

Anejo 1
Acometidas Eléctricas en Baja Tensión en las paradas

1.	Introducción	1
2.	Normas de aplicación.	1
3.	Descripción de las obras	3
4.	Cálculos Justificativos.....	4
4.1.	Elección del nivel de aislamiento de los cables.....	4
4.2.	Cálculo de la sección.....	5
4.2.1.	Cálculo por calentamiento	5
4.2.2.	Calculo por Caída de Tensión	5
4.3.	Cálculos del cortocircuito máximo	6
4.4.	Cálculos de tendido del cable	7
4.5.	Cálculos de cable de acometida a transformadores	7
4.5.1.	Cálculo por calentamiento	7
4.5.2.	Cálculo del cortocircuito máximo	7
4.5.3.	Cálculo por caída de tensión	8

1. INTRODUCCIÓN

El presente anejo recoge los cálculos justificativos para la definición e instalación de las alimentaciones eléctricas en baja tensión (660 Vac) a las nuevas paradas que se instalarán con motivo de la ampliación del Metro Ligerero, las nuevas paradas son las siguientes:

NOMBRE	P.K.
San Francisco Javier – Ramón y Cajal	2+700
San Francisco Javier – Eduardo Dato	3+030
Parada provisional final de trayecto	3+424

2. NORMAS DE APLICACIÓN.

En todo aquello que no esté expresamente especificado en el presente proyecto, y tanto en lo que se refiere a la calidad de los materiales como a las condiciones para su puesta en obra, el Director de Obra, podrá exigir el cumplimiento de las disposiciones contenidas en las siguientes normas, las cuales se designarán, en general, cuando se haga referencia a ellas, con las abreviaturas que a continuación se indican:

- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.
- Reglamento electrotécnico para Baja Tensión.
- Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) BT 01 a BT 51.
- Normas de Referencia indicadas en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión:

Norma UNE	Título
UNE 20435:1990	Guía para la elección de cables de alta tensión
UNE 21022:1982	Conductores de cables aislados
UNE 21022/1M:1993	Conductores de cables aislados
UNE 21022-2:1985	Conductores de cables aislados. Guía sobre los límites dimensionales de los conductores circulares
UNE 21022-21M:1991	Conductores de cables aislados. Guía sobre los límites dimensionales de los conductores circulares
UNE 21030:1996	Conductores aislados cableados en haz de tensión asignada 0,6/1 kV, para líneas de distribución y acometidas
UNE 21123-1:1999	Cables eléctricos de utilización industrial de tensión asignada 0,6/1 kV. Parte 1: cables con aislamiento y cubierta de policloruro de vinilo

Norma UNE	Título
UNE 21123-2 1999	Cables eléctricos de utilización industrial de tensión asignada 0,6/1 kV. Parte 2 Cables con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de policloruro de vinilo.
UNE 21123-3 1999	Cables eléctricos de utilización industrial de tensión asignada 0,6/1 kV. Parte 3 Cables con aislamiento de etileno propileno y cubierta de policloruro de vinilo.
UNE 21123- 4 1999	Cables eléctricos de utilización industrial de tensión asignada 0,6/1 kV. Parte 4 Cables con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de poliolefina
UNE 21123-5 1999	Cables eléctricos de utilización industrial de tensión asignada 0,6/1 kV. Parte 5 Cables con aislamiento de etileno propileno y cubierta de poliolefina
UNE 21144-1-1 1997	Cables eléctricos. Cálculo de la intensidad admisible. Parte 1• Ecuaciones de intensidad admisible (factor de carga 100%) y cálculo de pérdidas Sección 1• Generalidades.
UNE 21144-1-2 1997	Cables eléctricos. Cálculo de la intensidad admisible. Parte 1• Ecuaciones de intensidad admisible (factor de carga 100%) y cálculo de pérdidas Sección 2• Factores de pérdidas por corrientes de Foucault en las cubiertas en el caso de dos circuitos en capas
UNE 21144-2-1 1997	Cables eléctricos. Cálculo de la intensidad admisible. Parte 2 Resistencia térmica. Sección 1• Cálculo de la resistencia térmica
UNE 21144-2-2 1997	Cables eléctricos. Cálculo de la intensidad admisible. Parte 2• Resistencia térmica. Sección 2• Método de cálculo de los coeficientes de reducción de la intensidad admisible para grupos de cables al aire y protegidos de la radiación solar.
UNE 21144-3-1 1997	Cables eléctricos. Cálculo de la intensidad admisible. Parte 3• Secciones sobre condiciones de funcionamiento. Sección 1• Condiciones de funcionamiento de referencia y selección del tipo de cable.
UNE 21150:1986	Cables flexibles para servicios móviles, aislados con goma de etileno propileno y cubierta reforzada de policloropreno o elastómero equivalente de tensión nominal 0,6/1kV.
UNE 21302-461 1990	Vocabulario electrotécnico. Capítulo 461: Cables eléctricos.
UNE 21302-461/1M 1995	Vocabulario electrotécnico. Capítulo 461: Cables eléctricos.
UNE 21302-461/2M 1999	Vocabulario electrotécnico. Capítulo 461: Cables eléctricos.
UNE 21302-6011991	Vocabulario electrotécnico. Capítulo 601 Producción, transporte y distribución de la energía eléctrica. Generalidades.
UNE 21302-601/1M 2000	Vocabulario electrotécnico. Capítulo 601 Producción, transporte y distribución de la energía eléctrica. Generalidades

Norma UNE	Título
UNE 365821986	Perfiles tubulares de acero, de pared gruesa, galvanizados, para blindaje de conducciones eléctricas. (tubo "Conduit")
UNE-EN 50086-1 1995	Sistemas de tubo para instalaciones eléctricas. Parte 1: Requisitos generales
UNE-EN 50086-1 ERRATUM 1996	Sistemas de tubos para instalaciones eléctricas. Parte 1: Requisitos generales
UNE-EN 50086-1 CORRIGENDUM2001	Sistemas de tubos para la conducción de cables. Parte 1: Requisitos generales
UNE-EN 50086-2-31997	Sistemas de tubos para instalaciones eléctricas. Parte 2-3: Requisitos particulares para sistemas de tubos flexibles.
UNE-EN 50086-2-3 CORRIGENDUM 2001	Sistemas de tubos para la conducción de cables. Parte 2-3: Requisitos particulares para sistemas de tubos flexibles.
UNE-EN 50086-2-3/A11: 1999	Sistemas de tubos para instalaciones eléctricas. Parte 2-3: Requisitos particulares para sistemas de tubos flexibles.
UNE-EN 50086-2-3/A11 CORRIGENDUM 2001	Sistemas de tubos para la conducción de cables. Parte 2-3: Requisitos particulares para sistemas de tubos flexibles.
UNE-EN 50086-2-3/A11	Sistemas de tubos para instalaciones eléctricas. Parte 2-3: Requisitos particulares para sistemas de tubos flexibles.
UNE-EN 604231999 ERRATUM 2000	Tubos de protección de conductores. Diámetros exteriores de los tubos para instalaciones eléctricas y roscas para tubos y accesorios particulares para sistemas de tubos flexibles.
UNE-EN 50086-2-4 1995	Sistemas de tubo para instalaciones eléctricas. Parte 2-4: Requisitos particulares para sistemas de tubos enterrados.
UNE-EN 50086-2-4 CORRIGENDUM 2001	Sistemas de tubos para la conducción de cables. Parte 2-4: Requisitos particulares para sistemas de tubos enterrados.
UNE-EN 50086-2-4/A1: 2001	Sistemas de tubos para la conducción de cables. Parte 2-4: Requisitos particulares para sistemas de tubos enterrados.
UNE-EN 50265-2-12001	Métodos de ensayo comunes para cables sometidos al fuego. Ensayo de resistencia a la propagación vertical de la llama para un conductor individual aislado o cable. Parte 2 Procedimientos. Sección 1: Llama premezclada de 1 kW. Parte 2-1.
UNE-EN 50266-2-1 2001	Métodos de ensayo comunes para cables sometidos al fuego Ensayo de propagación vertical de la llama de cables colocados en capas en posición vertical. Parte 2-1: Procedimientos. Categoría A F/R.
UNE-EN 50266-2-2 2001	Métodos de ensayo comunes para cables sometidos al fuego Ensayo de propagación vertical de la llama de cables colocados en capas en posición vertical. Parte 2-2 Procedimientos. Categoría A.
UNE-EN 50266-2-3 2001	Métodos de ensayo comunes para cables sometidos al fuego Ensayo de propagación vertical de la llama de cables colocados en capas en posición vertical. Parte 2-3 Procedimientos. Categoría B.

Norma UNE	Título
UNE-EN 50266-2-4 2001	Métodos de ensayo comunes para cables sometidos al fuego Ensayo de propagación vertical de la llama de cables colocados en capas en posición vertical. Parte 2-4 Procedimientos. Categoría C.
UNE-EN 50266-2-5 2001	Métodos de ensayo comunes para cables sometidos al fuego Ensayo de propagación vertical de la llama de cables colocados en capas en posición vertical. Parte 2-5 Procedimientos. Categoría D
UNE-EN 50267-1 1999	Métodos de ensayo comunes para cables sometidos al fuego Ensayo de gases desprendidos durante la combustión de materiales procedentes de los cables. Parte 1 Equipo
UNE-EN 50267-2-11999	Métodos de ensayo comunes para cables sometidos al fuego Ensayo de gases desprendidos durante la combustión de materiales procedentes de los cables. Parte 2 Procedimientos. Sección 1: Determinación de la cantidad de gases halógenos ácidos.
UNE-EN 50266-2-1 2001	Métodos de ensayo comunes para cables sometidos al fuego Ensayo de propagación vertical de la llama de cables colocados en capas en posición vertical. Parte 2-1: Procedimientos. Categoría A F/R.
UNE-EN 50266-2-2 2001	Métodos de ensayo comunes para cables sometidos al fuego Ensayo de propagación vertical de la llama de cables colocados en capas en posición vertical. Parte 2-2 Procedimientos. Categoría A.
UNE-EN 50266-2-3 2001	Métodos de ensayo comunes para cables sometidos al fuego Ensayo de propagación vertical de la llama de cables colocados en capas en posición vertical. Parte 2-3 Procedimientos. Categoría B.
UNE-EN 50266-2-4 2001	Métodos de ensayo comunes para cables sometidos al fuego Ensayo de propagación vertical de la llama de cables colocados en capas en posición vertical. Parte 2-4 Procedimientos. Categoría C.
UNE-EN 50266-2-5 2001	Métodos de ensayo comunes para cables sometidos al fuego Ensayo de propagación vertical de la llama de cables colocados en capas en posición vertical. Parte 2-5 Procedimientos. Categoría D
UNE-EN 50267-1 1999	Métodos de ensayo comunes para cables sometidos al fuego Ensayo de gases desprendidos durante la combustión de materiales procedentes de los cables. Parte 1 Equipo
UNE-EN 50267-2-11999	Métodos de ensayo comunes para cables sometidos al fuego Ensayo de gases desprendidos durante la combustión de materiales procedentes de los cables. Parte 2 Procedimientos. Sección 1: Determinación de la cantidad de gases halógenos ácidos.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

Con objeto de optimizar las secciones de los cables, dadas las grandes longitudes de tirada, las alimentaciones eléctricas a las nuevas paradas de la línea del Metro Ligero en superficie de Sevilla serán en 660 Vac de tensión nominal igual que para los tramos anteriores. En los cuadros eléctricos de las nuevas paradas se instalarán un transformador de 660 V / 400 V para dar servicio en baja tensión a todos los consumidores eléctricos de la instalación.

La distribución de las alimentaciones a la Estación se hace en anillo uniendo las salidas de la Subestación ubicada en COCHERAS con la salida de la Subestación localizada en PLAZA NUEVA, asegurando así la redundancia en las alimentaciones a cada estación ya que pueden ser alimentadas bien desde COCHERAS, bien desde PLAZA NUEVA.

En condiciones normales, las nuevas paradas estarán alimentada desde COCHERAS, evitando el acoplamiento entre ambas por medio de los interruptores de acometida de cada cuadro que se describen en el Anejo 2 – Instalación eléctrica en Paradas.

Esta fase consta de las siguientes paradas:

E6: San Francisco Javier – Ramón y Cajal

A continuación, se describen de modo general, las actuaciones principales para la definición e instalación de dichas alimentaciones.

1. Instalación de Cuadro General de 0,6 kV dotados de:
 - a. Dos interruptores automáticos motorizados de 660 V para la entrada – salida de la línea de 660 V
 - b. Un interruptor automático de protección del transformador de potencia 660/420 V, de 50 KVA
2. Modificación del software para la integración en el mando y telemando de la Subestación y el Puesto de Control la nueva Parada
3. Modificación del SCADA para la integración en el mismo de la nueva Parada.
4. En la parada de San Bernardo se empleará uno de los interruptores automáticos existentes para darle continuidad a la línea de 660 V desde ésta parada hasta la nueva parada de San Francisco Javier – Ramón y Cajal
5. Prolongación de la canalización entubada desde la parada de San Bernardo hasta la nueva parada de San Francisco Javier – Ramón y Cajal
6. Suministro y tendido de los cables de alimentación, cada uno de ellos formado por una terna de cables unipolares de 150 mm² en cobre, por la canalización entubada existente a ambos lados de la plataforma a lo largo de toda la traza tranviaria entre la parada de San Bernardo y la nueva parada. El tendido se realizará en una sola tirada sin empalmes.

7. Ejecución de las acometidas y de las salidas a los cuadros eléctricos de baja tensión de cada parada.
8. Suministro de instalación de los terminales y conexión de los cables a las salidas en la Subestación de COCHERAS, y a la acometida en el cuadro de la nueva parada.
9. Desde la Parada de Ramon y Cajal se tenderá una alimentación en baja tensión hacia el cuadro general de distribución que se instalará en el túnel para dar servicio a los consumidores del túnel
10. Inspecciones, pruebas y puesta en marcha de la instalación.

E7: San Francisco Javier – Eduardo Dato

A continuación, se describen de modo general, las actuaciones principales para la definición e instalación de dichas alimentaciones.

1. Instalación de Cuadro General de 0,6 kV dotados de:
 - a. Dos interruptores automáticos motorizados de 660 V para la entrada – salida de la línea de 660 V
 - b. Un interruptor automático de protección del transformador de potencia 660/420 V, de 31,5 KVA
2. Modificación del software para la integración en el mando y telemando de la Subestación y el Puesto de Control la nueva Parada
3. Modificación del SCADA para la integración en el mismo de la nueva Parada.
4. Desde la parada de San Francisco Javier – Ramon y Cajal se alimentará a esta parada usando el interruptor de salida de 660 V que se instalará en la estación de Ramón y Cajal
5. Prolongación de la canalización entubada desde la parada de San Francisco Javier – Ramón y Cajal hasta la nueva parada de San Francisco Javier – Eduardo Dato
6. Suministro y tendido de los cables de alimentación, cada uno de ellos formado por una terna de cables unipolares de 150 mm² en cobre, por la canalización entubada existente a ambos lados de la plataforma a lo largo de toda la traza tranviaria entre la parada de San Bernardo y la nueva parada. El tendido se realizará en una sola tirada sin empalmes.
7. Ejecución de las acometidas y de las salidas a los cuadros eléctricos de baja tensión de cada parada.
8. Suministro de instalación de los terminales y conexión de los cables a las salidas en la Subestación de COCHERAS, y a la acometida en el cuadro de la nueva parada.
9. Desde la parada de Eduardo Dato se alimentará en baja tensión 400 V a las estación provisional de Luis de Morales
10. Inspecciones, pruebas y puesta en marcha de la instalación.

E8: Parada Provisional – Final de Trayecto

A continuación, se describen de modo general, las actuaciones principales para la definición e instalación de dichas alimentaciones. Al ser una instalación provisional y las cargas eléctricas son limitadas se ha optado por alimentar eléctricamente esta parada en 0,4 kV desde la parada de Eduardo Dato simplificando así el equipamiento a instalar.

1. Instalación de Cuadro General de 0,4 kV dotados de:
 - a. Interruptor de 400 V de llegada desde la parada de Eduardo Dato
 - b. Interruptores Automáticos de salida a cada uno de los consumidores.
2. Modificación del software para la integración en el mando y telemando de la Subestación y el Puesto de Control la nueva Parada
3. Modificación del SCADA para la integración en el mismo de la nueva Parada.
4. Prolongación de la canalización entubada desde la parada de San Bernardo hasta la nueva parada de Final de Trayecto
5. Suministro y tendido de los cables de alimentación, cada uno de ellos formado por una terna de cables unipolares de 150 mm² en cobre, por la canalización entubada existente a ambos lados de la plataforma a lo largo de toda la traza tranviaria entre la parada de San Bernardo y la nueva parada. El tendido se realizará en una sola tirada sin empalmes.
6. Ejecución de las acometidas y de las salidas a los cuadros eléctricos de baja tensión de cada parada.
7. Suministro de instalación de los terminales y conexión de los cables a las salidas en la Subestación de COCHERAS, y a la acometida en el cuadro de la nueva parada.
8. Inspecciones, pruebas y puesta en marcha de la instalación.

4. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Para la elección del cable desde el punto de vista eléctrico, los datos a considerar son:

- Tensión nominal de la red (U_0/U) o bien la tensión más elevada de la red (U_m),
- Categoría de la red, en función de su comportamiento frente a la falta a tierra,
- Potencia a transportar,
- Longitud de la línea,
- Condiciones de instalación.

La elección consiste en determinar la tensión nominal del cable y la sección del conductor. Se debe elegir la sección del conductor de entre las secciones normalizadas que figuran en la norma particular del cable considerado.

Los cables de alimentación se calculan bajo 4 condiciones, adoptándose finalmente la mayor sección obtenida. Estas condiciones de cálculo son las siguientes:

- Tensión de aislamiento.
- Cálculo por cortocircuito.
- Cálculo por calentamiento.
- Caída de tensión máxima admisible en el cable.

4.1. Elección del nivel de aislamiento de los cables

La tensión nominal del cable U_0/U se elige en función de la tensión nominal de la red y del sistema de puesta a tierra. Según la Norma UNE 20435-1, las redes se clasifican en tres categorías:

- Categoría A: Categoría en la que los defectos se eliminan tan rápidamente como sea posible y en cualquier caso antes de 1 min.
- Categoría B: Esta categoría comprende las redes que, en caso de defecto, sólo funcionan con una fase a tierra durante un tiempo limitado. Generalmente, la duración de este funcionamiento no debería exceder de 1 hora, pero podrá admitirse una duración mayor cuando así se especifique en la norma particular del cable considerado.
- Categoría C: Esta categoría comprende todas las redes no incluidas en la categoría A ni en la B

En esta instalación los transformadores son del tipo Dyn11, con neutro aislado de tierra, esquema tipo IT. En estas configuraciones en caso de producirse un sólo defecto de una fase a tierra, la corriente de falta es de poca intensidad y no se produce el corte tan sólo se señala una alarma con los controladores permanentes de aislamiento. Por lo tanto, la categoría de la red es la C.

La tensión nominal es 660V, con los transformadores con tomas de regulación que impedirán que se supere este valor. En las instalaciones con neutro aislado, un fallo a tierra de una de las fases provoca una sobretensión sobre el resto de las fases del 73%, por lo que la tensión más elevada que se puede esperar en la red es 1142 V.

Los cables seleccionados son 0,6/1kV, ya que según la tabla 1 de la Norma UNE 20435-2 este aislamiento de los cables es válido para redes de categoría A, B ó C y la tensión más elevada de la red que soportan (U_m) es de 1,2 kV.

4.2. Cálculo de la sección

4.2.1. Cálculo por calentamiento

Datos de partida:

- Nivel de tensión 0,6/1 kV
- Conductor: Cobre
- Aislamiento: Etileno propileno (EPR ó HEPR)
- Instalación: Enterrada a 0,5 m de profundidad.
- Una terna de cables unipolares por conducto.
- Temperatura del terreno: 25 °C
- Resistividad térmica del terreno: 1 K.m/W

Bajo el aspecto térmico, la sección de los conductores se determina en función de la intensidad permanente admisible según las condiciones de instalación o la de cortocircuito prevista en la red, considerando siempre el caso más desfavorable. En Baja Tensión, debido a los tiempos de despeje de faltas, la duración de los cortocircuitos es baja por lo que es más restrictivo calcular la sección a partir de la intensidad permanente admisible, que en Baja Tensión puede ser alta.

Los coeficientes de corrección a aplicar en función de las condiciones de instalación son los siguientes:

- Kt1 = 0,8 coeficiente de corrección para cables tripolares o terna de cables unipolares enterrados en una zanja de gran longitud, en el interior de tubos o similares. Referencia tomada de la ITC (BT) 07, Sección 3.1.3.
- Kt4 = 0,64 coeficiente de corrección para cables enterrados, con 5 cables de fuerza en la misma zanja y con una separación aproximada de 7 cm. Referencia tomada de la ITC (BT) 07, Sección 3.1.2.2.3.

Por lo tanto, para una instalación entubada en el interior de zanjas con alimentaciones de fuerza, el coeficiente corrector será: $K = Kt1 \times Kt2 = 0,512$.

Para el cálculo de la intensidad máxima que circulará por la línea se considera la situación degradada en la que todas las subestaciones se alimentan desde una subestación de tracción. Para dicho cálculo se considera la siguiente potencia instalada en cada una de las paradas:

- San Bernardo 31,5 kVA (no es objeto del presente proyecto pero se tiene en cuenta para dimensionar el cable, se deberá confirmar la potencia real instalada y ajustar el diseño en caso necesario).
- Ramón y Cajal: 50 kVA

- Eduardo Dato: 31,5 kVA
- Final de Trayecto (Santa Justa) 31,5 kVA (no es objeto del presente proyecto pero se tiene en cuenta para dimensionar el cable).

Esto hace un total de 144,5 KVA instaladas, la intensidad demandada para esta potencia se calcula según la siguiente expresión:

$$I = \frac{S_{total}}{\sqrt{3} \cdot V_n \cdot K} = \frac{144,5}{\sqrt{3} \cdot 660 \cdot 0,512} = 246,88 \text{ A}$$

Según la ITC (BT) 07 tabla 5, en cobre y aislamiento EPR la sección normalizada mínima recomendada será de 50 mm². Para un cable de 150 mm² la capacidad de conducción es de 415 A.

4.2.2. Cálculo por Caída de Tensión

Para este tipo de instalaciones que se alimentan directamente en alta tensión mediante un transformador de distribución propio, se considerará que la instalación de baja tensión tiene su origen en las bornas de salida del transformador. En este caso las caídas de tensión admisibles son del 6,5% en fuerza, según ITC-BT-19, Sección 2.2.2. Por tanto estaría el límite en 617 V

La caída de tensión se calcula a partir de la expresión siguiente, considerando despreciable el efecto capacitivo:

$$AV(\%) = \frac{I_n \cdot L \cdot (R \cdot \cos\phi + X \cdot \sin\phi) \cdot \sqrt{3} \cdot 100}{V_n}$$

Donde:

- In: Intensidad nominal de fase, en A. L: Longitud total de la línea en km
- R: Resistencia del conductor, a 50 Hz y a la temperatura máxima del conductor, por unidad de longitud, en Ω/km
- X: Reactancia del conductor, a 50 Hz, por unidad de longitud, en Ω/km
- φ: Desfase entre la componente fundamental de la tensión y la intensidad. Se considerará un cos φ de 0,9.
- Vn: Tensión nominal, en V.

Se considera que en el futuro cuando el tranvía se amplíe hasta Santa Justa, en dicha localización habrá una nueva subestación que alimentará parte de las paradas comprendidas en el tramo entre la subestación de Cocheras y Santa Justa.

Régimen Normal.

Se considera régimen normal a que la subestación de Cocheras alimente a las siguientes paradas:

- San Bernardo 31,5 kVA (No es objeto del presente proyecto pero se tiene en cuenta para conocer la caída de tensión con la que se parte para la alimentación al nuevo tramo).
- Ramón y Cajal: 50 kVA
- Eduardo Dato: 31,5 kVA

Regimen Normal							
Parada	Potencia (W)	Potencia acumulada (W)	Longitud tramo (m)	L acum	ΔV	V Parada	ΔV (%)
San Bernardo *	31500	113000	650	650	18,62	641,38	2,82%
Ramón y Cajal	50000	81500	660	1310	13,64	627,74	4,89%
Eduardo Dato	31500	31500	350	1660	2,79	624,95	5,31%

* Se considera la longitud a la Subestación de Cocheras

Fallo subestación Cocheras

Por indicación de la dirección no se plantea la situación provisional de alimentar el trayecto solo desde las subestaciones de Plaza Nueva ya que obligaría a sobredimensionar la línea de 660 V solo por una situación provisional. Para el tiempo de provisionalidad se plantea solicitar acometidas independientes en baja tensión a la compañía distribuidora ENDESA, las cuáles acometerán directamente a los cuadros de BT de las paradas de San Francisco Javier y Eduardo Dato.

- Santa justa 31,5 kVA (No es objeto del presente proyecto pero se tiene en cuenta para conocer la caída de tensión con la que se parte para la alimentación al nuevo tramo).
- Eduardo Dato: 31,5 kVA
- Ramón y Cajal: 50 kVA

Regimen Degradado Cocheras						
Parada	Potencia (W)	Longitud tramo (m)	L acum	ΔV	V Parada	ΔV (%)
Santa Justa *	31500	100	50	3,66	656,34	0,56%
Eduardo Dato	31500	920	970	26,36	629,98	4,55%
Ramón y Cajal	50000	350	1320	7,23	622,75	5,64%
San Bernardo	31500	660	1980	5,27	617,48	6,44%

* Se estima la longitud a la Subestación de Santa Justa y la potencia instalada. Durante la fase de diseño y construcción de las tramos posteriores se deberán confirmar las estimaciones realizadas y ajustar los cálculos e instalación en caso de ser necesario.

Fallo subestación Santa Justa

Regimen Degradado Santa Justa						
Parada	Potencia (W)	Longitud tramo (m)	L acum	ΔV	V Parada	ΔV (%)
San Bernardo *	31500	650	650	23,81	636,19	3,61%
Ramón y Cajal	50000	660	1310	18,91	617,28	6,47%
Eduardo Dato	31500	350	1660	5,59	611,69	7,32%
Santa Justa	31500	920	2580	7,35	604,35	8,43%

* Se considera la longitud a la Subestación de Cocheras. Se estima la potencia instalada en la subestación de Santa Justa. Durante la fase de diseño y construcción de las tramos posteriores se deberán confirmar las estimaciones realizadas y ajustar los cálculos e instalación en caso de ser necesario.

Por tanto, se observa que en situaciones degradadas el control de la instalación debe realizar un deslastre de cargas, dejando sin servicio cargas no críticas, para poder mantener una caída de tensión máxima del 6,5 % en el punto más alejado desde la alimentación.

4.3. Cálculos del cortocircuito máximo

Considerando una tensión de cortocircuito del 6% de los transformadores de salida de la línea de 660 V y una potencia de 250 kVA. Su impedancia de cortocircuito es:

$$X_{cc660V} = 0,06 \cdot \frac{660^2}{250.000} = 0,105\Omega$$

Por tanto, su intensidad de cortocircuito es

$$I_{cc660V} = \frac{660}{\sqrt{3} \cdot 0,105} = 3,63kA$$

La sección mínima (s) que deberá presentar un conductor para soportar un cortocircuito de (Icc) en un tiempo determinado (t) resulta:

$$s = I_{cc} \cdot \frac{\sqrt{t}}{C}$$

Donde:

s: Sección del conductor (mm²)

$I_{cc} = 3,63 \text{ kA}$.

t: 1 s (dato a confirmar durante la ejecución de las obras)

C= 142 (para cobre)

$$s = I_{cc} \cdot \frac{\sqrt{t}}{C} = 3630 \cdot \frac{\sqrt{1}}{142} = 25,56 \text{ mm}^2 < 150 \text{ mm}^2$$

4.4. Cálculos de tendido del cable

El cálculo para el tendido del cable se ha realizado en etapas.

El cálculo se realiza, con un tendido de un cable cada vez, de forma que por cada etapa hay que meter tres cables. El coeficiente del peso lineal del cable será:

$$\text{Coeficiente corrector de peso (w)} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{d}{D-d}\right)^2}}$$

Siendo:

d diámetro exterior del cable (mm)

D diámetro interior del tubo (mm)

El cálculo del tendido se ha basado en tramos y en curvas.

Las fórmulas para determinar las tensiones y los esfuerzos radiales serán las siguientes:

- Tramo vertical $T_2 = T_1 + P \cdot L \cdot (\sin(\theta) + w \cdot f \cdot \cos(\theta))$
- Tramo horizontal $T_2 = T_1 + P \cdot w \cdot L \cdot f$
- Curva $T_2 = T_1 \cdot e^{(w \cdot f \cdot \theta)}$

Debido a que la tensión longitudinal máxima en el conductor de cobre es de 6 kg/mm², y como la sección del cable es de 150 mm², la máxima tensión admitida por el conductor deberá ser inferior a $T_{max} \leq (6 \cdot 150) = 900 \text{ kg}$

4.5. Cálculos de cable de acometida a transformadores

Los transformadores a instalar en las paradas de Eduardo Dato y Ramón Cajal serán de 31,5 kVA y 50 kVA respectivamente. El cable de alimentación a cada uno de ellos se calcula a continuación.

4.5.1. Cálculo por calentamiento

Como se ha explicado anteriormente, se utiliza la siguiente expresión:

- Para el transformador de 31,5 kVA

$$I = \frac{S_{total}}{\sqrt{3} \cdot V_n \cdot K} = \frac{31,5}{\sqrt{3} \cdot 660 \cdot 0,512} = 53,82 \text{ A}$$

Según la ITC (BT) 07 tabla 5, en cobre y aislamiento EPR la capacidad de conducción para un cable de 35 mm² Cu es de 185 A.

- Para el transformador de 50 kVA

$$I = \frac{S_{total}}{\sqrt{3} \cdot V_n \cdot K} = \frac{50}{\sqrt{3} \cdot 660 \cdot 0,512} = 85,42 \text{ A}$$

Según la ITC (BT) 07 tabla 5, en cobre y aislamiento EPR la capacidad de conducción para un cable de 50 mm² Cu es de 225 A.

4.5.2. Cálculo del cortocircuito máximo

El cortocircuito máximo en la red de 660 V es de 3.630 A como se ha justificado anteriormente, siendo la sección mínima a emplear de 25,56 mm² de cobre.

4.5.3. Cálculo por caída de tensión

Siguiente la formulación indicada anteriormente, la caída de tensión en el cable específico de acometida a los transformadores con las secciones anteriormente indicadas es prácticamente despreciable como se puede ver a continuación:

Cable Acometida Transformadores Paradas			
Potencia Transformador (W)	Longitud tramo (m)	L acum	ΔV (%)
50000	1	1	0,0060%
31500	1	1	0,0114%

Sevilla, Febrero de 2020

TÉCNICO ESPECIALISTA



Fdo: Alejandro Angulo Brito