSO	5,4 Kg. / cm ³	14,55 Kg. / cm ³
RIPIOSO	4,2 Kg. / cm ³	13,55 Kg. / cm ³
ARCILLOSO	3,25 Kg. / cm ³	8 Kg. / cm ³
FRIABLE	2 Kg. / cm ³	5,5 Kg. / cm ³

MODELOS CLÁSICOS

COEFICIENTE DE IMPACTO



Modelo estructural material
rodante – estructura de vía

Para tener en cuenta el efecto dinámico, se multiplican los esfuerzos estáticos por el coeficiente de impacto φ

$$\varphi = 1 + \frac{V(\frac{km}{h})}{400}$$

$$Md(x) = \varphi \cdot Me(x)$$

$$Rd(x) = \varphi \cdot Re(x)$$

BOLETÍN TÉCNICO – VO I-99

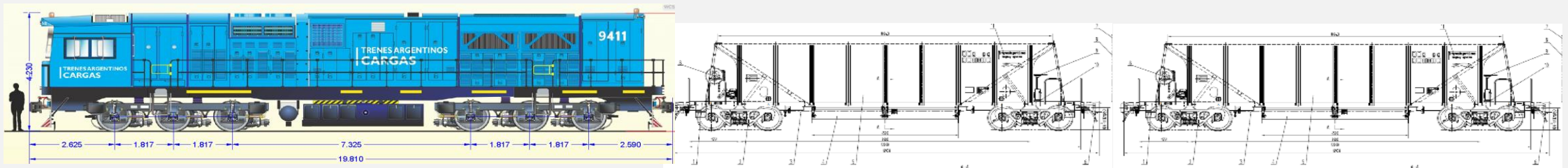
I- DETERMINACIÓN DE TREN DE CARGAS

Las cargas de cada eje se referirán a un origen de coordenadas, respecto del cual los ejes 1, 2, ...n tienen abscisas $x_1, x_2, \dots, x_n$

A- Modelar con las distintas formaciones que circulan en la línea

B- Cargas específicas indicadas por pliego o Norma Argentina de Puentes Ferroviarios

Tren Tipo 1-: Es el tren de carga mas pesado que circula por la línea en estudio

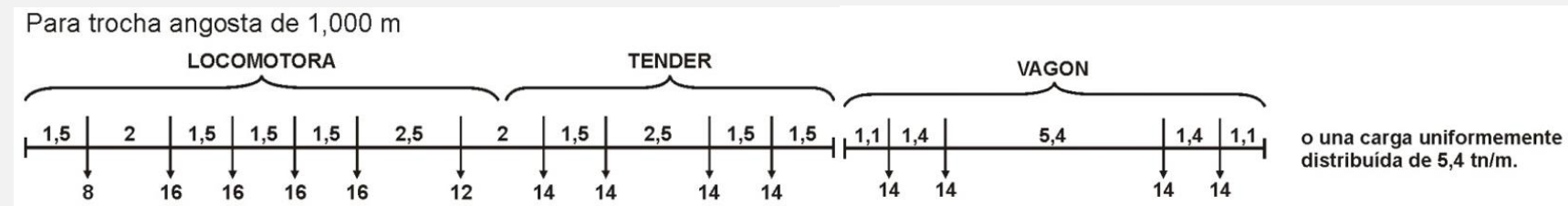
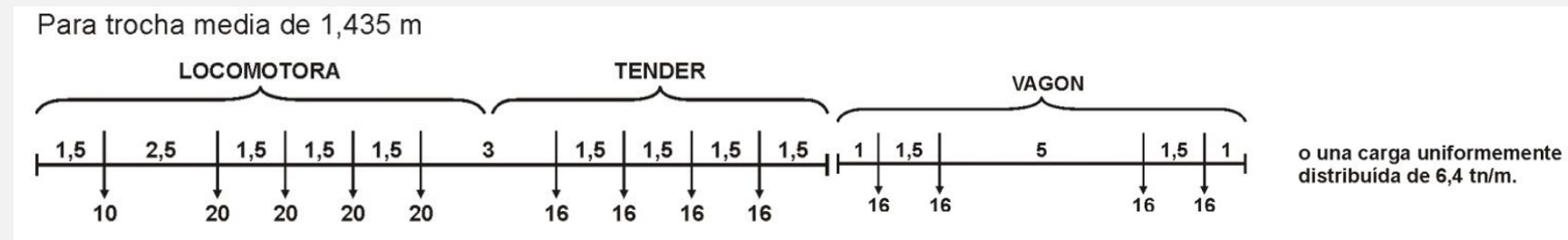
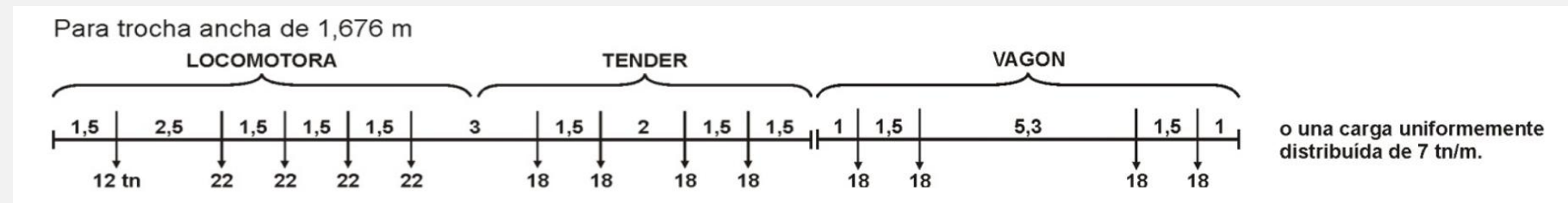


Locomotora: Carga por eje y distribución de acuerdo a fabricante

Carga por eje Vagón: 25tn/eje (trocha ancha y media), 22tn/eje trocha angosta, distribución según planos de fábrica

BOLETÍN TÉCNICO – VO I-99

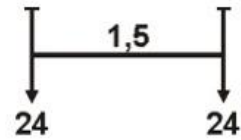
Tren Tipo 2:- Es el tren de carga que sugiere el Reglamento Argentino de Puentes Ferroviarios



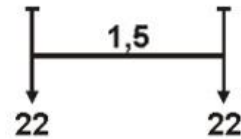
BOLETÍN TÉCNICO – VO I-99

Tren Tipo 3-: Es el boggie de carga que sugiere el Reglamento Argentino de Puentes Ferroviarios para el cálculo de pequeños tramos

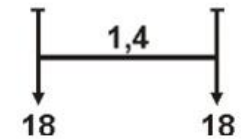
Para trocha ancha de 1,676 m



Para trocha media de 1,435 m



Para trocha angosta de 1,000 m



BOLETÍN TÉCNICO – VO I-99**2-CÁLCULO DE SOLICITACIONES DE SERVICIO**

En un punto de abscisa X cualquiera se determinan los valores estáticos sin impacto

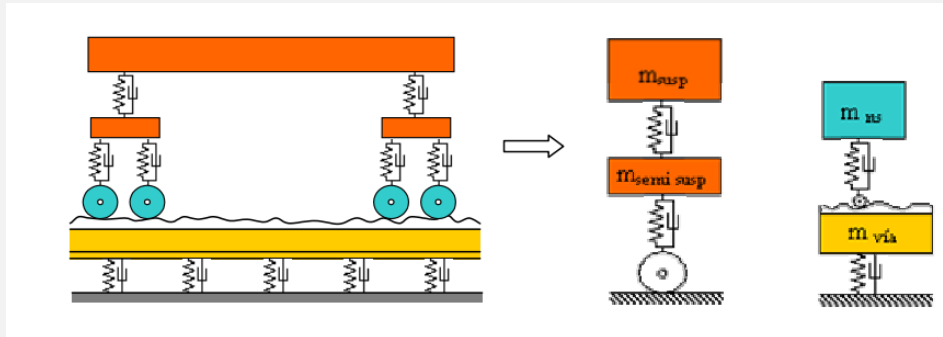
$$Re_{(x)} = 0,5 \cdot \sum_{i=1}^n \left\{ \left(\frac{P_i}{L_e} \right) \cdot e^{-\frac{|X-X_i|}{L_e}} \cdot \left[\cos \frac{|X-X_i|}{L_e} + \operatorname{sen} \frac{|X-X_i|}{L_e} \right] \right\}$$

$$Me_{(x)} = 0,25 \cdot \sum_{i=1}^n \left\{ P_i \cdot L_e \cdot e^{-\frac{|X-X_i|}{L_e}} \cdot \left[\cos \frac{|X-X_i|}{L_e} - \operatorname{sen} \frac{|X-X_i|}{L_e} \right] \right\}$$

Se modelan todos los estados de carga y se adoptan los esfuerzos mas desfavorables

BOLETÍN TÉCNICO – VO I-99

Simulación de efectos dinámicos.



Modelo estructural material
rodante – estructura de vía

Para tener en cuenta el efecto dinámico, se multiplican los esfuerzos estáticos por el coeficiente de impacto φ

$$\varphi = 1 + \frac{V \left(\frac{km}{h} \right)}{400}$$



$$Md(x) = \varphi \cdot Me(x)$$

$$Rd(x) = \varphi \cdot Re(x)$$

BOLETÍN TÉCNICO – VO I-99

3-VERIFICACIÓN DE ESFUERZOS EN DURMIENTE, BALASTO Y PLANO DE FORMACIÓN

La tensión máxima sobre la plataforma se obtiene como sigue:

$$Td_{max} = 2 \times Rd_{max} \times d$$

$$\sigma_t = \frac{Td_{max}}{b' \times 2a'}$$

Siendo b' el menor de los dos valores siguientes:

$$b' < d$$

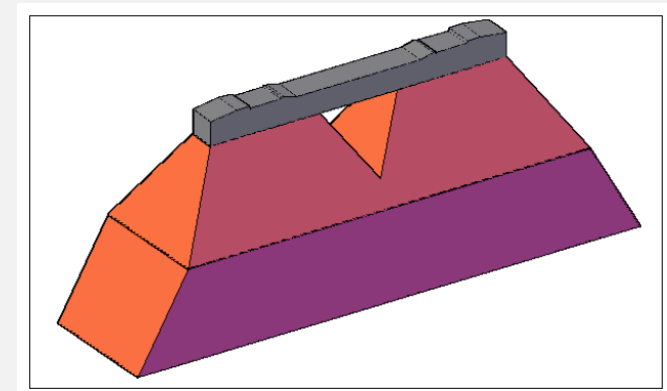
$$b' < b \times 2h \times tg30^\circ$$

Y siendo a' el menor de los dos valores siguientes:

$$2a' < 2(a + 2 \times h \times tg30^\circ) \quad 2a' < l + 2 \times h \times tg30^\circ$$

l : longitud de durmiente (2,6m / 2,4m / 2m para trocha ancha, media y angosta respectivamente)

h : espesor de balasto



BOLETÍN TÉCNICO – VO I-99**3-VERIFICACIÓN DE ESFUERZOS EN DURMIENTE, BALASTO Y PLANO DE FORMACIÓN**

El momento flexor admisible para el riel vale:

$$M_{adm} = \sigma_{r_{adm.}} \times W$$

Siendo $\sigma_{r_{adm.}}$ = tensión admisible del riel (se tomará 1,2 t/cm² para vías principales y secundarias y 1,5 t/cm² para desvíos particulares y vías de playa.

W= módulo resistente del riel (para rieles usados, se tomará como máximo el 90% del valor de riel nuevo

La carga admisible que un durmiente puede transmitir al balasto T_{adm} se calculará con la siguiente fórmula:

$$T_{adm} = 2 \times \sigma_{b_{adm}} \times b \times a$$

siendo:

$\sigma_{b_{adm}}$: tensión admisible del balasto (2,17kg/cm² para balasto de tierra y 2,785kg/cm² para balasto de piedra partida

b: ancho del durmiente (27cm D°H°A°)

a: longitud de apoyo efectiva de riel sobre durmiente= 95cm

BOLETÍN TÉCNICO – VO I-99

3-VERIFICACIÓN DE ESFUERZOS EN DURMIENTE, BALASTO Y PLANO DE FORMACIÓN

Tensiones admisibles de Plataforma de referencia:

ARCILLA BLANDA	0,3 Kg./cm ²
ARCILLA SEMIRRESISTENTE	0,4 Kg./cm ²
ARENA DE GRANULOMETRÍA UNIFORME	0,6 Kg./cm ²
GRAVA ARCILLOSA	1 Kg./cm ²

Verificaciones

Deberá verificarse simultáneamente las siguientes condiciones:

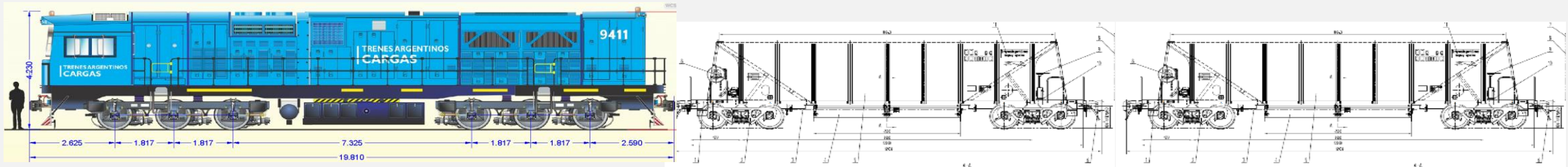
$$Md_{max} < M_{adm}$$

$$Td_{max} < T_{adm}$$

$$\sigma t_{max} < \sigma t_{adm}$$

BOLETÍN TÉCNICO – VO I-99

Tren Tipo 1-: Es el tren de carga mas pesado que circula por la línea en estudio



Carga por eje Locomotora: De acuerdo a fabricante

Carga por eje Vagón: 25tn/eje (trocha ancha y media), 22tn/eje trocha angosta

