

ANEXO III

DISEÑO DE LA SUBRASANTE

1. DISEÑO DE LA SUBRASANTE

La evaluación de las tensiones de trabajo sobre la subrasante se realizó mediante la aplicación del método de ZIMMERMAN-TALBOT.

1.1. CALCULO DE SOLICITACIONES DE TRABAJO POR EL METODO DE ZIMMERMAN-TALBOT

El diseño de la subrasante fue evaluada en base a lo estipulado en el BOLETÍN TÉCNICO VO N° 1-99 de la CNRT. Se transcriben a continuación los fundamentos de la metodología de cálculo, que se basa en las teorías de viga sobre apoyo elástico continuo, aplicada a la vía férrea (métodos de Zimmerman/Talbot)

1.1.1. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Las características generales e iniciales adoptadas para la determinación de las solicitaciones de trabajo de la subrasante y la estructura de la vía, son las siguientes:

1- Generalidades.

Para determinar la capacidad portante de la vía se deberán investigar las distintas formaciones en uso en la red o ramal considerado. El valor a adoptar será el más restrictivo. Para cada formación, las cargas se referirán a un origen de coordenadas, respecto del cual los ejes 1, 2, ..., n tienen las abscisas X_1, X_2, \dots, X_n .

2- Cálculo de solicitaciones de servicio.

2.a) En un punto de abscisa X cualquiera, se determinan los valores estáticos (sin impacto) del momento flexor en un riel: $Me(X)$, y de la reacción de la subrasante correspondiente a un riel: $Re(X)$, mediante las siguientes fórmulas:

$$Me(X) = 0,25 \cdot \sum_{i=1}^n \{ P_i \cdot Le \cdot e^{-|X - X_i|/Le} \cdot [\cos (|X - X_i| / Le) - \text{sen} (|X - X_i| / Le)] \}$$

$$Re(X) = 0,5 \cdot \sum_{i=1}^n \{ (P_i/Le) \cdot e^{-|X - X_i|/Le} \cdot [\cos (|X - X_i| / Le) + \text{sen} (|X - X_i| / Le)] \}$$

Si bien las funciones $Me(X)$ y $Re(X)$ pueden calcularse para todo valor de X, se considera, en general, suficiente investigar únicamente los puntos ubicados debajo de cada carga.

En las fórmulas precedentes, la nomenclatura empleada significa lo siguiente:

P_i = mitad de la carga del eje i (o sea, la carga por rueda).

X_i = abscisa del eje i (referida al origen de coordenadas elegido).

X = abscisa del punto donde se calculan $M_e(X)$ y $R_e(X)$.

$$L_e = (4 \cdot E \cdot J / u)^{0,25}$$

Dónde:

$E = 2100 \text{ t/cm}^2$ (módulo de elasticidad del riel)

J = momento de inercia del riel

$u = k \cdot b \cdot a / d$ (coeficiente de reacción lineal de la subrasante, también denominado módulo de elasticidad de la vía) siendo:

k = coeficiente de balasto.

b = ancho del durmiente = 24 cm.

a = la parte de la longitud del durmiente que efectivamente da apoyo a un riel = 95 cm.

d = separación entre ejes de durmientes.

Los coeficientes de balasto pueden tomarse de la siguiente tabla:

Coeficientes de balasto sugeridos en el Boletín Técnico VO N° 1-99		
PLATAFORMA	BALASTO de TIERRA	BALASTO de PIEDRA
TÚNEL	-	29,1 kg/cm ²
ROCOSA	5,4 kg/cm ²	14,55 kg/cm ²
RIPIOSA	4,2 kg/cm ²	13,55 kg/cm ²
ARCILLOSA	3,25 kg/cm ²	8 kg/cm ²
FRIABLE	2 kg/cm ²	5 kg/cm ²

2.b) Se calculan los valores dinámicos del momento flexor en un riel: $M_d(X)$, y de la reacción de la subrasante bajo un riel: $R_d(X)$, multiplicando los valores estáticos por el coeficiente de impacto φ .

$$M_d(X) = \varphi \cdot M_e(X)$$

$$R_d(X) = \varphi \cdot R_e(X)$$

Siendo:

$$\varphi = 1 + \frac{v}{400 \text{ Km/h.}}$$

donde v es la velocidad de circulación.

2.c) Se calcula la carga dinámica máxima sobre un durmiente: T_{dmax} , multiplicando la reacción dinámica máxima de la subrasante bajo un riel, por la separación entre ejes de durmientes y por dos (puesto que cada durmiente recibe la carga de dos rieles), o sea:

$$T_{dmax} = 2 \cdot R_{dmax} \cdot d.$$

2 d) Se calcula la tensión de trabajo de la plataforma σ_t dividiendo la carga dinámica máxima sobre un durmiente: T_{dmax} , por el área de plataforma en la cual se supone repartida la carga, asumiendo una expansión de la carga en el espesor de balasto según una pendiente de 30° , o sea:

$$\sigma_t = T_{dmax} / (b' \cdot 2 \cdot a')$$

siendo b' el menor de los dos valores siguientes:

$$b' \leq b + 2 \cdot h \cdot \text{tg } 30^\circ \quad ; \quad b' \leq d$$

y siendo $2 \cdot a'$ el menor de los dos valores siguientes:

$$2 \cdot a' \leq 2 \cdot (a + 2 \cdot h \cdot \text{tg } 30^\circ) \quad ; \quad 2 \cdot a' \leq l + 2 \cdot h \cdot \text{tg } 30^\circ$$

Con respecto a la notación empleada en las fórmulas precedentes debe tenerse presente que T_{dmax} ya fue definido en 2.c); mientras que a , b y d ya fueron definidos en 2.a), y

l = longitud de un durmiente (2,70 m. para trocha ancha)

h = espesor de balasto más sub-balasto.

3 - Cálculo de solicitaciones y tensiones admisibles.

3.a) El momento flexor admisible para un riel vale:

$$M_{adm} = \sigma_{r adm} \cdot W$$

Siendo:

$\sigma_{r adm}$ = tensión admisible del riel (que se toma $1,2 \text{ t/cm}^2$ para vías principales y secundarias y $1,5 \text{ t/cm}^2$ para desvíos particulares y vías de playa)

W = módulo resistente del riel

3.b) La carga admisible que un durmiente puede transmitir al balasto T_{adm} , se calcula con la siguiente fórmula:

$$T_{adm} = 2 \cdot \sigma_{b adm} \cdot b \cdot a$$

Siendo:

$\sigma_{b adm}$ = tensión admisible del balasto ($2,785 \text{ kg./cm}^2$ para balasto de piedra).

b = ancho del durmiente = 24 cm.

a = la parte de longitud del durmiente que efectivamente da apoyo a un riel = 95 cm.

3.c La tensión admisible del suelo mínima que se necesita para nuestro caso es de 0,7 kg./cm² para 20 t/eje, que deberá tener la nueva subrasante de las vías tiraderos V1 y V2 de la cabecera lado Bv. Oroño, los estudios geotécnicos que se realicen determinaran las mejoras que se deberán realizar para obtener una plataforma con la tensión admisible mínima requerida.

4- Verificaciones

Finalmente se verifica que:

$$M_{\text{máx}} \leq M_{\text{adm}} ; \quad T_{\text{d máx}} \leq T_{\text{adm}} ; \quad \sigma_t \leq \sigma_{\text{tadm}}$$

1.2. EVALUACION DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE LA SUBRASANTE - APLICANDO EL METODO DE ZIMMERMAN-TALBOT-

En función de los resultados obtenidos, los cuales se detallan en las siguientes planillas, las tensiones de trabajo sobre la plataforma para una carga de 20 toneladas por eje y velocidades de 30 Km/hs., resultan de 0,70 Kg/ cm².

En función a ello el contratista deberá efectuar los estudios geotécnicos correspondientes, y en su caso los movimientos de suelos necesarios para verificar que la tensión admisible de la plataforma en el nuevo sector a construir resulte igual o superior a 0,70 Kg/ cm².

CALCULO DE TENSION SOBRE LA SUBRASANTE

Cálculo de la capacidad portante de la vía según Boletín Técnico VO N° 1-99 de la CNRT

DATOS DEL TREN

Eje n°	Qi p/eje [t.]	Xi(abscisa) [m.]	Qi/Qmáx
1	20	0	1
2	20	1,5	1
3	20	3	1
4	20	10	1
5	20	11,5	1
6	20	13	1
7	0	0	
8	0	0	
9	0	0	
10	0	0	
11	0	0	
12	0	0	

$Q_{máx} = G = 20 \text{ t.}$

DATOS DE LA ESTRUCTURA DE VIA

RIEL U50 (SNCF)
ESTADO MEDIO DESGASTE
1611 durmientes por kilómetro
TROCHA ANCHA
BALASTO PIEDRA
Er= 2100000 kg/cm ² (módulo de elasticidad del riel)
Jr= 1812,42 cm ⁴ (momento de inercia de un riel)
Wr= 222,93 cm ³ (módulo resistente de un riel)
k= 8 kg/cm ³ (coeficiente de balasto)
b= 24 cm (ancho del durmiente)
a= 95 cm (longitud efectiva de durmiente que da apoyo a un riel)
h= 30 cm (espesor de balasto y subbalasto bajo durmientes)
l= 2,7 m (longitud del durmiente)
sb adm= 2,785 kg/cm ² (tensión admisible del balasto)
st adm= 0,7 kg/cm ² (tensión admisible de la plataforma)
sr adm= 1200 kg/cm ² (tensión admisible del riel)

SECTOR: NUEVO RAMAL - PESO POR EJE ADMISIBLE PARA NUEVO RAMAL - DISTINTAS VELOCIDADES

V [km/h]	P adm P/acero	G adm p/balasto	G adm p/plataforma	G adm[t]
5	31,8	27	22,7	22,7
10	31,4	26,7	22,4	22,4
15	31	26,4	22,1	22,1
20	30,7	26,1	21,9	21,9
25	30,3	25,8	21,6	21,6
30	29,9	25,5	21,3	21,3
35	29,6	25,2	21,1	21,1
40	29,3	24,9	20,9	20,9
45	28,9	24,6	20,6	20,6