KAANBAL

PROGRAMA DE TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO

TREN MAYA

TSÍIMIN K'ÁAK

Lección 4

Lección 4

CURSO 4

Energía Eléctrica

con Isaac Fonseca Monrreal

TREN MAYA
TSÍIMIN K'ÁAK

ÍNDICE
DE IMÁGENES

Imagen 1 e Imagen 2: Tipos de subestaciones eléctricas 4

Imagen 3: Transformador 4

Imagen 4: Interruptor de potencia 5

Imagen 5: Restaurador 5

Imagen 6: Cuchilla de fusible 5

Imagen 7: Tipos de Cuchillas desconectadoras 6

Imagen 8: Apartarrayos 6

Imagen 9: Transformadores de instrumento° 7

Imagen 10: Cajas derivadoras 7

Imagen 11: Condensadores 7

Imagen 12: Dispositivos de medida 8

Imagen 13: Subestación de transformación 8

Imagen 14: Subestación de maniobras 8

Imagen 15: Subestación de tracción 9

Imagen 16 Subestación eléctrica de tracción: 10

Imagen 17 Subestación eléctrica de Tracción de Corriente Alterna 10

Imagen 18 Seccionador de entrada con puesta a tierra 11

Imagen 19: Transformadores de media tensión 12

Imagen 20: Interruptor de Potencia 12

Imagen 21: Conexión de las subestaciones de un sistema de corriente alterna..... 14

Imagen 22: Distribución de corriente en el sistema 1x25 KV CA 14

Imagen 23: Sistema 1x25 KV CA con cable de retorno 15

Imagen 24: Sistema 2x25 KV CA 16

Imagen 25: Distribución de intensidades del sistema 2x25 KV CA 16

Imagen 26: Subestación eléctrica de Tracción de Corriente Continua 17

Imagen 27: Seccionador de entrada con puesta a tierra 17

Imagen 28: Seccionador de entrada con puesta a tierra 19

Imagen 29: Conexiones Eléctricas 20

Lección 4

SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE TRACCIÓN

Subestación Eléctrica

Es una instalación destinada a establecer los niveles de tensión adecuados para producir, convertir, regular y distribuir la energía eléctrica. Normalmente se ubican en la periferia de las zonas de consumo, en el interior o exterior de los edificios para ahorrar espacio, aunque también se encuentran cerca de las centrales generadoras, a las afueras de los núcleos urbanos con instalaciones al aire libre.

Las subestaciones eléctricas están diseñadas para soportar y transformar tensiones más bajas y sirven para la producción, conversión, transformación, regulación y distribución de la energía. Gracias a esta infraestructura se distribuye la electricidad, llegando a diferentes zonas geográficas.

Imagen 1 e Imagen 2: Tipos de subestaciones eléctricas

Fuente: RTE. (s. f.). Tipos de subestaciones eléctricas. RTE México. https://rte.mx/tipos-de-subestaciones-electricas y American Electrical. (n.d.). Subestaciones eléctricas. American Electrical. https://www.american-electrical.net/producto/-subestaciones-electricas/

Componentes de una subestación eléctrica

- Transformador: Se trata de una máquina eléctrica estática que sirve para aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia y la potencia.

Imagen 3: Transformador

Fuente: SISDASA. (s.f.). Transformadores y subestaciones. SISDASA. http://www.sisdasa.com/transformadores-y-subestaciones.html

- Interruptor de potencia: Interrumpe y restablece la continuidad de un circuito eléctrico. Dicha interrupción se efectúa con carga o corriente de corto circuito.

Imagen 4: Interruptor de potencia

Fuente: Sánchez Milla, J. (s.f.). Gestión del mantenimiento de interruptores de potencia. LinkedIn.

- Restaurador: Es una pieza electromecánica que interrumpe la corriente cuando se produce un exceso de electricidad y actúa cuando se genera una falla en el circuito. Los restauradores están diseñados para funcionar con 3 operaciones de cierre y 4 aperturas con un intervalo entre una y otra.

Imagen 5: Restaurador

Fuente: ITEPEYAC. (s. f.). Restauradores. https://itepeyac.com/restauradores

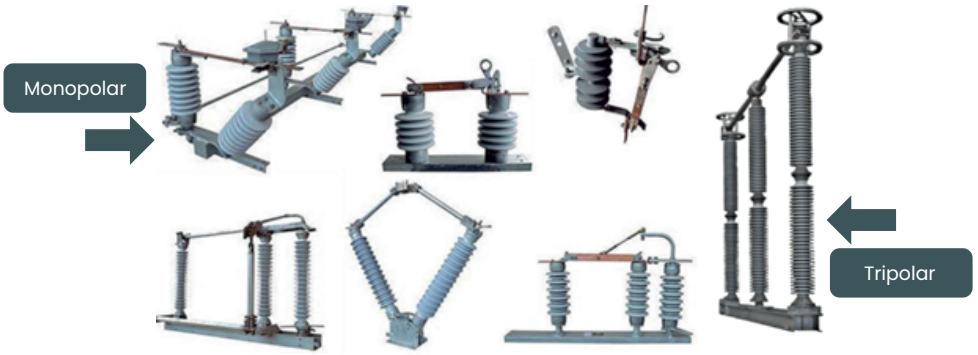
- Cuchillas fusibles: Son elementos de conexión y desconexión de circuitos eléctricos con una doble función. Por un lado, como cuchillas desconectadoras, se conecta y desconecta. Por otro lado, actúa como elemento de protección del fusible y se utiliza cuando se registra una sobre corriente.

Imagen 6: Cuchilla de fusible

Fuente: Gastelum. (s.f.). Cuchilla cortacircuito 15 kV en V IUSA. de https://www.gastelum.com.mx/00220200-cuchilla-corta-circuito-15-kv-en-v-iusa

- Cuchillas desconectadoras: Sirven para desconectar físicamente un circuito eléctrico, por lo que suelen operar sin carga. Estas cuchillas funcionan de manera mecánica y también manualmente.

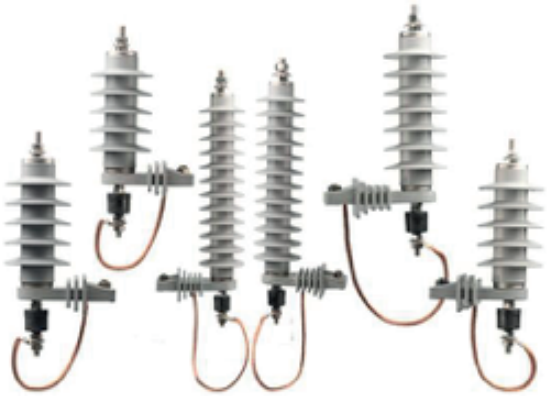
Imagen 7: Tipos de Cuchillas desconectadoras (monopolar y tripolar)



Referencia: director Industrial. (n.d.). Cuchillas monopolar y tripolar. Director Industrial. https://www.dirind.com/pro/cuchillas-monopolar-tripolar.html

- Apartarrayos: Se encargan de mantener alejados los rayos cuando hay una sobretensión de cierta magnitud, los apartarrayos forman un arco eléctrico que hace que la corriente se descargue sobre la tierra y no sobre las personas o los equipos e instalaciones.

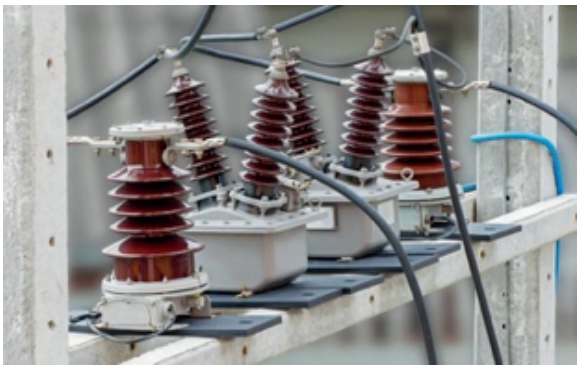
Imagen 8: Apartarrayos



Fuente: Eprecsa. (n.d.). Apartarrayos. Eprecsa. https://www.eprecsa.mx/apartarrayos/

- Transformadores de instrumento: Son los aparatos encargados de medir la corriente eléctrica. Existen dos tipos: transformadores de corriente (TC), para cambiar el valor de la corriente, y transformadores de potencial (TP), para transformar los valores de voltaje sin tomar en cuenta la corriente. Ambos valores se utilizan en tiempo real en instrumentos de medición, control y protección que requieren las señales de corriente o voltaje.

Imagen 9: Transformadores de instrumento°



Fuente: Compra Co. (s.f.). Transformadores de instrumentos: definições, tipos e aplicações. Compra Co. https://compraco.-com.br/es/blogs/tecnologia-e-desenvolvimento/transformadores-de-instrumentos-definicoes-tipos-e-aplicacoes

- Cajas derivadoras: Son las terminales de conexión por fase que permiten hacer derivaciones y llegar hasta zonas específicas.

Imagen 10: Cajas derivadoras

Fuente: Alianza Eléctrica. (s.f.). Caja derivadora 3 vías OCC 15kV 200A Elastimold. Alianza Eléctrica. https://tienda.alianzaelec-trica.com/products/caja-derivadora-3-vias-occ-15kv-200a-elastimold

- Condensadores: Permiten conservar la energía eléctrica que se produce en un campo eléctrico. A través de dos conductores separados por material aislante se almacena energía de manera temporal.

Imagen 11: Condensadores

Recuperado: Tecsa. (s.f.). Fallas de los bancos de capacitores. Tecsa. https://www.tecsaqro.com.mx/blog/fa-llas-de-los-bancos-de-capacitores/

- Dispositivos de medida: son los instrumentos que se encargan de hacer todas las mediciones de energía que entran y salen de la subestación eléctrica.

  Entre estos dispositivos encontramos los contadores, medidores de corriente, etc.

Imagen 12: Dispositivos de medida

Recuperado: Eléctrica Aplicada. (s.f.). Mantenimiento de subestaciones. Electrónica Aplicada. https://electricaplicada.com/-mantenimiento-subestaciones/

Tipos de subestaciones eléctricas

- Subestación de transformación: Tienen uno o varios transformadores que elevan o reducen la tensión.

Imagen 13: Subestación de transformación

Fuente: Dielco. (n.d.). Transformación de subestación eléctrica de media tensión [Imagen]. https://www.dielco.co/l%C3%AD-neas-de-negocio-dielco/transformacion-subestacion-electrica-media-tension

- Subestación de maniobra: Se conectan dos o más circuitos. No se sube ni se baja la tensión, sino que sirve como nodo en el sistema eléctrico.

Imagen 14: Subestación de maniobras

Fuente: Hidalgo, R. C. (n.d.). Patio de maniobras [Imagen]. https://rchidalgo.wordpress.com/tag/patio-de-maniobras/

- Subestación de tracción o rectificación: Sirve para alimentar una red de corriente eléctrica continua.

Imagen 15: Subestación de tracción

Fuente: Cymisa. (n.d.). Subestaciones de tracción [Imagen]. https://www.cymisa.com/areas-de-negocio/ferrocarriles-y-metro/subestaciones-de-traccion/

Subestación eléctrica de tracción

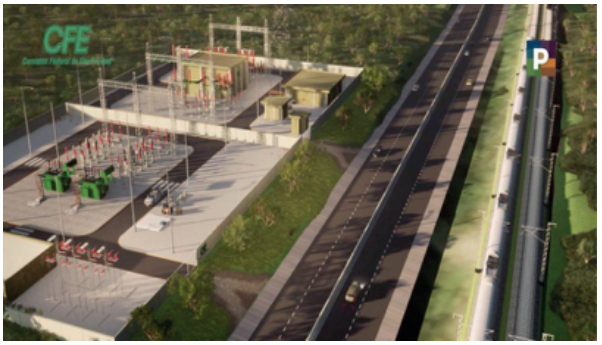
La subestación de tracción es la instalación en la que se realiza la conexión de los tramos de la electrificación a la red trifásica de transporte. Para ello, se realiza la transformación de tensiones desde los niveles de la red trifásica a los niveles de la catenaria, con previa rectificación en los sistemas de corriente continua. La conexión de la subestación de tracción a la red trifásica correspondiente se realiza mediante una línea aérea que conecta la subestación de tracción a una subestación de transporte de la red.

Las subestaciones de tracción son componentes esenciales en la infraestructura ferroviaria que suministran energía eléctrica a los trenes para su movimiento y funcionamiento. Estas instalaciones desempeñan un papel crítico en la electrificación de las vías ferroviarias, ya que convierten la energía de la red eléctrica en la forma adecuada para alimentar los motores de tracción de los trenes. En otras palabras, son el corazón del sistema de energía que impulsa los ferrocarriles eléctricos.

La función principal de esta instalación es transformar la corriente alterna de la red de transporte o distribución, a la corriente adecuada que precisa el material rodante de tracción eléctrica. La Subestación Eléctrica de Tracción (SET) también es la encargada de albergar los elementos de protección de la línea de transmisión, por lo que se trata de una segunda función primordial en el sistema.

Fuente: Hidalgo, R. C. (n.d.). Patio de maniobras [Imagen]. https://rchidalgo.wordpress.com/tag/patio-de-maniobras/

Imagen 16Subestación eléctrica de tracción:



Fuente: Noticaribe Peninsular. (2024). Tren Maya: electrificación de la CFE en las rutas. Noticaribe Peninsular. https://noticaribepeninsular.com.mx/tren-maya-electrificacion-cfe-rutas/

Tipos

Se considerarán dos tipos principales de Subestación Eléctrica de Tracción en función del tipo de corriente a suministrar a la línea de transmisión: SET de corriente alterna (SET CA) y SET de corriente continua (SET CC).

Subestación Eléctrica de Tracción de Corriente Alterna

El elemento principal del recinto es el transformador de potencia que, según el tipo de conexión en el devanado primario (acometida monofásica o trifásica), le hará tener características constructivas distintas. En todos los casos se diferencia un circuito eléctrico de alto nivel de tensión conectado al primario del transformador (formado, normalmente, por aparellaje variado de intemperie con funciones de corte, protección y medida eléctrica).

El circuito eléctrico del devanado secundario, con un valor de tensión nominal de 25 000 V y frecuencia industrial de 50 o 60 Hz, también está formado por el aparellaje anterior, así como instalaciones específicas de puesta a tierra, servicios auxiliares y telemando.

Imagen 17 Subestación eléctrica de Tracción de Corriente Alterna

Fuente: CYMISA. Subestaciones de tracción. https://www.cymisa.com/areas-de-negocio/ferrocarriles-y-metro/subestaciones-de-traccion/

Componentes de la SET CA

El elemento principal del recinto es el transformador de potencia que, según el tipo de conexión en el devanado primario (acometida monofásica o trifásica), le hará tener características constructivas distintas.

En todos los casos se diferencia un circuito eléctrico de alto nivel de tensión conectado al primario del transformador (formado, normalmente, por aparellaje variado de intemperie con funciones de corte, protección y medida eléctrica). El circuito eléctrico del devanado secundario, con un valor de tensión nominal de 25 000 V y frecuencia industrial de 50 o 60 Hz, también está formado por el aparellaje anterior, así como instalaciones específicas de puesta a tierra, servicios auxiliares y telemando.

Cada uno de estos circuitos se conecta al devanado primario de un transformador de potencia, por lo tanto, la configuración de una subestación eléctrica de tracción de corriente alterna es la siguiente:

Seccionador de entrada con puesta a tierra. Este equipo, que hace de conexión directa con la subestación trifásica, da versatilidad a la SET y posibilita la puesta a tierra de los transformadores de potencia para operaciones de mantenimiento. Al no disponer de poder de corte del arco eléctrico, siempre debe ser operado tras la interrupción de la corriente mediante un interruptor.

Imagen 18 Seccionador de entrada con puesta a tierra

Fuente: Coelme-Egic. (n.d.). Seccionadores de puesta a tierra (ES) [Imagen]. https://www.coelme-egic.com/es/prod/28/Seccionadores_de_puesta_a_tierra_%28ES%29/

Transformadores de medida tensión. Constan de varios bobinados que proporcionan las medidas de tensión y corriente eléctrica empleadas para la cuantificación de la energía y potencia consumida, así como para la actuación de las protecciones correspondientes.

Imagen 19: Transformadores de media tensión

Fuente: Ejemplo de transformador de media tensión, https://cursostesla.com/como-ubicar-transformadores-de-corriente-en-subestaciones-de-potencia-de-alta-tension/

Interruptor. Aísla eléctricamente el circuito de alta tensión de la subestación trifásica. Aunque puede estar ubicado en esta última, lo más operativo es que se instale en la propia SET, existiendo mayor flexibilidad en la operación por parte de la compañía ferroviaria.

Imagen 20: Interruptor de Potencia

Fuente: Ejemplo de interruptor de potencia, https://ingelmec.com.pe/servicios/pruebas-electricas/sub-estaciones/interruptor-de-potencia

Sistemas de electrificación en corriente alterna

La Especificación Técnica de Interoperabilidad (ETI) establece como valores usuales de diseño 15,000 y 25,000 V de tensión de alimentación al material rodante. La electrificación en corriente alterna a 25,000 V es la más utilizada en líneas de ferrocarril de alta velocidad. No obstante, en Alemania se sigue alimentando las líneas a 15, 000 V. La frecuencia industrial usual es de 50 Hz, aunque en algunas líneas de alta velocidad en Japón y Corea del Sur se emplean los 60 Hz. El sistema de electrificación ferroviaria para el desarrollo de la alta velocidad plantea una serie de problemas, derivados de la elevada potencia requerida y de la captación de la corriente.

Algunos datos relevantes en cuanto los requisitos de la elevada potencia instalada son:

- Cuanta más velocidad de circulación, mayor potencia necesaria.
- Potencia total instalada por tren 10-12 MW.
- La velocidad efectiva de circulación es prácticamente la permitida por la potencia instalada.
- En cuanto a la elevada corriente requerida, se destaca lo siguiente:
- Es necesario optimizar el contacto entre el pantógrafo y la catenaria, por tanto, se requiere de una línea aérea de contacto de reducida masa lineal.
- El binomio potencia demandada-límite de corriente de circulación; sólo es satisfecho por los sistemas de electrificación ferroviaria con tensiones de

Otro gran inconveniente existente reside en que el sistema de electrificación ferroviario en tensión monofásica 25,000 V se caracteriza por ser fuente de perturbaciones como consecuencia de sus propias características intrínsecas de funcionamiento, por ejemplo:

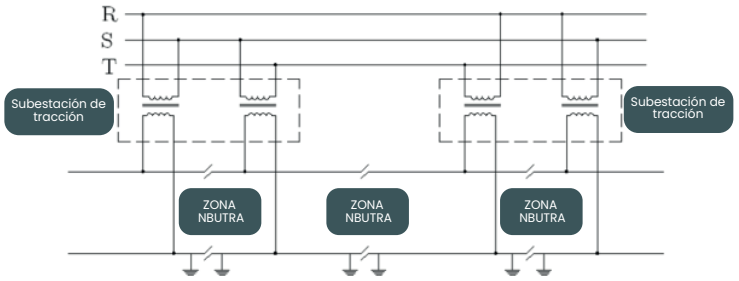
- Carga monofásica variable en el espacio.
- Carga monofásica variable en el tiempo.
- Constitución de la carga, en particular la electrónica de potencia que equi-

De esta forma, si bien en tracción ferroviaria la corriente alterna ofrece ventajas sobre la corriente continua (como la facilidad de transformación de tensiones mediante los transformadores y como consecuencia, la facilidad de transportar grandes potencias con bajas intensidades), también como inconveniente está su propiedad de inducir tensiones en conductores paralelos.

Sistema 1x25 KV

El sistema 1x25 KV, se caracteriza por disponer de subestaciones de tracción con transformadores monofásicos de relación 25 kV, conectados a una red eléctrica de alta tensión, debido a la necesidad de una alta potencia de cortocircuito y una alta fiabilidad en el suministro. Típicamente se conectan a redes de 132 kV, 220 kV ó 400 kV. La catenaria, al igual que sucede en los demás sistemas de alimentación, está seccionada en tramos o cantones eléctricos. El objetivo es que cada cantón pueda ser alimentado por uno de los dos transformadores de potencia instalados en cada SET, conectándose a una fase diferente a la de los cantones contiguos. De esta manera se intenta que el desequilibrio generado a la red de transporte sea el mínimo posible.

Imagen 21: Conexión de las subestaciones de un sistema de corriente alterna

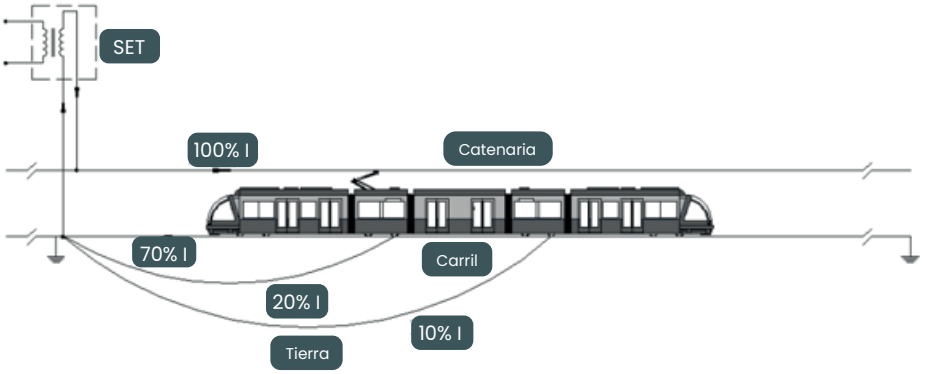


Moraño de Frutos, R. (2009). [Fig. 3.5 Conexionado a subestaciones de un sistema de corriente alterna] [Imagen]. En Impacte ambiental del transport marítim (p. 26). Universitat Politècnica de Catalunya. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10295/Memoria.pdf?sequence=1

Dicho cantonamiento se realiza mediante la existencia, a la altura de cada SET, de una zona neutra de separación de fases (zona neutra de subestación), para evitar que el material móvil pueda cortocircuitar la catenaria con los pantógrafos delantero y posterior. También, en los puntos intermedios entre dos SET, existirán zonas neutras para aislar eléctricamente los tramos alimentados por los diferentes transformadores de cada SET (zona neutra entre subestaciones).

El retorno de corriente se realiza mayoritariamente a través de los carriles. Se calcula que del orden del 70 % de la corriente retorna por el carril, mientras que un 10 % lo hace por capas profundas del terreno y un 20 % por capas más superficiales, pudiendo penetrar nuevamente en los carriles. La distribución de corrientes se muestra en el siguiente diagrama:

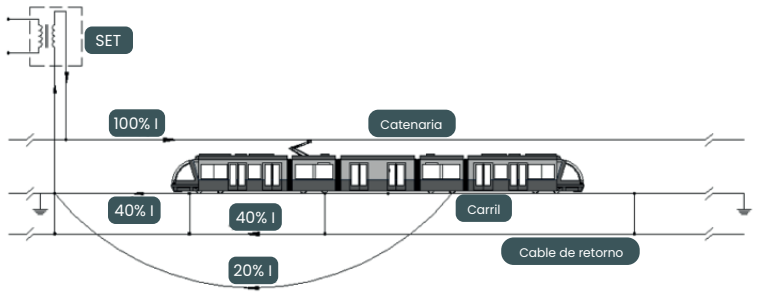
Imagen 22: Distribución de corriente en el sistema 1x25 KV CA



Moraño de Frutos, R. (2009). [Fig. 3.6 Distribución de corriente en el sistema 1x25 KV CA] [Imagen]. En Impacte ambiental del transport marítim (p. 26). Universitat Politècnica de Catalunya. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10295/Memoria.pdf?sequence=1

Con el objetivo de disminuir las perturbaciones conducidas de carácter resistivo y las electromagnéticas, se implementa un circuito con cable de retorno:

Imagen 23: Sistema 1x25 KV CA con cable de retorno



Moraño de Frutos, R. (2009). [Fig. 3.7 Sistema 1x25 KV CA con cable de retorno] [Imagen]. En Impacte ambiental del transport marítim (p. 27). Universitat Politècnica de Catalunya. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10295/Memoria.pdf?sequence=1

Sistema 2x25 KV CA

El sistema 2x25 KV CA, también denominado sistema bifásico en corriente alterna, supone una mejora tecnológica mayor respecto al 1x25 KV CA, ya que soluciona algunos de sus principales inconvenientes, y se está convirtiendo en la opción más utilizada a nivel internacional. Se caracteriza por la existencia de dos conductores, uno es la catenaria y el otro es el feeder negativo (en este proyecto no hay feeder positivo, por lo cual nos referiremos siempre al negativo), destinados a la alimentación del material móvil, y de la vía. La tensión entre cada uno de estos conductores y la vía es de 25 kV, estando ambas tensiones desfasadas 180º. Para la alimentación del sistema se dispone de subestaciones de tracción (SET) con dos transformadores monofásicos iguales en cada una, cuyo primario de cada uno se conecta entre dos fases diferentes de la red eléctrica de alta tensión, 220 kV ó 400 kV.

El secundario de los transformadores es de 55 kV y tiene una toma intermedia, resultando dos secundarios de 27,5 kV, estos valores superan a los valores teóricos de 50 kV y 25 kV para compensar las posibles caídas de tensión que se dan a lo largo de la línea. Una toma extrema se conecta a la catenaria y la otra al feeder negativo, mientras que la toma media se conecta a la vía. Esta conexión a la vía hace que en las tomas extremas aparezcan las tensiones comentadas anteriormente.

El Material Rodante de las líneas electrificadas a 2x25 KV CA está alimentado a una tensión nominal de 25 kV entre la catenaria y la vía. Por lo tanto, este material puede trabajar indistintamente en sistemas de 1x25KV ó 2x25 KV CA.

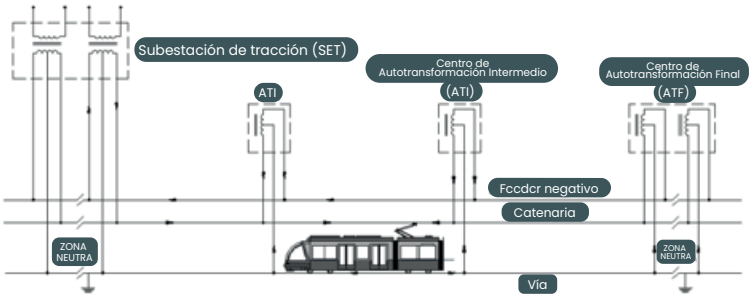
El cantonamiento (división de la línea en diferentes tramos-cantones) de los conductores y la vía responde a los mismos criterios que en el sistema 1x25 KV.

Para que el sistema 2x25 KV CA pueda funcionar, son necesarios una serie de centros de autotransformación distribuidos a lo largo del trazado, típicamente cada 10 ó 15 km. Las tomas de los autotransformadores se conectan a la catenaria y al feeder negativo, y la toma media a la vía y a tierra.

La función de estos centros de autotransformación es evitar el retorno de corriente por la vía en los tramos donde no circula el tren. Esto se consigue redistribuyendo las intensidades de retorno que penetran por la toma media de los autotransformadores hacia el feeder negativo, el cual se convierte así en el cable de retorno de la intensidad principal.

En el siguiente diagrama, se presenta un cantón del sistema 2x25 KV CA que se alimenta a partir de la SET y en el que se han conectado dos centros de autotransformación intermedios y uno final.

Imagen 24: Sistema 2x25 KV CA

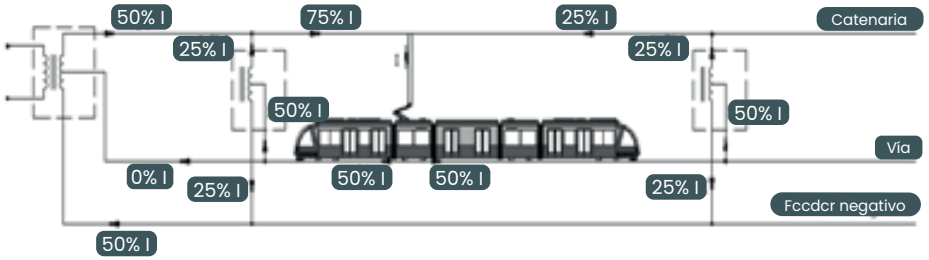


Moraño de Frutos, R. (2009). [Fig. 3.9 Sistema 2x25 KV CA] [Imagen]. En Impacte ambiental del transport marítim (p. 29). Universitat Politècnica de Catalunya. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10295/Memoria.pdf?sequence=1

Los centros de autotransformación serán de tipo “intermedio” cuando estén en un punto intermedio de un cantón, o de tipo “final” cuando se encuentren situados en el final, en la zona neutra entre subestaciones de tracción.

La distribución de las intensidades se muestra en el siguiente diagrama, donde se ha supuesto que tanto los transformadores de potencia de las SET, los autotransformadores como los conductores son ideales.

Imagen 25: Distribución de intensidades del sistema 2x25 KV CA



Moraño de Frutos, R. (2009). [Fig. 3.10 Distribución de intensidades del sistema 2x25 KV CA] [Imagen]. En Impacte ambiental del transport marítim (p. 29). Universitat Politècnica de Catalunya. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10295/Memoria.pdf?sequence=1

En el diagrama anterior, se puede observar cómo la intensidad de retorno por el carril queda limitada al tramo comprendido entre los autotransformadores en los que se encuentra el tren. Los autotransformadores obligan a la intensidad a retornar por el feeder negativo en el resto de los tramos hasta la SET.

Subestación Eléctrica de Tracción de Corriente Continua

En el caso de una SET CC, la alta tensión se unifica en los elementos trifásicos propios de una subestación trifásica y los elementos de conexión al transformador (también trifásicos). Aunque en las subestaciones más modernas suelen existir dos circuitos paralelos, en este tipo de subestaciones es común identificar uno solo.

El circuito de corriente continua es el circuito comprendido entre la salida del rectificador y la LT. Al igual que en la SET CA, el principal elemento es la celda de maniobra y protección, también situada en el interior del edificio de control de la subestación.

Imagen 26: Subestación eléctrica de Tracción de Corriente Continua

Industriales de Madrid. (n.d.). Subestación eléctrica de continua para recuperar la energía de frenada de los trenes [Imagen]

Componentes de la SET CC

La configuración de una subestación eléctrica de tracción de corriente continua es la siguiente:

Seccionador de entrada con puesta a tierra. Ubicado a la entrada de la línea de acometida, permite visionar la apertura del circuito durante las operaciones de mantenimiento o reparación de la propia instalación y/o de la línea de distribución.

Imagen 27: Seccionador de entrada con puesta a tierra

Fuente: Coelme-Egic. (n.d.). Seccionadores de puesta a tierra (ES) [Imagen]. https://www.coelme-egic.com/es/prod/28/Seccionadores_de_puesta_a_tierra_(ES)/

Interruptor de la línea de acometida. Permite interrumpir el circuito de alimentación a la subestación con carga.

Transformador de medida de intensidad. A través de él es posible medir la intensidad que circula por cada una de las fases. A su vez, alimenta a una serie de relés de protección que hacen disparar, en su caso, al interruptor de la línea de acometida.

Seccionador de salida. Ubicado a la salida de los transformadores de intensidad para protección, permite visionar la apertura del circuito durante las operaciones de mantenimiento o reparación del interruptor de la línea de acometida y/o en los transformadores de intensidad para protección.

Sistemas de electrificación en corriente continua

El principio de diseño está basado en la utilización del mejor motor de tracción existente en el momento de su desarrollo (el motor de corriente continua), condicionando al resto del sistema. Las líneas de alimentación derivan directamente de la red eléctrica nacional, siendo acondicionada y transformada la tensión de alimentación en la subestación de tracción.

Estas subestaciones están formadas por grupos rectificadores, y espaciadas aproximadamente entre 10 y 20 km, dependiendo del tráfico y del perfil de la vía. La línea aérea de contacto es de sección elevada, pues la potencia demandada por la tracción y las bajas tensiones de alimentación obligan a tener elevadas intensidades de suministro.

Sistema 1x3.000 Vcc

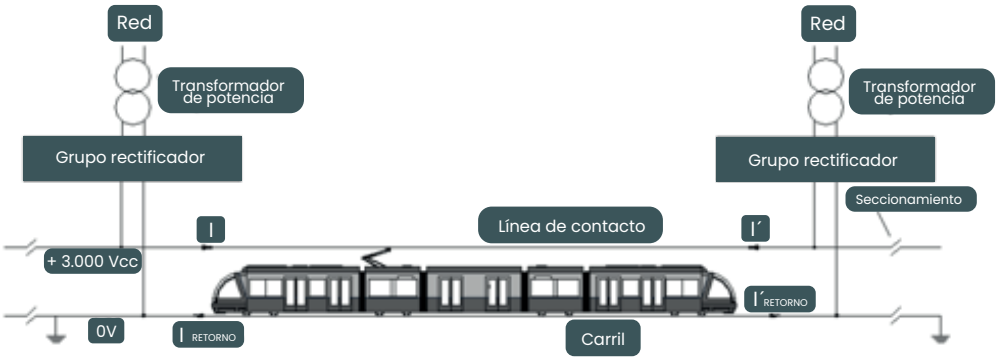
El sistema 1x3.000 Vcc es el sistema más simple y comúnmente utilizado en líneas convencionales en España. Como su nombre indica está alimentado por una única línea aérea de contacto de 3.000 Vcc. Tiene el inconveniente de las altas intensidades de circulación y de las importantes caídas de tensión que resultan.

Para mejorar estas características se suele recurrir en la actualidad a las siguientes soluciones:

- La utilización del feeder positivo.
- En tramos de doble vía, la conexión en paralelo de la catenaria de ambas vías.
- La instalación de nuevas subestaciones intermedias.

En los casos en que la utilización de feeder positivo o la conexión en paralelo de las vías no sea suficiente, se debe recurrir a la tercera solución que consiste en la disminución de la distancia entre subestaciones. Esta solución no siempre es aplicable dependiendo de la disponibilidad de conexión a la red eléctrica suministradora.

Imagen 28: Seccionador de entrada con puesta a tierra



Moraño de Frutos, R. (2009). [Fig. 3.4 Cantón de un sistema 1x3.000 Vc] [Imagen]. En Impacte ambiental del transport marítim (p. 20). Universitat Politècnica de Catalunya. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10295/Memoria.pdf?sequence=1

En este sistema, la catenaria está seccionada en tramos o cantones eléctricos, definidos por el seccionamiento de la línea. Cada cantón está alimentado por dos grupos transformadores-rectificadores de tracción, como se muestra en el diagrama.

Estos rectificadores son unilineales ya que están basados en diodos. La alimentación de la línea es bilateral, o sea que el tren recibe su corriente de las dos subestaciones que le rodean. Cabe mencionar que el retorno de corriente se realiza mayoritariamente a través de los carriles.

Conexiones eléctricas

Estas conexiones se refieren a los transformadores de potencia de la SET CA y a los grupos transformador-rectificador de la SET CC. Según el tipo de conexión, el transformador tendrá unas características determinadas a nivel de diseño y configuración eléctrica, de ahí la importancia de considerar estas conexiones.

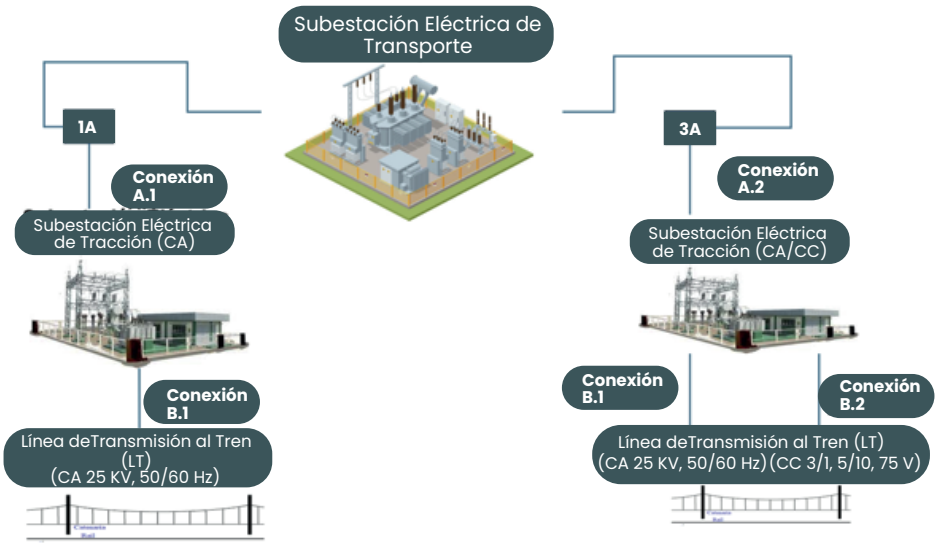
Las conexiones A.1, A.2, B.1 y B.2, existentes en un TPS con frecuencia industrial de la red, se identifican con diferentes configuraciones eléctricas, habiendo aquí considerado las más importantes.

- Conexión A.1. Se trata de una conexión monofásica pura, en concreto, una tensión compuesta obtenida de la combinación de las tres tensiones de fase de la red trifásica externa. Es una conexión muy empleada.

- Conexión A.2. Se trata de una conexión trifásica, directamente obtenida de la conexión con la red trifásica externa. Es una conexión muy empleada (siempre en los sistemas de CC).

- Conexión B.1. Se trata de una conexión monofásica que puede configurarse en tres tipos principales:
  - Simple. La conexión monofásica a la LT es directa (1 x V), con un valor de V de 25 000 V o 15 000 V. Es una conexión muy empleada.
  - Autotransformador. La conexión monofásica a la LT se realiza añadiendo un segundo circuito en oposición de fase con el primero (2 x V), con un valor de V de 25 000 V o 15 000 V. Para configurar este circuito debe emplearse un tipo de instalación adicional, además de la propia SET, denominado centro de autotransformación (CAT). Es, posiblemente, la conexión alterna más empleada en el momento actual (principalmente en líneas de alta velocidad).
  - Booster. La conexión monofásica a la LT es directa, empleando, adicionalmente, en la LT, transformadores de tipo booster. Se trata de una conexión poco empleada.
- Conexión B.2. Se trata de una conexión directa en corriente continua a la LT. Es la conexión por excelencia en las LT de CC.

Imagen 29: Conexiones Eléctricas



Fuente: Elaboración propia

Bibliografía

Tema	Recomendación
Sistema de Energía Eléctrica Lección 4	Tecnologías específicas de electrificación en ferrocarriles de alta velocidad. J.C. Martínez. Documentación de Microcurso del mismo nombre. Fundación de los ferrocarriles españoles. 2011.
	https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/subestacion-electrica/index.cshtml
	https://www.irecfer.com/subestaciones-de-traccion/
	Martínez JC. Tecnologías específicas de electrificación en ferrocarriles de Alta Velocidad. Colección técnica. Fundación de los Ferrocarriles Españoles. 2011.
	Artículo La digitalización del ferrocarril, Ignacio Jorge Iglesias Díaz
	Ingeniería Ferroviaria, Francisco Javier González Fernández, Julio Fuentes Losa, UNED
	Aplicaciones ferroviarias, Compatibilidad electromagnética, Norma EN 50121, 2017.
	Aplicaciones ferroviarias. Tracción eléctrica. Motores lineales asíncronos de tipo devanado primario corto, alimentados por convertidores, Norma EN 61377.