

ANEJO Nº7 CATENARIA

ÍNDICE

1. CARACTERÍSTICAS GENERALES	2
1.1. INTRODUCCIÓN	2
1.2. CONDICIONES DE OPERACIÓN	2
1.3. COEFICIENTES DE SEGURIDAD	2
1.4. DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD	3
1.5. DATOS GENERALES DE LA CATENARIA	3
2. NORMATIVA APLICABLE	4
3. IMPLANTACIÓN DE LA CATENARIA	4
4. DISEÑO DE LAS INSTALACIONES.....	5
4.1. FLECHA.....	5
4.2. DESCENTRAMIENTO	5
4.3. DISTANCIA ENTRE APOYOS.....	5
4.4. DESNIVEL ENTRE APOYOS	6
4.5. VELOCIDADES CARACTERÍSTICAS DE LA CATENARIA	6
5. DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS.....	6
5.1. HILO DE CONTACTO.....	6
5.2. POSTES.....	7
5.3. CIMENTACIONES	7
5.4. MÉNSULAS	7
5.5. PÓRTICOS FLEXIBLES TRANSVERSALES	7
5.6. SUSPENSIONES	7
5.7. EQUIPOS DE COMPENSACIÓN.....	8
5.8. FEEDER DE ACOMPAÑAMIENTO	8
5.9. CUADROS INTERRUPTOR DE FEEDER	8
5.9.1 Cuadro Interruptor <i>feeder</i> positivo (CS)-existente	8
5.9.2 Cuadro Interruptor y Seccionamiento de <i>feeder</i> positivo (SCF).....	8
6. CUADERNO DE REPLANTEO.....	9
7. REVISIÓN DEL REPLANTEO	10
7.1. LONGITUDES DE VANO.....	10
7.2. CONCLUSIONES	11

1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se describe el sistema de catenaria a instalar en la prolongación de la línea de Metro Ligero en superficie del centro de Sevilla (Metrocentro-Tramo IV).

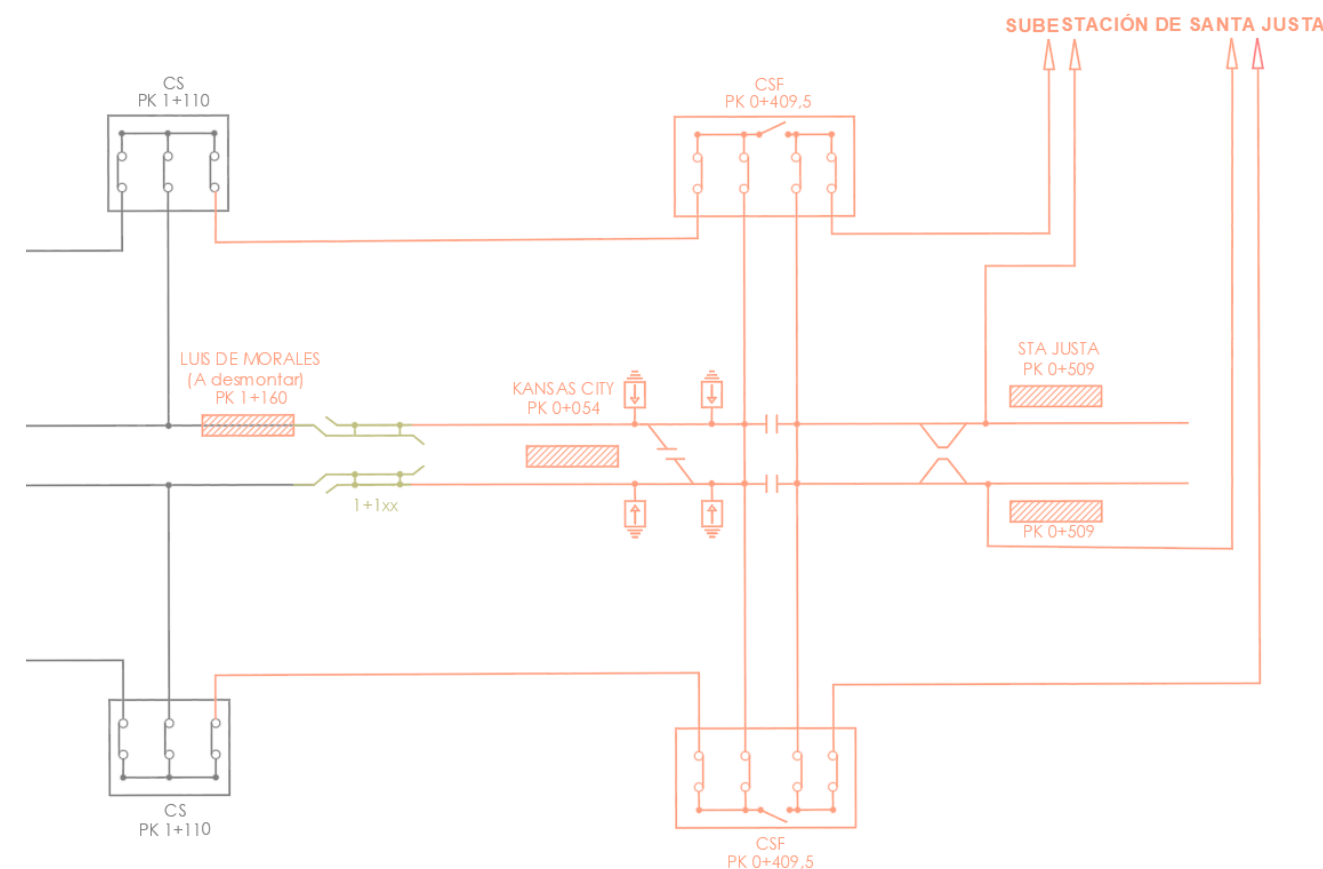
La línea aérea de contacto proyectada con todos sus componentes cumple los siguientes condicionantes:

- Máxima seguridad para usuarios y trabajadores, tanto en las estaciones como en la vía abierta, en cruces con calles, etc.;
- Mínimo impacto ambiental, en especial impacto visual en zonas urbanas.
- Coste de inversión reducido.
- Alta fiabilidad en la operación.
- Bajo coste de mantenimiento.

Como rasgos generales, se ha proyectado una catenaria de tipo tranviaria, es decir, sin cable sustentador y con un hilo de contacto. Esta característica implica la utilización de un cable en paralelo, *feeder* de acompañamiento, para aumentar la sección conductora y disminuir las caídas de tensión en la línea.

Del CS existente situado en el PK 1+110 (tramo III) saldrán dos nuevos conductores *feeder* de acompañamiento 1 y 2, que irán paralelos a cada una de las dos vías, tal y como se detalla en el esquema eléctrico proyectado. Los postes se situarán en el eje del trazado minimizando el número de estos.

En el PK 0+561 (tramo IV) se instalará un nuevo CSF, del cual saldrán tanto la conexión a la nueva S/E Santa Justa como la alimentación a la parada terminal de Santa Justa.



1.2. CONDICIONES DE OPERACIÓN

El sistema de catenaria se ha diseñado para las siguientes condiciones de operación:

CONDICIONANTE DE OPERACIÓN	VALOR
Velocidad del viento	33 m/s
Tensión nominal	750 V _{cc}
Nivel de aislamiento	1.500 V _{cc}
Velocidad máxima del material móvil	70 km/ h (según el tramo)

1.3. COEFICIENTES DE SEGURIDAD

Se aplicarán los siguientes coeficientes de seguridad en el diseño del sistema, considerando las cargas más desfavorables de operación y los límites propios de los materiales empleados.

MATERIAL	COEFICIENTE DE
Hilo de contacto gastado en un 20%	2,3

MATERIAL	COEFICIENTE DE
Hilo de contacto gastado en un 30%	2,0
Cable de alimentación adicional, cable de puesta a tierra	2,3
Otros cables	3,0
Aisladores a tracción	3,2
Aisladores a flexión	3,2
Anclajes al hormigón u obras de fábrica	3,0
Estructuras metálicas	1,5
Estructuras de hormigón, a tracción	2,7
Estructuras de hormigón, a compresión	1,75

1.4. DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD

Las distancias mínimas que se exponen en la siguiente tabla no se pueden incumplir ni en el caso de operación en las situaciones más desfavorables.

ELEMENTOS Y SISTEMAS	DISTANCIAS MÍNIMAS
Partes metálicas bajo tensión al perfil de los vehículos	115 mm
Partes metálicas bajo tensión hacia tierra en posición de reposo	
- Hormigón	100 mm
- Metal	115 mm
Partes metálicas bajo tensión hacia tierra en posición deformada por el pantógrafo	
- Hormigón	80 mm
- Metal	100 mm
Pantógrafo a edificios, estructuras puestas a tierra e instalaciones	150 mm
Pantógrafo a partes metálicas, incluyendo ménsulas	
- Perpendicular al eje de vías	150 mm
- Paralelo al eje de vías	150 mm

Se procurará que todas las partes metálicas bajo tensión estén por encima del hilo de contacto. Ninguna parte de cualquier instalación invadirá el gálibo de seguridad del tranvía.

1.5. DATOS GENERALES DE LA CATENARIA

En condiciones normales	5.750 mm
Mínima	4.500 mm
Máxima	6.000 mm

Debajo de puentes, la altura del hilo de contacto se podrá reducir, siempre que no caiga por debajo de la altura mínima.

En las zonas de interferencia con las calles (tránsito no tranviario), la altura mínima será considerada en condiciones normales, es decir, 5.750 mm.

Otros datos son:

Descentramiento y flecha máxima en curva	± 200 mm
Distancia máxima entre dos puntos de soporte	50 m
Distancia de diseño entre dos puntos de soporte	40 m
Hilo de contacto de cobre electrolítico duro, por vía	150 mm ²
Feeder de acompañamiento por vía	630 mm ²
Cable de puesta a tierra (Según apoyo y enterrado desnudo)	120 / 50 (95) mm ²

La catenaria será compensada en tramos no superiores a 1.000 m trabajando el hilo de contacto a un esfuerzo de tracción de 1.500 kg.

La alimentación a la catenaria será a 750 V_{cc} e independiente para cada cantón y vía.

En las curvas donde las velocidades son más bien bajas, se han previsto una catenaria sin compensar con tal de minimizar elementos que compliquen su implantación. El esfuerzo en estos casos se podrá reducir hasta 1.000 kg.

Los seccionamientos necesarios se desarrollarán en tres vanos de cuatro postes, con la secuencia de elevación y descentramiento en el primer vano, hilos de contacto paralelos en el segundo vano y elevación y descentramiento en el tercero

La suspensión del hilo de contacto se hará mediante el sistema llamado delta.

En todo su recorrido el hilo de contacto estará aislado. Por un lado, las deltas de suspensión serán aislantes respecto a la ménsula que sujeta el conjunto, a la vez que en las paradas la ménsula estará aislada respecto el poste de la catenaria, tanto en el punto de unión como en el atirantado de la misma. Todos los postes correspondientes al sistema de electrificación estarán conectados a tierra mediante una o varias picas de puesta a tierra. Se instalará un cable de tierra subterráneo de 95 mm² de Cu desnudo, que conectarán con las picas de puesta a tierra de los postes de catenaria, de modo que la resistencia de tierra sea siempre inferior a 15 ohmios.

Pese a que en el recorrido urbano los edificios son mucho más altos que los postes de electrificación, se ha considerado disponer en el PK 0+532,95 de unos dispositivos pararrayos, con objeto de lograr la debida protección contra descargas atmosféricas.

2. NORMATIVA APLICABLE

La normativa aplicada en el diseño, fabricación y montaje de la catenaria será:

NORMA	TÍTULO
DIN 57115, parte 1 VDE 0115, parte 1	Ferrocarriles: Construcciones y protecciones generales de personas.
DIN 57115, parte 3 VDE 0115, parte 3	Ferrocarriles: Normas especiales para equipos estacionarios de ferrocarriles.
CEI 913	Líneas aéreas de tracción eléctrica.
DIN 51150 VDE 0150	Protección contra corrosión provocada por corrientes parásitas
VDV Schriften 501, parte 1 y 2	Protección anticorrosivo y protección de personas contra potenciales peligrosos en túnel.
DIN 48138	Aisladores
DIN VDV 0250, parte 602	Cables flexibles especiales
UNE 21012.71	Cables de cobre para líneas eléctricas aéreas
DIN 48200	Hilos para cables conductores.
DIN 48201	Cables conductores.
UNE 21040.63	Hilos rasurados para las líneas de contacto
DIN 43140	Hilos de contacto, especificaciones técnicas para el suministro
DIN 43141	Hilos de contacto, medidas y capacidad de carga permanente

NORMA	TÍTULO
DIN 1045	Hormigón y hormigón armado, dimensionamiento construcción.
EHE	Instrucciones de hormigón estructural
NBE-EA-95	Estructuras de acero
DIN 18800, parte 1,2,3 y 7	Construcciones en acero
DIN 18801	Construcciones elevadas de acero; dimensionamiento, construcción, producción.
EN 10025	Aceros generales de construcción, norma de calidad
DIN 17121	Tubos (sección circular) de acero general de construcción, sin costuras; especificaciones para el suministro
DIN 50976	Protección anticorrosiva a base de galvanizado al fuego
EN / ISO 9001	Sistemas de control de calidad
REBT	Reglamento electrotécnico de baja tensión
RVE	Reglamento de Verificación Eléctrica
RCE	Reglamento sobre Centrales eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación
RLAT	Reglamento de líneas eléctricas de Alta Tensión

3. IMPLANTACIÓN DE LA CATENARIA

El trazado discurre desde la salida de la actual estación provisional de Luis de Morales (a desmontar) en doble vía, hasta las nuevas paradas de E8 Kansas City y E9 Santa Justa, que es la terminal de la línea. El nuevo tramo tiene una longitud de aproximadamente 600 m.

Este tramo se alimentará desde la nueva subestación de tracción S/E de Santa Justa, a través de los *feeders* para conexión a catenaria y conexión a *feeders* de acompañamiento, una para cada vía. Estos *feeders* se conectarán a la catenaria aproximadamente cada 300 m según el estudio de dimensionamiento.

Dado que se trata de un nuevo tramo de vía doble, se dispondrán postes en todos los puntos que sea posible en la entrevista, colocando los equipos a cada lado del poste para electrificar el nuevo trazado.

En los puntos en que esto no es posible, se instalarán postes a los lados del trazado, colocando pórticos funiculares.

Junto a la parada de Luis de Morales (a desmontar) se prolongarán los tendidos de los “culatones” mediante empalmes en el Hilo de Contacto, por tanto, se modificará la configuración existente, los postes actuales, entre el **N145-149**, se adecuan o sustituyen de acuerdo con sus nuevas necesidades, así como se instalan los dos nuevos **N152-153**, sobre las cimentaciones existentes.

Los tendidos se han planteado de forma que los seccionamientos y los puntos fijos sean los mínimos. Siendo el final de la línea la parada terminal de Santa Justa, ubicación del anclaje final de ambos tendidos.

Se instalarán los equipos de aisladores de sección, postes, conjuntos de ménsulas y regulaciones que la nueva configuración ha dispuesto.

4. DISEÑO DE LAS INSTALACIONES

4.1. FLECHA

La velocidad máxima de paso del vehículo y la fuerza de pantógrafo permite calcular la flecha máxima de los hilos para conservar un contacto adecuado.

En el tranvía, cuya velocidad máxima es de 70 km/h, para conservar un buen contacto entre los hilos y el pantógrafo, el valor máximo de la flecha entre apoyos no debe superar los 30 cm.

4.2. DESCENTRAMIENTO

En alineación recta, para evitar un desgaste localizado de banda de rozamiento del arco del pantógrafo, el hilo de contacto se descentra en cada apoyo, o cada dos apoyos alternativamente de un lado a otro del eje de la vía

El valor del descentramiento se determinará en función de las características del pantógrafo (ancho de la banda de rozamiento, balanceo) y del vehículo (balanceo). El valor será de +/- 20 cm respecto al eje de la vía.

La elección del descentramiento en cada apoyo o cada dos apoyos se efectuará teniendo en cuenta la exposición al viento: Una línea expuesta al viento será descentrada en cada apoyo.

4.3. DISTANCIA ENTRE APOYOS

La flecha se utiliza para calcular la distancia máxima entre apoyos para recta, aplicando la fórmula:

$$a^2 = \frac{8 \cdot T \cdot f}{P}, \text{ donde:}$$

a: distancia entra apoyos (m)

f: flecha (m)

P: masa lineal del hilo de contacto (kg/m)

T: tensión mecánica del hilo de contacto (daN)

En una línea compensada, T es una constante, igual al esfuerzo ejercido por los aparatos tensores automáticos en el rango de temperaturas definidas.

En una línea no compensada o parcialmente compensada, la tensión T varía en función de la temperatura ambiental (T disminuye cuando la temperatura aumenta).

En curva la distancia entre apoyos estará igualmente limitada por el descentramiento máximo del cable. Con el valor de descentramiento indicados anteriormente y en la línea aérea compensada, la distancia máxima entre apoyos en función del radio de la curva será aplicando la formula:

$$r = \frac{a^2}{8 \cdot f}; \text{ donde:}$$

r: radio de la curva (m)

a: distancia entra apoyos (m)

f: flecha – descentramiento (m)

Por tanto, la longitud teórica de los vanos aplicados al proyecto es:

RADIO DE LA CURVA (m)	VANO TEÓRICO (m)
25	7,07
40	8,94
50	10,00
80	12,65
100	14,14

RADIO DE LA CURVA (m)	VANO TEÓRICO (m)
300	24,49
500	31,62
800	40,00
> 1.000	40,00

4.4. DESNIVEL ENTRE APOYOS

Es conveniente que la altura del hilo de contacto sobre el carril (o la calzada) sea la misma en cada apoyo.

Si, para las condiciones locales (pasos bajo estructuras, etc.) se impusiera una variación de altura, es necesaria una transición con una pendiente aún más débil que la correspondiente a la velocidad del material móvil y, en todo caso, no se deben superar los valores indicados en la tabla siguiente, en función de la velocidad (según incida la CEI 913).

VELOCIDAD (km / h)	PENDIENTE MÁXIMA
10	4%
30	2%
60	1%

4.5. VELOCIDADES CARACTERÍSTICAS DE LA CATENARIA

La norma CENELEC indica que la velocidad de transmisión de onda de vibración, a través del hilo de contacto debe ser superior en un porcentaje a la velocidad de diseño.

La velocidad prevista es de 70 km/h o 19,5 m/s. Así, si la velocidad de propagación de onda es:

$$V_p = \left(\frac{T}{M} \right)^{0,5}; \text{ donde:}$$

T: Tensión mecánica (N) M : masa

$T^{0,5} = V_p M^{0,5}$; y el resultado es $T = 656$ N, valor muy por debajo del propuesto

El coeficiente de trabajo del hilo para la tensión mecánica máxima será:

$$\sigma = \frac{T_{\max}}{S}$$

donde S es la sección del hilo de contacto de 150 mm² entonces,

$$\sigma = \frac{15000}{150} = 100 \text{ N/mm}^2$$

resultando un coeficiente de seguridad:

$$\delta = \frac{365 \text{ N}}{100 \text{ N}} = 3,65$$

El desgaste se considera que se produce de forma muy rápida al inicio de la instalación del hilo de contacto, puesto que la superficie de rozamiento es muy pequeña. Una vez llegue al 20%, el desgaste hasta al 30% sucede de forma muy lenta.

Cuando la sección se reduzca por el desgaste natural, hasta un valor máximo de un 30% de la sección inicial, la fatiga del hilo de contacto o coeficiente de trabajo quedará:

$$\sigma = \frac{15000}{105} = 142,8 \text{ N/mm}^2;$$

por lo que:

$$\delta = \frac{365 \text{ N}}{142,8 \text{ N}} = 2,55$$

valor superior a 2, indicado en el apartado de coeficiente de seguridad.

5. DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS

En este apartado se describirán cada uno de los diferentes elementos que forman la catenaria, con la diversidad de soluciones adoptadas para cada caso.

5.1. HILO DE CONTACTO

La línea aérea tendrá un hilo de contacto de las siguientes características:

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Sección	150 mm ²
Diámetro	14,5 mm
Peso	1,33 kg/m
Material	Cobre electrolítico duro
Tensión de rotura	5.477,4 kg
Tensión de trabajo	1.500,0 kg

5.2. POSTES

A lo largo de todo el recorrido se dispondrán postes de catenaria para alimentación de la prolongación de la Línea de Metrocentro.

Para el diseño del proyecto que nos ocupa, se ha tenido en cuenta el reutilizar postes, así como equipos y conjuntos, que, motivado por la prolongación del tramo, se tengan que desmontar, reubicándolos en otros puntos del tramo objeto del presente proyecto.

El trazado se desarrolla en vía doble, los postes se localizan en el centro de la plataforma. Esta disposición reduce el número de postes necesarios a la mitad, y por tanto también su impacto visual.

En las paradas se instalarán los postes de catenaria en el centro del andén y equidistantes.

Los postes serán de 8 o 9 m de altura y se colocarán atornillados en su cimentación, lo que facilita su cambio en caso de deterioro o accidente, la regulación fina de su perfecta verticalidad y su desmontaje por pasar por su interior, por ejemplo, cables de alimentación a la catenaria, si fuera necesario.

Los postes estarán contruidos con perfil de acero inoxidable de 8 /10 mm de grosor. Los postes serán cilíndricos o troncocónicos a decisión de la dirección del proyecto.

Para postes de anclaje con compensación se instalarán postes tipo P5, como los actualmente instalados en el tramo anterior.

5.3. CIMENTACIONES

Los macizos de cimentación de los postes tendrán forma cuadrada o rectangular y sus dimensiones se calcularán según el método suizo. Se construirán de hormigón en masa e incorporarán anclajes para la fijación del poste y un vacío o hueco para un paso de cables. En todos los casos los macizos estarán a 300 mm por debajo de la cota de carril permiten ejecutar las losas de soporte de los carriles por encima de este. También en las zonas ajardinadas el césped los cubrirá.

5.4. MÉNSULAS

Motivado por la prolongación del tramo, al igual que en el apartado anterior los equipos que se tengan que desmontar, se reubicarán en otros puntos del tramo objeto del presente proyecto.

Este brazo deberá soportar el peso de la catenaria y los empujes transmitidos, estando empotrada al poste y sin ningún otro punto de apoyo.

Las ménsulas llevarán brazo de atirantado únicamente si el radio de curvatura del trazado así lo exige. En la unión entre la suspensión de la catenaria y el brazo horizontal del poste debe estar aislado para que este no tenga tensión (sólo en las paradas), se deberá disponer un sistema de sujeción que lo permita.

5.5. PÓRTICOS FLEXIBLES TRANSVERSALES

Los pórticos serán utilizados en los casos donde las circunstancias de espacio y galibo de seguridad no permitan el uso de apoyos independientes.

Serán fabricados con cable aislante, sin necesidad de instalar aisladores. La longitud será variable y estarán fijados a postes.

El hilo de contacto estará suspendido mediante el acoplamiento de elementos resistentes para tal fin, adaptados a las características de este cable.

Los elementos de suspensión del hilo de contacto en transversales permitirán el desplazamiento longitudinal del hilo antes las oscilaciones térmicas solicitadas.

5.6. SUSENSIONES

Para sujetar el hilo de contacto a las ménsulas o a los cables transversales se ha escogido el sistema denominado "Delta".

Este consiste en un cable auxiliar que se une por sus extremos al hilo de contacto. Por su parte media se cuelga de la ménsula. Forma así un triángulo la base de la cual es el hilo de contacto. Su base tendrá 1,10 m y su altura será del orden de 40 cm.

Los puntos de unión del cable auxiliar de la delta con la grifa del hilo de contacto pueden ser también de dos tipos: con palanca o sin palanca. El sistema con palanca que se utiliza normalmente a lo largo de todo el recorrido y permite regular la horizontalidad transversal del hilo de contacto cuando va haciendo el descentramiento habitual. En las curvas cerradas donde haga falta atirantar el cable no se utilizarán palancas.

5.7. EQUIPOS DE COMPENSACIÓN

El hilo de contacto estará atirantado cada 1.000 m aproximadamente por sus extremos mediante los equipos de compensación automática. Este elemento permite tener el cable tensado siempre en las mismas condiciones incluso con las variaciones producidas por el alargamiento o acortamiento del cable por efectos térmicos.

El equipo de compensación estará formado un equipo de tensión mediante resorte similar al que está aptamente instalado en el tramo anterior.

Entre dos secciones de catenaria compensada se hará un cubrimiento común para garantizar el deslizamiento suave de los pantógrafos de una sección a otra. Esta zona de cubrimiento se realizará en un tramo de tres vanos.

5.8. FEEDER DE ACOMPAÑAMIENTO

Se instalará un *feeder* de refuerzo de aluminio aislado de 630 mm² de sección con denominación según UNE 21123 RV 1,8/3kV 1x630 mm² Al.

El cable *feeder* irá instalado en canalización tubular a lo largo del trazado y estará conectado en paralelo con la línea aérea de contacto, mediante los seccionadores de apertura en vacío de los Cuadros de Interruptor de *feeder*, CSF y CS.

5.9. CUADROS INTERRUPTOR DE FEEDER

Los Cuadros Interruptor de *feeder* que se dispondrán en el trazado son:

- (CS) Cuadro interruptor de *feeder* positivo (existente)
- (CSF) Cuadro interruptor de seccionamiento y conexión *feeder*

Los cuadros estarán constituidos por una caja de tipo exterior en material aislante resistente y de protección IP55, ubicados sobre el poste de catenaria correspondiente en el medio de la plataforma.

Se instalarán pasos bajo vía y arquetas de conexión desde las canalizaciones tubulares instaladas en el exterior hasta el cuadro ubicado en medio de la plataforma.

En los puntos donde TUSSAM o Dirección de Obra crea pertinente se instalarán los cuadros en los postes, por encima de los conjuntos de ménsulas y perfectamente acoplados al poste.

La conexión del cable *feeder* a la catenaria se realizará por el interior de los postes.

5.9.1 Cuadro Interruptor *feeder* positivo (CS)-existente

El *feeder* se conectará a la catenaria de las dos vías, dando una configuración de alimentación de vías en paralelo. Estos cuadros se instalarán entre dos paradas y alojarán en su interior los siguientes equipos:

- Dos (2) puentes de seccionamiento de 2.000 A para el *feeder*;
- Un (1) puente de seccionamiento de 2.000 A para la conexión a catenaria;
- Zonas de conexión de cables de potencia.

5.9.2 Cuadro Interruptor y Seccionamiento de *feeder* positivo (SCF)

Para permitir la explotación en situación degradada de la línea, está previsto instalar este tipo de cuadro que permite separar la sección de línea entre dos subestaciones en subsecciones y asegurar la continuidad de la explotación del tranvía sobre la subsección en la cual no ha habido ningún incidente.

Los cuadros estarán conectados a las dos catenarias y serán telemandados remotamente. Alojarán en su interior un compartimiento de potencia y otro de baja tensión, con los equipos:

- Dos (2) puentes de seccionamiento de 2.000 A para el *feeder*;
- Un (1) seccionador en carga unipolar de 2.000 A con mando manual y motorizado, biestático;
- Dos (2) relés de presencia de tensión, aguas arriba y aguas abajo;
- Zonas de conexión de cables de potencia;
- Equipos de comunicación con el telemando y auxiliares de BT

6. CUADERNO DE REPLANTEO

			Nº Poste	PK	Vano	Poste	TIPO DE POSTE A INSTALAR	DIMENSIONES DEL POSTE	Nº de Ménsulas		Ménsula	Suspensión	Seccionamiento	PF	Agujas	Pararrayos	Observaciones	ALUMBRADO	Nº TUBOS MACIZO CIMENTACIÓN	CABLE TIERRA	
									Total	Por vía											
TRAMO FASE III (MODIFICACIÓN DE CONFIGURACIÓN ACTUAL)	SUBTRAMO CON CATENARIA INSTALADA	POSTE TIPO P1 INSTALADO	N 145	0-229,4	0,00	Central	P5	323,9 x 10	3	1	SIMPLE	DTP					Poste P1 a reemplazar por poste tipo P5 de anclaje COMPENSACIÓN	Si (2 luminarias)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2	
		POSTE TIPO P1 INSTALADO	N 146	0-189,4	40,00	Central	P5	323,9 x 10	3	1	SIMPLE	DTP	A/S				Poste P1 a reemplazar por poste tipo P5 de anclaje COMPENSACIÓN. Añadir 1 mensula para vía 2	Si (2 luminarias)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2	
		POSTE TIPO P1 INSTALADO	N 147	0-149,4	40,00	Central	P3	323,9 x 10	4	2	DOBLE	DTP	S/E				Poste P1 a reemplazar por poste P3. Añadir 1 mensula para vía 1 y vía 2	Si (2 luminarias)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2	
		POSTE TIPO P2 INSTALADO	N 148	0-115,10	34,40	Central	P3	323,9 x 10	3	2	DOBLE	DTP	S/E				Poste P2 a reemplazar por poste tipo P3 para anclaje A/S. Añadir 1 mensula a vía 1 y vía 2	Si (2 luminarias)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2	
		POSTE TIPO P2 INSTALADO	N 149	0-085,1	30,00	Central	P3	323,9 x 10	2	1	SIMPLE	DTP	A/S	An			Poste P2 a reemplazar por poste tipo P3 para anclaje A/S. Añadir 1 mensula a vía 1 y vía 2	Si (2 luminarias)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2	
	SUBTRAMO CON CATENARIA NO INSTALADA	POSTE TIPO P2 INSTALADO	N 150	0-058,6	26,50	Central	P2	323,9 x 6	2	1	SIMPLE	DTP							Si (2 luminarias)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2
		POSTE TIPO P2 INSTALADO	N 151	0-038,6	20,00	Central	P2	323,9 x 6	2	1	SIMPLE	DTP							Si (2 luminarias)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2
		SIN POSTE CIMENTACIÓN EJECUTADA SIN PERNOS	N 152	0-018,6	20,00	Central	P1	323,9 x 6	2	1	SIMPLE	DTP							Si (2 luminarias)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2
		SIN POSTE CIMENTACIÓN EJECUTADA SIN PERNOS	N 153	0-001,4	20,00	Central	P1	323,9 x 6	2	1	SIMPLE	DTP							Si (2 luminarias)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2
		TRAMO EN CESPED	N 154	0+024,8	26,20	Central	P1	323,9 x 6	2	1	SIMPLE	DTP							Si (2 luminarias)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2
	N 155	0+041,3	16,50	Central	P1	323,9 x 6	2	1	SIMPLE	DTP							Si (2 luminarias)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2		
SECCIÓN EN HORMIGÓN, ADOQUIN O AGLOMERADO	N 156	0+058,8	17,50	Central	P1	323,9 x 6	2	1	SIMPLE ATIRANTADA	DTP							Si (1 luminaria)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2		
	N 157	0+078,8	20,00	Central	P1	323,9 x 6	2	1	SIMPLE ATIRANTADA	DTP							Si (1 luminaria)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2		
	N 158	0+098,8	20,00	Central	P1	323,9 x 6	2	1	SIMPLE ATIRANTADA	DTP							Si (1 luminaria)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2		
	N 159	0+124,30	25,50	Central	P5	323,9 x 10	2	1	SIMPLE	DTP				An Comp	Pararrayos	Sistema COMPENSACIÓN	NO	2 Tubos 90mm 2 Tubo 40 mm cable tierra	120 mm2		
TRAMO EN CESPED	N 160	0+144,30	20,00	Central	P3	323,9 x 10	3	1	SIMPLE	DTP				Elev			Si (2 luminarias)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2		
SECCIÓN EN HORMIGÓN, ADOQUIN O AGLOMERADO	N 161 D	0+171,15	26,85	Poste en acerado	P5	323,9 x 10	Pórtico flexible atirantado								Aguja		Poste dispuesto en acerado	NO	2 Tubos 90mm + 1 Tubo 40 mm	50 mm2	
	Poste en acerado			P5	323,9 x 10	Pórtico flexible atirantado										Poste dispuesto en acerado	2 Tubos 90mm + 1 Tubo 40 mm		50 mm2		
	N 162 D	0+193,15	22,00	Poste en acerado	P5	323,9 x 10	Pórtico flexible atirantado								Aguja		Poste dispuesto en acerado	2 Tubos 90mm + 1 Tubo 40 mm	50 mm2		
	Poste en acerado			P5	323,9 x 10	Pórtico flexible atirantado										Poste dispuesto en acerado	2 Tubos 90mm + 1 Tubo 40 mm	50 mm2			
TRAMO EN CESPED	N 163	0+217,15	24,00	Central	P3	323,9 x 10	3	2	DOBLE	DTP					Elev		Si (2 luminarias)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2		
	N 164	0+243,15	26,00	Central	P5	323,9 x 10	2	1	SIMPLE	DTP			An	An			Si (2 luminarias)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2		
	N 165	0+269,15	26,00	Central	P1	323,9 x 6	2	1	SIMPLE	DTP							Si (2 luminarias)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2		
	N 166	0+299,15	30,00	Central	P1	323,9 x 6	2	1	SIMPLE	DTP							Si (2 luminarias)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2		
	N 167	0+326,3	27,15	Central	P1	323,9 x 6	2	1	SIMPLE	DTP					Pararrayos		NO	2 Tubos 90mm 2 Tubo 40 mm cable tierra	120 MM2		
															Pararrayos						
SECCIÓN EN HORMIGÓN, ADOQUIN O AGLOMERADO	N 168	0+355,3	29,00	Central	P1	323,9 x 6	2	1	SIMPLE	DTP		CSF					NO	4 Tubos 90mm 2 Tubo 40 mm cable tierra	120 mm2		
	N 169	0+383,3	28,00	Central	P5	323,9 x 10	2	1	SIMPLE	DTP				An Comp		Sistema COMPENSACIÓN	Si (2 luminarias)	2 Tubos 90mm 2 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2		
	N 170	0+412,3	29,00	Central	P5	323,9 x 10	3	1	SIMPLE	DTP				An Comp		Sistema COMPENSACIÓN	Si (2 luminarias)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2		
	N 171	0+440,3	28,00	Central	P3	323,9 x 10	4	2	DOBLE	DTP				Elev		Si (2 luminarias)	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2			
	N 172 D	0+458,3	18,00	Poste en acerado	P5	323,9 x 10	Pórtico flexible atirantado								Aguja		Si (1 luminaria)	2 Tubos 90mm + 1 Tubo 40 mm	50 mm2		
	Poste en acerado			P5	323,9 x 10	Pórtico flexible atirantado										Si (1 luminaria)	2 Tubos 90mm + 1 Tubo 40 mm	50 mm2			
	N 173 D	0+480,3	22,00	Poste en acerado	P5	323,9 x 10	Pórtico flexible atirantado								Aguja		Si (1 luminaria)	2 Tubos 90mm + 1 Tubo 40 mm	50 mm2		
	Poste en acerado			P5	323,9 x 10	Pórtico flexible atirantado										Si (1 luminaria)	2 Tubos 90mm + 1 Tubo 40 mm	50 mm2			
	N 174	0+502,17	24,80	Central	P3	323,9 x 10	4	2	DOBLE	DTP				Elev		NO	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2			
	N 175	0+528,67	26,50	Central	P3	323,9 x 10	3	1	SIMPLE	DTP				An		NO	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2			
	N 176	0+540,87	12,20	Central	P3	323,9 x 10	2	1	SIMPLE	DTP						NO	2 Tubos 90mm 1 Tubo 40 mm cable tierra	50 mm2			
	N 177 D	0+553,07	12,20	Alineado	P3	323,9 x 10								A/S	An		Poste final de línea	NO	2 Tubos 90mm	50 mm2	
	N 177 I			Alineado	P3	323,9 x 10									A/S	An		Poste final de línea	NO	2 Tubos 90mm alumbrado	50 mm2

7. REVISIÓN DEL REPLANTEO

7.1. LONGITUDES DE VANO

La longitud de vano estará limitada por la flecha y la desviación lateral máximas admisibles en el hilo de contacto.

Para el caso del tranvía, cuya velocidad máxima es de unos 70 Km/h, se limita la flecha a 30 cm para garantizar un correcto funcionamiento del pantógrafo.

Para garantizar un barrido adecuado, la desviación lateral habitual para proyectos de estas características es de 40 cm. Sin embargo, para este caso en particular, los tranvías que darán servicio a la línea tienen una longitud de pantógrafo útil de 70cm. Por esto se limita la desviación del hilo a 35 cm con respecto al eje de vía.

Por otro lado, deberá tenerse en cuenta una variación máxima entre vanos consecutivos para evitar descompensaciones causadas por la diferencia de peso del hilo a cada lado de la ménsula. Para el presente caso de estudio, esta diferencia no deberá superar los 10 m.

Flecha

El valor del vano máximo en recta estará limitado por la flecha.

Se aplica la siguiente fórmula:

$$V = \sqrt{\frac{f \cdot 8 \cdot T}{P}}$$

Donde:

V: Longitud del vano (m)

f: flecha (m)

T: Tensión del hilo de contacto(kg)

P: Peso del hilo (kg/m)

Sustituyendo se obtiene un valor de vano máximo de 51,99 m.

Desviación lateral

El valor de vano máximo en curva estará delimitado por la desviación lateral máxima admisible para evitar que el hilo salga de la zona de barrido del pantógrafo.

Dicha desviación estará compuesta por:

- Una componente estática debida a la curvatura de la vía y a los descentramientos del hilo en los apoyos.
- Una componente dinámica debida a la fuerza del viento aplicada sobre el hilo.

La desviación por curvatura en los vanos con curva uniforme se puede calcular a partir del radio de la curva con la siguiente expresión:

$$D_C = \frac{V^2}{8 \cdot R} \cdot 100$$

Donde:

D_C: Desviación por curvatura (cm)

V: Longitud de vano (m)

R: Radio de curvatura (m)

Para los vanos con curvatura no uniforme, este valor debe obtenerse midiendo directamente en el plano en planta de la vía.

Por otra parte, la desviación debida a los descentramientos en los apoyos será:

$$D_{Des} = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

Donde:

D_{Des}: Desviación por descentramientos (cm)

D₁: Descentramiento en la estructura anterior (cm)

D₂: Descentramiento en la estructura posterior (cm)

Como criterio se han tomado como positivos los descentramientos o desviaciones hacia la derecha del eje de vía, observando desde un corte de sección transversal a la vía y en dirección hacia PK+ (punto

kilométrico ascendente). A su vez, serán negativos los descentramientos o desviaciones hacia la izquierda del eje de vía.

La desviación estática total (D_E) será, por tanto:

$$D_E = D_C + D_{Des}$$

La desviación debida a la fuerza del viento aplicada sobre el hilo de contacto será:

$$D_V = \frac{F \cdot V^2}{8 \cdot T} \cdot 100$$

Donde:

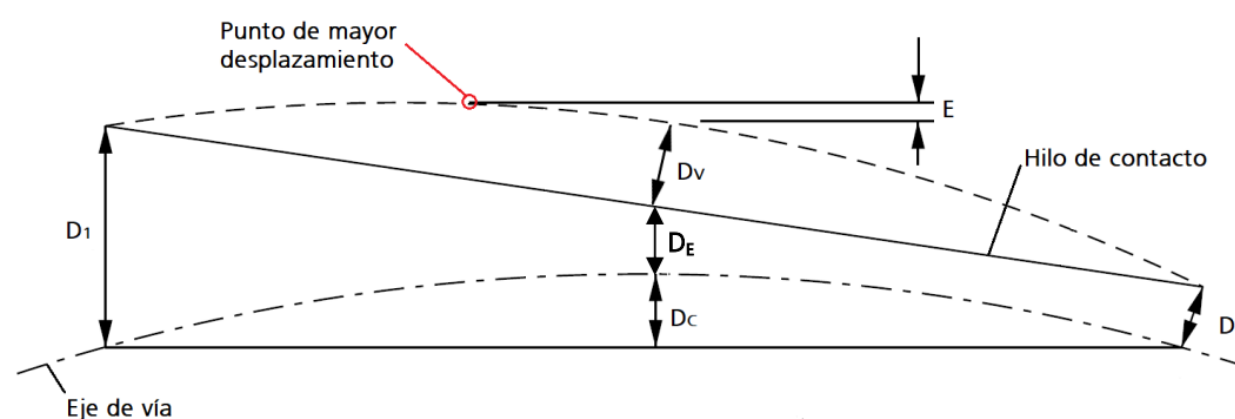
D_V : Desviación debida a la fuerza del viento (cm)

F : Fuerza del viento sobre el hilo de contacto (kg/m)

V : Longitud del vano (m)

T : Tensión del hilo de contacto (kg)

Al calcular la posición del hilo debida a la acción del viento es necesario tener en cuenta que, según los descentramientos, el punto de mayor desplazamiento no siempre ocurre a mitad de vano. Ver imagen a continuación:



Para tener en cuenta este efecto, es necesario sumar un valor correctivo "E" (Efecto de descentramiento) el cual se obtiene:

$$E = \frac{(D_1 - D_2)^2}{16 \cdot (D_V - D_C)}$$

Esto solo se considerará cuando el punto de mayor desplazamiento se de en el vano; mientras que si este curre en uno de los apoyos, el valor de "E" será cero.

Con todo esto, la desviación dinámica total será:

$$D_D = D_V + E$$

Y finalmente, el valor total de desviación del hilo será la suma de las componentes estática y dinámica.

$$D_{total} = D_E + D_D$$

Para comprobar la longitud de los vanos en el replanteo presentado por Ayesa, se ha elaborado una hoja de cálculo incorporando todas las fórmulas y criterios descritos anteriormente. Con el objetivo de evitar generar una hoja por cada cantón existente en la vía, se ha estudiado un único hilo ficticio que recorre la totalidad del tramo y que presenta las situaciones más desfavorables para cada punto, considerando también qué posición podría tener en zonas de seccionamiento y puntos de aguja.

7.2. CONCLUSIONES

Seguidamente se puede observar que, para los planos en planta, todos los vanos CUMPLEN con las limitaciones máximas de variación de longitud entre vanos consecutivos, flecha y desviación del hilo de contacto.

PROYECTO CONSTRUCCIÓN
 METRO LIGERO EN SUPERFICIE DEL CENTRO DE SEVILLA: TRAMO CENTRO NERVIÓN-ESTACIÓN SANTA JUSTA E INTERCAMBIADOR INTERMODAL DE SANTA JUSTA. INSTALACIONES

Nº Poste	Vano elegido (m)	Radio de curvatura (m)	Diferencia entre vanos contiguos	Flecha (cm)	Vano máximo por flecha	Descentramient o elegido (cm)	Posición del descentramiento según centro de vía	Desviación por curvatura de vía (cm)	Desviación estática por descentramiento (cm)	Desviación estática total (cm)	Desviación por viento (cm)	Desviación total (m)	Comprobación desviación total (m)
N 145	40,00	1500		17,800	CUMPLE	20	Derecha	-13,33	20,00	6,67	-7,20	27,20	CUMPLE
N 146	40,00	3500	CUMPLE	17,800	CUMPLE	20	Derecha	-5,71	20,00	14,29	-7,20	27,20	CUMPLE
N 147	34,40	Recta	CUMPLE	13,165	CUMPLE	20	Derecha	0,00	20,00	20,00	5,33	14,67	CUMPLE
N 148	30,00	Recta	CUMPLE	10,013	CUMPLE	20	Izquierda	0,00	0,00	0,00	4,05	4,05	CUMPLE
N 149	26,50	Recta	CUMPLE	7,813	CUMPLE	20	Derecha	0,00	0,00	0,00	3,16	3,16	CUMPLE
N 150	20,00	Recta	CUMPLE	4,450	CUMPLE	20	Izquierda	0,00	0,00	0,00	1,80	1,80	CUMPLE
N 151	20,00	Recta	CUMPLE	4,450	CUMPLE	20	Derecha	0,00	0,00	0,00	1,80	1,80	CUMPLE
N 152	20,00	Recta	CUMPLE	4,450	CUMPLE	20	Izquierda	0,00	0,00	0,00	1,80	1,80	CUMPLE
N 153	26,20	Recta	CUMPLE	7,637	CUMPLE	20	Derecha	0,00	0,00	0,00	3,09	3,09	CUMPLE
N 154	16,50	Recta	CUMPLE	3,029	CUMPLE	20	Izquierda	0,00	10,13	10,13	1,23	8,90	CUMPLE
N 155	17,50	120	CUMPLE	3,407	CUMPLE	0	Derecha	-31,90	12,63	-19,28	-1,38	14,00	CUMPLE
N 156	20,00	120	CUMPLE	4,450	CUMPLE	25	Derecha	-41,67	25,00	-16,67	-1,80	26,80	CUMPLE
N 157	20,00	120	CUMPLE	4,450	CUMPLE	25	Derecha	-41,67	22,50	-19,17	-1,80	24,30	CUMPLE
N 158	25,50	1200	CUMPLE	7,234	CUMPLE	20	Derecha	-6,77	0,00	-6,77	2,93	2,93	CUMPLE
N 159	20,00	125	CUMPLE	4,450	CUMPLE	20	Izquierda	-40,00	0,00	-40,00	1,80	1,80	CUMPLE
N 160	26,85	125	CUMPLE	8,020	CUMPLE	25	Derecha	-72,09	25,00	-47,09	-3,24	28,24	CUMPLE
N 161 D	22,00	Recta	CUMPLE	5,385	CUMPLE	25	Derecha	0,00	0,00	0,00	2,18	2,18	CUMPLE
N 162 D	24,00	Recta	CUMPLE	6,408	CUMPLE	20	Izquierda	0,00	0,00	0,00	2,59	2,59	CUMPLE
N 163	26,00	Recta	CUMPLE	7,521	CUMPLE	20	Izquierda	0,00	0,00	0,00	3,04	3,04	CUMPLE
N 164	26,00	Recta	CUMPLE	7,521	CUMPLE	20	Derecha	0,00	0,00	0,00	3,04	3,04	CUMPLE
N 165	30,00	Recta	CUMPLE	10,013	CUMPLE	20	Izquierda	0,00	0,00	0,00	4,05	4,05	CUMPLE
N 166	27,15	Recta	CUMPLE	8,200	CUMPLE	20	Derecha	0,00	0,00	0,00	3,32	3,32	CUMPLE
N 167	29,00	175	CUMPLE	9,356	CUMPLE	25	Izquierda	-60,07	25,00	-35,07	3,78	21,22	CUMPLE
N 168	28,00	175	CUMPLE	8,722	CUMPLE	25	Izquierda	-56,00	25,00	-31,00	3,53	21,47	CUMPLE
N 169	29,00	175	CUMPLE	9,356	CUMPLE	25	Izquierda	-60,07	25,00	-35,07	3,78	21,22	CUMPLE
N 170	28,00	175	CUMPLE	8,722	CUMPLE	25	Izquierda	-56,00	22,50	-33,50	-3,53	26,03	CUMPLE
N 171	18,00	Recta	CUMPLE	3,605	CUMPLE	20	Derecha	0,00	0,00	0,00	1,46	1,46	CUMPLE
172D	22,00	Recta	CUMPLE	5,385	CUMPLE	20	Izquierda	0,00	0,00	0,00	2,18	2,18	CUMPLE
173 D	24,80	Recta	CUMPLE	6,842	CUMPLE	20	Derecha	0,00	0,00	0,00	2,77	2,77	CUMPLE
N 174	26,50	Recta	CUMPLE	7,813	CUMPLE	20	Izquierda	0,00	0,00	0,00	3,16	3,16	CUMPLE
N 175	12,20	Recta	CUMPLE	1,656	CUMPLE	20	Derecha	0,00	0,00	0,00	0,67	0,67	CUMPLE
N 176	12,20	Recta	CUMPLE	1,656	CUMPLE	20	Derecha	0,00	0,00	0,00	0,67	0,67	CUMPLE
N 177													

Datos	
Velocidad del viento (m/s)	26
Carga viento V (N/m)	5,4
Tensión cable T (N)	15000
Peso Hilo de contacto Cu 150 ETP (Kg/m)	1,335
Descentramiento estándar (cm)	20
Desviación lateral máxima (cm)	35
Diferencia máxima entre vanos contiguos (m)	10
Flecha vertical admisible (cm)	30
Descentramiento máximo elegido (cm)	25

Sevilla, octubre de 2024

Por la Empresa Consultora, IDOM Consulting, Engineering, Architecture

TÉCNICO ESPECIALISTA

Fdo.: Luis J. Cano Barbadillo
ITI (IDOM) NCº12.280