

Proyecto de electrificación del
tramo Altza - Galtzaraborda.

**ANEJO N°6. CÁLCULOS
JUSTIFICATIVOS DE LA
CATENARIA**

ÍNDICE

| | |
|---|----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. JUSTIFICACIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE APOYOS..... | 2 |
| 2.1 Datos de partida | 2 |
| 2.2 Distancia máxima entre apoyos..... | 2 |
| 3. JUSTIFICACIÓN DE LA UBICACIÓN DE LAS BRIDAS DE UNIÓN ENTRE BARRAS | 5 |
| 3.1 Datos de partida | 5 |
| 3.2 Ubicación de bridas de unión entre barras en un vano de catenaria rígida | 5 |
| 4. CÁLCULOS DE GÁLIBO EN PASOS SUPERIORES | 6 |
| 4.1 Nuevo Paso Superior estación de Galtzaraborda | 6 |
| 5. CÁLCULOS CIRCUITOS DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA A SECCIONADORES DE CATENARIA | 8 |

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se realiza estudios para:

- Justificación de 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 propias de la línea, la continuidad entre el pantógrafo y el hilo de contacto.
- Justificación de la ubicación del punto de unión mediante bridas entre dos barras consecutivas en un vano de catenaria.
- Justificación de la selección de los circuitos de alimentación eléctrica a los motores y elementos de control de seccionadores de catenaria.

2. JUSTIFICACIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE APOYOS

2.1 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): 6,86 N/m²
- Ixx (Momento cuadrático del PAC 110): 338*10⁴ N/mm⁴
- Longitudes de vano consideradas: 6, 8, 10 y 12 metros.

2.2 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:

$$y = (f / 2) \sin (2\pi x / L)$$

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 / dx^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:

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

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

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

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:

$$y = (f / 2) \sin (2\pi x / L)$$

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

$$d^2y / dx^2 = - (f / 2) (2\pi / L)^2 \sin (2\pi x / L)$$

La condición de buen contacto se define pues:

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

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.

$$f = pL^4 / (384 E I).$$

con:

- p = peso de la catenaria por unidad de longitud (N/m)
- L = distancia entre soportes (m)
- E = módulo de elasticidad (N/m²)
- I = momento cuadrático (m⁴)

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

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

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

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

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

$$L^2 V^2 < K$$

$$LV < \sqrt{K}$$

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 m 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/H) | VL | L (M) |
|----------|-----|-------|
| 60 | 840 | 14,00 |
| 70 | 840 | 12,00 |
| 80 | 840 | 10,50 |

| V (KM/H) | VL | L (M) |
|----------|-----|-------|
| 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./H.) | L (M) |
|------------|-------|
| 60 | 12 |
| 70 | 12 |
| 80 | 10 |
| 90 | 10 |
| 100 | 8 |
| 110 | 8 |
| 120 | 6 |
| 130 | 6 |
| 140 | 6 |

En el presente proyecto se montarán barras PAC de 10 m de longitud máxima.

3. JUSTIFICACIÓN DE LA UBICACIÓN DE LAS BRIDAS DE UNIÓN ENTRE BARRAS

3.1 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 embreado 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.

3.2 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 = carga por unidad de longitud.

a = distancia entre dos apoyos consecutivos.

La distancia "d" vendrá determinada por aquellos valores de x que anulen los momentos, es decir:

$$M(x) = 0$$

$$d = 0,211 a$$

Por lo tanto, las posiciones más adecuadas para la ubicación de las uniones entre barras son las que se muestran en la tabla siguiente:

| DISTANCIA ENTRE APOYOS | DISTANCIA ENTRE LAS UNIONES Y LOS APOYOS |
|------------------------|--|
| 6 m | 1,27 m |
| 8 m | 1,69 m |
| 10 m | 2,11 m |
| 12 m | 2,53 m |

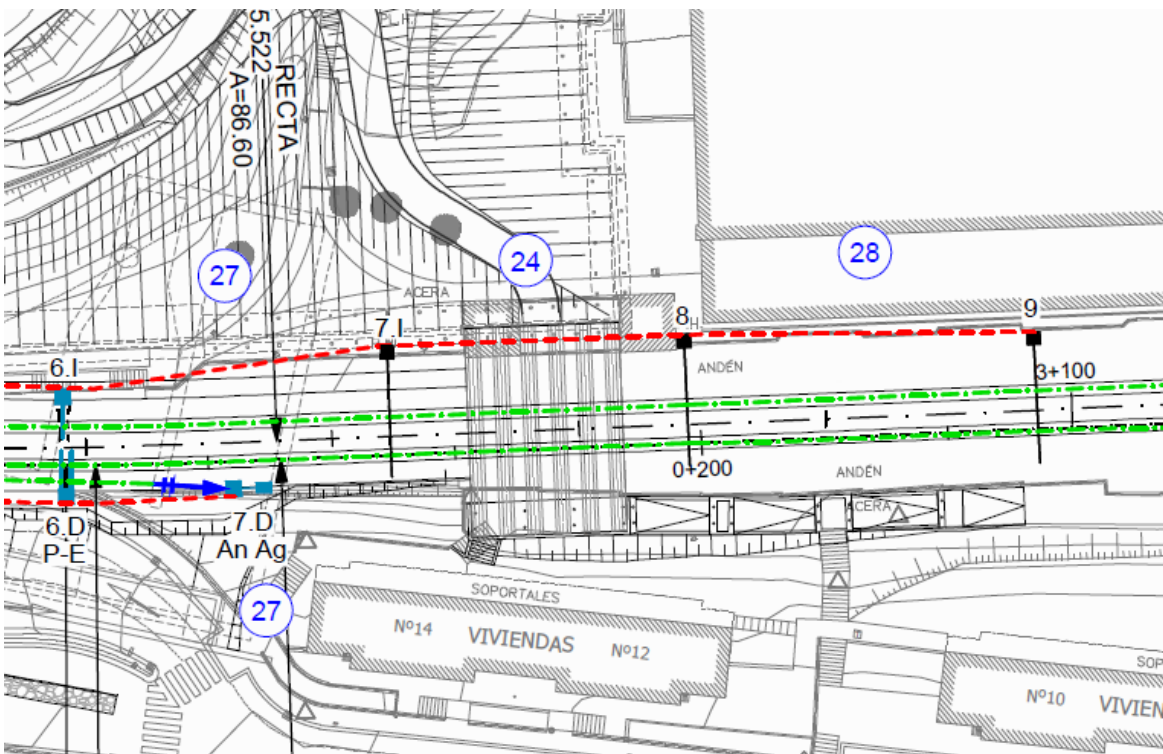
4. CÁLCULOS DE GÁLIBO EN PASOS SUPERIORES

En casos excepcionales, la geometría de la catenaria debe adaptarse al estado de la infraestructura.

En particular, dentro del trazado objeto del presente proyecto, se analizará el caso del nuevo paso superior en el PK 3+057.

4.1 Nuevo Paso Superior estación de Galtzaraborda

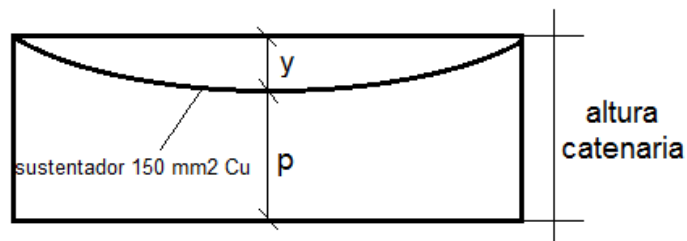
Replanteo en planta:



La altura disponible en el caso más desfavorable es de 6,25 m sobre cabeza de carril.

El centro del paso superior se encuentra en el centro del vano, siendo éste de 24m. La anchura del paso es de 12,5m.

La flecha en el centro del vano, y , será:



$$y = x^2 * p / 2 * T$$

donde,

- y: flecha
- x: semi-vano = 24/2 m = 12 m
- p: peso del sustentador 150mm² Cu = 1,344 kg/m = 13,18
- T: tense = 13970 N

$$y = 12^2 * 13,18 / 2 * 13970 = 0,068 \text{ m}$$

La altura libre mínima necesaria será la altura calculada en el centro del vano a la que se añade la altura que toma el sustentador con respecto a la péndola mínima en el punto más desfavorable, que en este caso corresponde al borde del PS, y la distancia de aislamiento.

A continuación se realiza la comprobación para alturas del sistema de 1,4 y 0,853 m:

- Altura del sistema 1,4 m:

La péndola mínima, para el vano de estudio resulta ser:

$$p = 1,40 - 0,068 = 1,332 \text{ m}$$

La anchura del PS es de 12,50 m, por lo tanto, la flecha en el borde del PS será:

$$y_{PS} = y_{péndola \text{ mínima}} - (12,50/2)^2 * 13,18 / 2 * 13970 = 0,050 \text{ m}$$

La altura mínima libre necesaria, para la solución con una altura del hilo de contacto de 4,89 m (se toma este valor de referencia la altura existente en el poste 7) será:

Altura mínima libre necesaria = altura hilo de contacto (HHC) + altura del sistema (Hsis) + y + distancia de aislamiento (0,150 m) =

Altura mínima libre necesaria = 4,89 + 1,40 - 0,050 + 0,150 = 6,39 m, valor superior a los 6,25 m disponibles en el punto más restrictivo del PS.

- Altura del sistema 0,853 m:

La péndola mínima, para el vano de estudio resulta ser:

$$p = 0,853 - 0,068 = 0,785 \text{ m}$$

La anchura del PS es de 12,50 m, por lo tanto, la flecha en el borde del PS será:

$$y_{PS} = y_{péndola \text{ mínima}} - (12,50/2)^2 * 13,18 / 2 * 13970 = 0,055 \text{ m}$$

La altura mínima libre necesaria, para la solución con una altura del hilo de contacto de 4,89 m (se toma este valor de referencia la altura existente en el poste 7) será:

Altura libre mínima = 4,89 + 0,853 - 0,055 + 0,150 = 5,83 m, valor inferior a los 6,25 m disponibles en el punto más restrictivo del PS.

Análisis de los resultados

Una vez obtenidos los resultados se observa que existen dos opciones para cumplir con la distancia de aislamiento requerida en el borde del Paso Superior. Por un lado se podría reducir la altura del sistema actual de 1,4 m a 0,853 m, y por el otro, podría reducirse la altura del hilo de contacto ya que actualmente se encuentra por encima del valor nominal.

Se comprueba que para una altura del hilo de contacto nominal, 4,7 m:

Altura mínima libre necesaria = 4,7 + 1,4 - 0,050 + 0,150 = 6,20 m, valor inferior a los 6,25 m disponibles en el punto más restrictivo del PS.

Por lo tanto, se propone reducir la altura del hilo de contacto, debiendo cumplirse en todo momento la pendiente máxima admisible establecida según requisitos de ETS.

5. 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 Altza

| Circuito | Potencia nominal | Longitud | Tipo | Sección | Intensidad máxima admisible | Intensidad nominal | Caída de tensión | Protección magnet. |
|----------|------------------|----------|--------|--------------------|-----------------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| | (W) | (m) | | (mm ²) | (A) | (A) | (%) | (A) |
| C03 | 200 | 12 | Monof. | 1,5 | 18 | 1,09 | 0,07 | 10 |
| C04 | 200 | 12 | Monof. | 1,5 | 18 | 1,09 | 0,07 | 10 |

Considerando conductores de cobre con aislamiento RC4Z1-K, y por homogeneidad con la instalación existente, se considera una sección de alimentación de 2x10 mm².

Estación de Pasaia

| Circuito | Potencia nominal | Longitud | Tipo | Sección | Intensidad máxima admisible | Intensidad nominal | Caída de tensión | Protección magnet. |
|----------|------------------|----------|--------|--------------------|-----------------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| | (W) | (m) | | (mm ²) | (A) | (A) | (%) | (A) |
| C01 | 200 | 12 | Monof. | 1,5 | 18 | 1,09 | 0,07 | 10 |
| C02 | 200 | 12 | Monof. | 1,5 | 18 | 1,09 | 0,07 | 10 |
| C03 | 200 | 12 | Monof. | 1,5 | 18 | 1,09 | 0,07 | 10 |
| C04 | 200 | 12 | Monof. | 1,5 | 18 | 1,09 | 0,07 | 10 |
| C05 | 200 | 12 | Monof. | 1,5 | 18 | 1,09 | 0,07 | 10 |
| Acom. | 1 | 30 | Monof. | 1,5 | 18 | 5,43 | 0,55 | 16 |

Considerando conductores de cobre con aislamiento RC4Z1-K, se considera una sección de alimentación 2x10 mm² para los ruptores de catenaria, por homogeneidad con la estación de Altza, y RZ1-K de 2x10 mm² para la acometida procedente del cuadro SAI de Energía ubicado en el CGBT / CA-1.

El Interruptor magnetotérmico del cuadro SAI de Energía destinado a la protección del cuadro de control de seccionadores de catenaria en la estación de Pasaia deberá ser de 25 A.