

## ANEJO 6

# CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

**ÍNDICE**

1.	JUSTIFICACIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE APOYOS .....	3
1.1.	DATOS DE PARTIDA .....	3
1.2.	DISTANCIA MÁXIMA ENTRE APOYOS .....	3
2.	JUSTIFICACIÓN DE LA UBICACIÓN DE LAS BRIDAS DE UNIÓN ENTRE BARRAS .....	7
2.1.	DATOS DE PARTIDA .....	7
2.2.	UBICACIÓN DE BRIDAS DE UNIÓN ENTRE BARRAS EN UN VANO DE CATENARIA RÍGIDA	7
3.	CÁLCULOS CIRCUITOS DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA A SECCIONADORES DE CATENARIA .	8

## 1. JUSTIFICACIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE APOYOS

En este apartado se justifica la distancia máxima entre los apoyos sobre los que se sustenta la catenaria rígida, de tal manera que se asegure en todo momento y en cualquiera de las condiciones de servicio la continuidad de contacto entre el pantógrafo y el hilo de contacto.

### 1.1. DATOS DE PARTIDA

- Peso lineal PAC 110: 5,94 kg/m
- Peso lineal hilo de contacto: 1,3464 kg/m
- E (Módulo de elasticidad PAC 110): 69.000 N/mm<sup>2</sup>
- Ixx (Momento cuadrático del PAC 110): 338,6 cm<sup>4</sup>
- Longitudes de vano consideradas: 6, 8, 10 y 12 metros.

### 1.2. DISTANCIA MÁXIMA ENTRE APOYOS

La catenaria rígida está suspendida a intervalos regulares. Por su propio peso, el perfil de aluminio no presenta una traza rectilínea, sino sinusoidal. La amplitud de la senoide es  $f/2$ , siendo  $f$  la flecha en el punto medio del vano. La distancia entre soportes se denominará  $L$ .

La ordenada de un punto, sobre el hilo de contacto es, considerada la catenaria como senoide, función de su abscisa y puede inscribirse tal como sigue:

$$y = (f / 2) \text{ sen } (2\pi x / L)$$

El pantógrafo está sometido a dos fuerzas verticales:

- La fuerza de presión de contacto  $F$ , vertical hacia arriba.
- La reacción del hilo de contacto  $R$ , vertical hacia abajo.

Por lo que aplicando la ecuación fundamental de la dinámica de los sólidos:

$$m A_y = F - R$$

Siendo:

- $m$ : masa equivalente del pantógrafo en kilogramos.
- $A_y$ : aceleración del pantógrafo siguiendo el eje de ordenadas.
- $A_y$  es la derivada segunda de  $y$  con respecto al tiempo. Es posible expresar  $A_y$  en función de  $d^2y/dt^2$  tal como sigue:

$$A_y = d^2y/dt^2$$

$$A_y = d (dy / dt) / dt$$

$$A_y = d [(dy / dx) (dx / dt)] / dt$$

Considerando que el pantógrafo avanza a una velocidad constante,  $dx / dt = V$

( $V$ : Velocidad del tren).

Es decir, que:

$$Ay = d [V (dy / dx)] / dt$$

$$Ay = V (d(dy / dx) / dx) (dx / dt)$$

$$Ay = V^2 d^2y / dx^2$$

Para tener una buena captación de corriente a lo largo del recorrido, es necesario que el pantógrafo esté constantemente en contacto con el hilo; esto es, que R no quede anulada en ningún momento.

Esto se cumplirá bajo la siguiente condición:

$$R > 0$$

$$F - m V^2 (d^2y/dx^2) > 0$$

$$m V^2 (d^2y/dx^2) < F$$

Siendo:

$$y = (f / 2) \text{sen} (2\pi x / L)$$

$$dy / dx = (f / 2) (2\pi / L) \cos (2\pi x / L)$$

$$d^2y / dx^2 = - (f / 2) (2\pi / L)^2 \text{sen} (2\pi x / L)$$

La condición de buen contacto se define pues:

$$m V^2 (f / 2) (2\pi / L)^2 \text{sen} (2\pi x / L) < F$$

Esta condición se cumple para todo valor de x si:

$$m V^2 (f / 2) (2\pi / L)^2 < F$$

Siendo f la flecha de la catenaria en el centro del vano.

$$f = \rho L^4 / (384 E I).$$

Siendo:

- $\rho$  = peso de la catenaria por unidad de longitud (N/m)
- L = distancia entre soportes (m)
- E = módulo de elasticidad (N/m)
- I = momento cuadrático (m<sup>4</sup>)

Por lo tanto, la condición de buen contacto puede definirse:

$$m V^2 \rho L^4 (2\pi / L)^2 / (768 E I) < F$$

$$L^2 < 768 F E I / (4\pi^2 \rho V^2 m)$$

Por tanto, la distancia entre apoyos L deberá ser inferior a una cantidad que depende de la velocidad del material móvil (V), la fuerza del resorte del pantógrafo sobre el hilo de contacto y la masa de la mesilla del pantógrafo.

Siendo K:

$$K = 768 F E I / (4 \pi^2 \rho m) = 192 F E I / (\pi^2 \rho m)$$

$$L^2 < K / (V^2)$$

$$LV < \sqrt{K}$$

Se constata que el producto LV debe ser constantemente inferior a una constante que depende de las características mecánicas del pantógrafo y de la catenaria.

Esta Ley permite definir la distancia entre soportes en función de la velocidad de circulación.

Las instalaciones existentes en otros medios de transporte ferroviario muestran que, para velocidades del orden de 70 Km/h, una distancia entre soportes de 12 metros permite tener buenas condiciones de captación de corriente.

El producto VL es, en este caso, 840.

Por extrapolación, esta constante permite definir L en función de V:

V (km/)	VL	L (m)
60	840	14,00
70	840	12,00
80	840	10,50
90	840	9,33
100	840	8,40
110	840	7,64
120	840	7,00
130	840	6,46
140	840	6,00

Para simplificar el montaje de la catenaria, el valor de L es llevado a valores enteros quedando como sigue:

V (km/)	L (m)
60	12,00
70	12,00
80	10,00
90	10,00
100	8,00
110	8,00
120	6,00
130	6,00
140	6,00

Para una velocidad de 90 km/h la distancia entre apoyos será de 10 metros como máximo.

Para cumplir la condición de no despegue del pantógrafo, éste deberá cumplir el siguiente requisito:

$$\sqrt{K} > 840$$

$$\sqrt{768 F E I / (4 \pi^2 \rho m)} > 840$$

$$768 F E I / (4 \pi^2 \rho m) > 705.600$$

$$F / m > 1,13$$

A lo largo de todo el tramo de catenaria rígida se montarán barras PAC de 10 metros de longitud máxima, de tal manera que se asegura para todo el rango de velocidades de operación el contacto entre pantógrafo y catenaria.

## 2. JUSTIFICACIÓN DE LA UBICACIÓN DE LAS BRIDAS DE UNIÓN ENTRE BARRAS

### 2.1. DATOS DE PARTIDA

En los sistemas de catenaria rígida, la unión de dos barras consecutivas se realiza mediante bridas de unión, es deseable que el peso del embridado no ayude a aumentar la flecha. La ubicación óptima de las bridas de conexión entre barras es el punto en el cual los momentos flectores se anulan.

### 2.2. UBICACIÓN DE BRIDAS DE UNIÓN ENTRE BARRAS EN UN VANO DE CATENARIA RÍGIDA

Considerando la catenaria como una viga continua, la ley que rige los momentos flectores a lo largo de la misma es:

$$M(x) = -(q/2)x^2 + (q a/2)x - (q a^2/12)$$

Donde,

M = momento flector.

q = masa por unidad de longitud.

a = distancia entre dos apoyos consecutivos.

La distancia que minimice la flecha vendrá determinada por aquellos valores de x que anulen los momentos, es decir:

$$M(x) = 0$$

$$d = 0,21132 a$$

Por lo tanto, las posiciones más adecuadas para la colocación de las uniones entre barras son las que se muestran a continuación:

Distancia entre apoyos	Distancia unión - apoyo
6	1,27
8	1,69
10	2,11
12	2,54

### 3. CÁLCULOS CIRCUITOS DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA A SECCIONADORES DE CATENARIA

A continuación, se calculan las secciones y necesidades de protección de los cableados de alimentación eléctrica de los seccionadores de catenaria.

#### Estación de Bentaberri

Se ha considerado:

- Una potencia máxima por seccionador de 200 W.
- Una distancia máxima de 12 metros de cableado de alimentación de seccionadores desde el cuadro correspondiente.

Considerando conductores de cobre con aislamiento RZ1-K, se considera una sección de alimentación 2x2,5 mm<sup>2</sup> para los ruptores de catenaria y de 4x2 mm<sup>2</sup> para la acometida procedente de la SAI.

Circuito	Potencia nominal (kW)	Longitud (m)	Tipo de corriente	Tipo de conductor	Sección adoptada (mm <sup>2</sup> )	Sección Propuesta (mm <sup>2</sup> )	Intensidad max. adm. Iz (A)	Intensidad nominal (A)	Caída de tensión (%)	Protección mag-ter (A)
C01	0,2	12	Monofásica	Varios cables	2,5	0,5	17	1,14	0,07	10
C02	0,2	12	Monofásica	Varios cables	2,5	0,5	17	1,14	0,07	10
C03	0,2	12	Monofásica	Varios cables	2,5	0,5	17	1,14	0,07	10
C04	0,2	12	Monofásica	Varios cables	2,5	0,5	17	1,14	0,07	10
C05	0,2	12	Monofásica	Varios cables	2,5	0,5	17	1,14	0,07	10
Acometida	1	30	Monofásica	Varios cables	4	0,75	23	5,68	0,55	16

El Interruptor magnetotérmico del cuadro de distribución en Baja Tensión de la SAI destinado a la protección del Cuadro de control de ruptores en la estación de Bentaberri deberá ser de 20 A.

#### Estación de Concha

Se ha considerado:

- Una potencia máxima por seccionador de 200 W.
- Una distancia máxima de 12 metros de cableado de alimentación de ruptores desde el cuadro correspondiente.

Considerando conductores de cobre con aislamiento RZ1-K, se considera una sección de alimentación 2x2,5 mm<sup>2</sup> para los ruptores de catenaria y de 4x2 mm<sup>2</sup> para la acometida procedente de la SAI.

Circuito	Potencia nominal (kW)	Longitud (m)	Tipo de corriente	Tipo de conductor	Sección adoptada (mm <sup>2</sup> )	Sección Propuesta (mm <sup>2</sup> )	Intensidad max. adm. Iz (A)	Intensidad nominal (A)	Caída de tensión (%)	Protección mag-ter (A)
C01	0,2	12	Monofásica	Varios cables	2,5	0,5	17	1,14	0,07	10
C02	0,2	12	Monofásica	Varios cables	2,5	0,5	17	1,14	0,07	10
C03	0,2	12	Monofásica	Varios cables	2,5	0,5	17	1,14	0,07	10
C04	0,2	12	Monofásica	Varios cables	2,5	0,5	17	1,14	0,07	10
Acometida	1	30	Monofásica	Varios cables	4	0,75	23	5,68	0,55	16

---

El Interruptor magnetotérmico del cuadro de distribución en Baja Tensión de la SAI destinado a la protección del Cuadro de control de ruptores en la estación de Concha deberá ser de 20 A.