

ANEJO Nº4 ACOMETIDA EN BAJA TENSIÓN EN PARADAS

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. NORMAS DE APLICACIÓN	2
3. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS.....	4
4. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	5
4.1. INTRODUCCIÓN	5
4.2. ELECCIÓN DEL NIVEL DE AISLAMIENTO	6
4.3. CÁLCULO DE LA SECCIÓN	6
4.3.1 Cálculo por calentamiento.....	6
4.3.2 Cálculo por caída de tensión.....	7
4.4. CÁLCULO DEL CORTOCIRCUITO MÁXIMO	8
4.5. CÁLCULOS DEL TENDIDO DEL CABLE	8
4.6. CÁLCULOS DEL CABLE DE ACOMETIDA A TRANSFORMADORES.....	8
4.6.1 Cálculo por calentamiento.....	8
4.6.2 Cálculo del cortocircuito máximo.....	9
4.6.3 Cálculo por caída de tensión.....	9

1. INTRODUCCIÓN

El presente anejo recoge los cálculos justificativos para la definición e instalación de las alimentaciones eléctricas en baja tensión (660 V_{ac}) a las nuevas paradas que se instalarán con motivo de la ampliación del Metro Ligerero de Sevilla (Metrocentro tramo IV). Las nuevas paradas se sitúan en los siguientes puntos kilométricos:

NOMBRE	P.K.
E8 Kansas City	0+447
E9 Santa Justa	1+107

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

Norma UNE	Título
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
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

Norma UNE	Título
	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 21302-601 1991	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
UNE 36582 1986	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 CORRIGENDUM 2001	Sistemas de tubos para la conducción de cables. Parte 1: Requisitos generales
UNE-EN 50086-2-3 1997	Sistemas de tubos para instalaciones eléctricas. Parte 2-3: Requisitos particulares para sistemas de tubos flexibles.

Norma UNE	Título
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
UNE-EN 60423 1999 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 50265-2-12 2001	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.

Norma UNE	Título
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.
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.

Norma UNE	Título
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 del cableado (y homogeneizar con el resto de los tramos en operación), dadas las grandes longitudes de tirada, las alimentaciones eléctricas a las nuevas paradas de la línea del Metro Ligero en superficie de Sevilla (Metrocentro) serán en 660 V_{ac} de tensión nominal, al igual que en los tramos anteriores. En los cuadros eléctricos de las nuevas paradas se instalará un transformador de 660 / 400 V, para dar servicio en baja tensión a todos los consumidores eléctricos de la instalación.

La distribución de las alimentaciones a cada parada (Estación) se hace en anillo, uniendo las salidas de la última de las paradas (Eduardo Dato situada en el Tramo III), alimentada desde S/E COCHERAS con la salida de la nueva Subestación localizada en SANTA JUSTA, asegurando así la redundancia en las alimentaciones a cada parada, ya que pueden ser alimentadas indistintamente, bien desde S/E COCHERAS, o desde S/E SANTA JUSTA.

En condiciones normales, las nuevas paradas estarán alimentadas desde S/E SANTA JUSTA, evitando el acoplamiento entre ambas posibilidades, por medio de los interruptores de acometida de cada cuadro, los cuales se describen en el **Anejo 5 – Instalación eléctrica en Paradas**.

Esta Fase IV del Metrocentro, consta de las siguientes paradas:

E8: Parada de Kansas City

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 dotado 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 de esta nueva parada
3. Modificación del SCADA para la integración en el mismo de esta nueva parada.
4. En la parada de (Eduardo Dato Tramo III) se empleará uno de los interruptores automáticos existentes para darle continuidad a la línea de 660 V desde esta parada hasta la presente nueva parada.
5. Prolongación de la canalización entubada desde la parada provisional de Luis de Morales (Tramo III), hasta la nueva parada de E8 Kansas City y de ahí al resto del tramo IV.
6. Suministro y tendido de los cables de alimentación, 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 desde la parada provisional de Luis de Morales y la nueva parada de E8 Kansas City. 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 la parada.
8. Suministro de instalación de los terminales y conexión de los cables a la acometida en el cuadro de la nueva parada (E8 Kansas City), conexión con la anterior (Eduardo Dato Tramo III) y la posterior (E9 Santa Justa Terminal).
9. Inspecciones, pruebas y puesta en marcha de la instalación.

E9: Parada de Santa Justa (Terminal)

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

1. Instalación de Cuadro General de 0,66 kV dotado 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 de esta nueva parada
3. Modificación del SCADA para la integración en el mismo de esta nueva parada.
4. Desde la S/E SANTA JUSTA se alimentarán ambas paradas usando los interruptores de salida de 660 V que se instalarán en cada estación.
5. Prolongación de la canalización entubada desde la parada de **E8 Kansas City** hasta **E9 San Justa (Terminal)** y de ahí a la S/E.
6. Suministro y tendido de los cables de alimentación, formado por una terna de cables unipolares de 150 mm² en cobre, por la prolongación de la canalización entubada existente a ambos lados de la plataforma a lo largo de toda la traza tranviaria entre ambas nuevas paradas (tramo IV) y hasta la S/E SANTA JUSTA. 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 la parada.
8. Suministro de instalación de los terminales y conexión de los cables a las salidas en la nueva Subestación de SANTA JUSTA, a la acometida en el cuadro de la nueva parada (E9 Santa Justa Terminal) y conexión con la anterior (E8 Kansas City).
9. Inspecciones, pruebas y puesta en marcha de la instalación.

4. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

4.1. INTRODUCCIÓN

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

- Tensión nominal de la red (U_o/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.

4.2. ELECCIÓN DEL NIVEL DE AISLAMIENTO

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 660 V, 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 0,6/1 kV, 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 o C y la tensión más elevada de la red que soportan (U_m) es de 1,2 kV.

4.3. CÁLCULO DE LA SECCIÓN

4.3.1 Cálculo por calentamiento

Datos de partida:

- Nivel de tensión 0,6/1 kV
- Conductor: Cobre
- Aislamiento: Etileno propileno (EPR o 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:

- $K_{t1} = 0,8$ 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.
- $K_{t4} = 0,64$ 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: $K = K_{t1} \cdot K_{t2} = 0,512$.

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 que pueden ser alimentadas desde S/E Santa Justa o desde S/E Cocheras:

- San Francisco Javier (Tramo III): 50 kVA.
- (No es objeto del presente proyecto, pero se tiene en cuenta para el dimensionamiento del cuadro)
- Eduardo Dato (Tramo III): 31,5 kVA.

- (No es objeto del presente proyecto, pero se tiene en cuenta para el dimensionamiento del cuadro)
- E8 Kansas City:** 31,5 kVA.
- E9 Santa Justa:** 31,5 kVA.

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.

4.3.2 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:

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

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 SANTA JUSTA alimente a las siguientes paradas:

- E8 Kansas City:** 31,5 kVA.
- E9 Santa Justa:** 31,5 kVA.

Situación Normal

Régimen Normal							
Parada	Potencia (w)	Pot. Acum. (w)	Long. Tramo (m)	L Acum. (m)	Incr. V	V Parada	Incr. V %
Santa Justa	31.500,00	63.000,00	150,00	150,00	2,40	647,60	1,88%
Kansas City	31.500,00	31.500,00	447,00	597,00	2,40	645,20	2,24%

Situación prolongada. (Podría seccionarse a mitad tramo III)

Régimen Normal (Prolongado-FIII-FIV)							
Parada	Potencia (w)	Pot. Acum. (w)	Long. Tramo (m)	L Acum. (m)	Incr. V	V Parada	Incr. V %
Santa Justa	31.500,00	144.500,00	150,00	150,00	5,49	644,51	2,35%
Kansas City	31.500,00	113.000,00	447,00	597,00	8,62	635,89	3,65%
Eduardo Dato	31.500,00	81.500,00	660,00	1.257,00	13,09	622,80	5,64%
Ramón y Cajal	50.000,00	50.000,00	350,00	1.607,00	10,27	612,53	7,19%

Situación Degradada-Fallo en SE Cocheras. (Podría alimentarse el tramo III y IV, incluso SB)

Régimen Degradado (Prolongado-SB-FIII-FIV)							
Parada	Potencia (w)	Pot. Acum. (w)	Long. Tramo (m)	L Acum. (m)	Incr. V	V Parada	Incr. V %
Santa Justa	12.500,00	80.500,00	150,00	150,00	3,06	646,94	1,98%
Kansas City	12.500,00	68.000,00	447,00	597,00	5,19	641,75	2,76%
Eduardo Dato	12.500,00	55.500,00	660,00	1.257,00	8,91	632,84	4,12%
Ramón y Cajal	30.500,00	43.000,00	350,00	1.607,00	8,83	624,01	5,45%
San Bernardo	12.500,00	12.500,00	660,00	2.267,00	3,62	620,39	6,00%

Fallo S/E Santa Justa

Situación prolongada. (No podría alimentarse tramo III y IV)

Régimen Normal (Prolongado)							
Parada	Potencia (w)	Pot. Acum. (w)	Long. Tramo (m)	L Acum. (m)	Incr. V	V Parada	Incr. V %
San Bernardo	31.500,00	176.000,00	650,00	650,00	29,00	621,00	5,91%
Ramon y Cajal	50.000,00	144.500,00	660,00	1.310,00	24,18	596,82	9,57%
Eduardo Dato	31.500,00	94.500,00	350,00	1.660,00	8,37	588,45	10,84%
Kansas City	31.500,00	63.000,00	447,00	2.107,00	7,08	581,36	11,91%
Santa Justa	31.500,00	31.500,00	660,00	2.767,00	4,65	576,71	12,62%

Situación degradada-Fallo en SE Santa Justa. (Podría alimentarse el tramo III y IV, incluso SB)

Régimen Degradado (Prolongado-SB-FIII-FIV)							
Parada	Potencia (w)	Pot. Acum. (w)	Long. Tramo (m)	LAcum. (m)	Incr. V	V Parada	Incr. V %
San Bernardo	12.500,00	80.500,00	650,00	650,00	13,26	636,74	3,52%
Ramon y Cajal	30.500,00	68.000,00	660,00	1.310,00	11,38	625,35	5,25%
Eduardo Dato	12.500,00	37.500,00	350,00	1.660,00	3,32	622,03	5,75%
Kansas City	12.500,00	25.000,00	447,00	2.107,00	2,81	619,22	6,18%
Santa Justa	12.500,00	12.500,00	660,00	2.767,00	1,85	617,38	6,46%

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.

Por la proximidad, ante un fallo en S/E COCHERAS podría alimentarse en situación degradada la totalidad de los tramos (III) y (IV), sin embargo, no es posible hacer esa misma maniobra desde S/E COCHERAS ante un fallo en S/E SANTA JUSTA.

4.4. CÁLCULO 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:

$$X_{cc660V} = 0,06 \cdot \frac{660^2}{250.000} = 0,104 \Omega$$

Por tanto, su intensidad de cortocircuito es

$$I_{cc660V} = \frac{660}{\sqrt{3} \cdot 0,261} = 3,65 \text{ kA}$$

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)

Icc = 3,65 kA.

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

C= 142 (para cobre)

$$s = I_{cc} \cdot \frac{\sqrt{t}}{C} = 3650 \cdot \frac{\sqrt{1}}{142} = 25,70 \text{ mm}^2 < 150 \text{ mm}^2$$

4.5. CÁLCULOS DEL 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 $T_2 = T_1 + P \cdot L \cdot (\text{Sin}(\theta) + w \cdot f \cdot \text{Cos}(\theta))$
- 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 $T_{\max} \leq (6 \cdot 150) = 900 \text{ kg}$

4.6. CÁLCULOS DEL CABLE DE ACOMETIDA A TRANSFORMADORES

Los transformadores que se instalarán en las paradas de **E8 Kansas City** y **E9 Santa Justa** serán ambos de 31,5 kVA. El cable de alimentación se calcula a continuación.

4.6.1 Cálculo por calentamiento

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

Transformador de 31,5 kVA

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

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.

4.6.2 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 sería de 25,56 mm² Cu.

4.6.3 Cálculo por caída de tensión

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

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

Sevilla, octubre de 2024

Por la Empresa Consultora, IDOM Consulting, Engineering, Architecture

TÉCNICO ESPECIALISTA

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