ESTUDIO INFORMATIVO DE LA LÍNEA FERROVIARIA DE ALTA VELOCIDAD VALENCIA-CASTELLÓN. FASE II

ANEJO Nº 11. ELECTRIFICACIÓN

Octubre 2021

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1
2. SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN 1
2.1 INTRODUCCIÓN 1
2.2 LAS ALTERNATIVAS DE ELECTRIFICACIÓN A 25 KV 2
2.2.1 Sistema 1 x 25 kV simple 2
2.2.2 Sistema 1 x 25 kV con cable de retorno 2
2.2.3 Sistema 1 x 25 kV con transformadores "booster" 3
2.2.4 Sistema 2 x 25 kV 3
2.2.5 Análisis comparativo de los sistemas 1 x 25 kV y 2 x 25 Kv 4
2.3 CATENARIA 5
2.4 DIMENSIONADO MECÁNICO 6
2.5 TENSIONES DE LOS CONDUCTORES. COMPENSADORES 7
2.6 CRITERIOS GEOMÉTRICOS 7
2.6.1 Criterios geométricos 7
2.6.2 Altura de catenaria 7
2.6.3 Altura del hilo de contacto 7
2.6.4 Vanos 8
2.6.5 Tolerancias de instalación 8
2.7 EQUIPO DE VÍA GENERAL 8
2.7.1 Postes 8
2.7.2 Macizos 10
2.7.3 Aisladores 11
2.7.4 Atirantados 12
2.7.5 Ménsulas 12
2.7.6 Catenaria en viaducto 12
2.7.7 Equipamiento en estación 12
2.7.8 Efectos en túneles 13
2.8 COMPENSACIÓN DE TENSIONES 13
2.9 PUNTOS FIJOS 13
2.10 SECCIONAMIENTOS 13
2.11 ZONAS NEUTRAS DE SEPARACIÓN DE FASES 14
2.12 COLAS Y TIRANTES DE ANCLAJE 14
2.13 SISTEMAS DE RETORNO Y PUESTA A TIERRA 14
3. ALIMENTACIÓN Y CONEXIONES 15
3.1 FEEDERS 15
3.2 SECCIONADORES Y CONEXIONES 15
3.3 HILO DE CONTACTO 15
3.4 PÉNDOLAS 16
4. AGUJAS 16
5. PROTECCIONES Y CONEXIONES AL CARRIL 16
6. CONCEPTOS GENERALES PARA LAS SUBESTACIONES DE ALIMENTACIÓN PRINCIPALES 17
6.1 NORMALIZACIÓN 17
6.2 CRITERIOS DE DISEÑO 17
6.3 IMPLANTACIÓN DE LAS SUBESTACIONES 18
6.4 EQUIPO PARA CONSUMO PROPIO 18
6.5 DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES TRANSFORMADORAS 19
6.5.1 Descripción general 19
6.5.2 Dispositivos de seguridad 19
6.5.3 Instalaciones de mando local y automático 20
7. JUSTIFICACIÓN DE LA POTENCIA ADOPTADA EN SUBESTACIÓN 20

8. ACOMETIDAS DE ENERGÍA 20

8.1 INTRODUCCIÓN 20

8.2 ALTERNATIVAS DE ALIMENTACIÓN.....21

8.3 CONEXIÓN DE CADA S/E A LA RED DE ALTA TENSIÓN.....21

9. TELEMANDO DE ENERGÍA.....22

10. PLANOS 22

APÉNDICE 1. PLANOS

1. INTRODUCCIÓN

El objeto del presente anejo es establecer las condiciones que deben cumplir las instalaciones de electrificación que serían necesarias realizar en cada una de las alternativas que se contemplan en el presente Estudio Informativo.

Para ello se consideran dos sistemas posibles de electrificación: 1x25 y el 2x25 kV, que se describen en apartados posteriores.

Igualmente se describen las subestaciones de tracción, se realiza una propuesta de la potencia a instalar en dichas subestaciones, en función del material móvil, frecuencias de diseño, etc.

Finalmente se estudian las líneas de AT para alimentación de la red de tracción, presentando las alternativas, recomendándose algunas de ellas, en función de sus características y fiabilidad.

Las actuaciones en dichas instalaciones se llevarán a cabo en coordinación con los restantes trabajos de plataforma, vía e instalaciones de seguridad y comunicaciones previstos en el presente Estudio.

Todas las instalaciones definidas en este anejo para el tramo Valencia-Castellón, del Corredor Mediterráneo, cumplirán los parámetros y especificaciones recogidas en el Real Decreto 929/2020, de 27 de octubre, sobre seguridad operacional e interoperabilidad ferroviaria.

2. SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN

2.1 INTRODUCCIÓN

Las prestaciones de velocidad a conseguir imponen una fuerte demanda de potencia; por ello, es necesario aplicar una tensión de catenaria suficientemente alta, para limitar las caídas de tensión y la densidad de corriente en los conductores.

Por otra parte, desde el punto de vista del binomio catenaria-pantógrafo, con objeto de tener una captación de corriente de calidad, es necesario montar una catenaria ligera, es decir, con conductores que tengan el menor peso posible, y, en definitiva, una sección conductora pequeña. En caso contrario, si la tensión no fuera lo suficientemente alta, sería necesario aumentar el tamaño de los conductores para disminuir las caídas de tensión a valores admisibles, aumentando el peso de la catenaria.

El sistema de electrificación conocido como 1x25 kV fue el adoptado en la primera línea de Alta Velocidad en España, entre Madrid y Sevilla. Este sistema de corriente alterna monofásica a 25 kV y frecuencia industrial de 50 Hz ha proporcionado unos resultados válidos, excepto en el caso de las perturbaciones que se generan en el sistema de telecomunicaciones en ciertas zonas puntuales que atraviesa, particularmente en las poblaciones, donde la interrupción de las comunicaciones telefónicas, por ejemplo, ha sido habitual. Este problema está generado por la puesta a tierra de las corrientes de retorno, que inducen campos electromagnéticos, que son los que producen las perturbaciones al paso del tren.

Con el objetivo de solucionar en lo posible este problema y en base a la experiencia obtenida en las líneas francesas de alta velocidad, y en la Madrid-Barcelona, se propone para la electrificación de la línea Castellón-Tarragona en 2 x 25 kV, corriente alterna, una catenaria que permita la mejor captación con el desgaste mínimo en el tiempo.

Su principal característica es introducir un hilo para la corriente de retorno ("feeder negativo"). La diferencia de tensión existente entre el feeder de alimentación y el de retorno es de 50 kV y 25 kV entre carriles y catenaria, de forma que el material tractor sigue siendo el mismo en ambos casos. Así el transporte de intensidad por la línea se realiza a 50 kV y la alimentación a 25 kV, de esta forma se minimizan prácticamente a la mitad, con lo que las subestaciones, se pueden distanciar el doble.

Este sistema de electrificación recibe el nombre de 2 x 25 kV.

En este caso, además de las subestaciones de tracción en línea, son necesarios autotransformadores a lo largo de ésta para transformar la tensión de 50 kV a 25 kV, permitiendo, además, un gran equilibrio en la tensión de la línea, protegiéndola contra corrientes vagabundas.

Se consigue así una disminución en el número de subestaciones a implementar, aunque éstas son de mayor potencia instalada. Además, se puede optimizar el emplazamiento de las mismas respecto a la traza de la línea de suministro disponible, lo que puede representar un ahorro en longitud de línea de alta tensión de acometida.

La solución en corriente continua a 3.000 V, que es la generalizada en la red de línea convencional, no es posible técnicamente en ese caso, dado que la tensión no puede proporcionar la potencia suficiente a desarrollar por él, material tractor; además exigiría

secciones de catenaria enormes, pantógrafos con mesilla muy superior a la actual y por tanto muy pesados, y una separación muy pequeña entre subestaciones.

2.2 LAS ALTERNATIVAS DE ELECTRIFICACIÓN A 25 KV

En la actualidad existen los siguientes sistemas de electrificación a 25 kV:

- ✓ Electrificación monofásica 1 x 25 kV simple.
- ✓ Electrificación monofásica 1 x 25 kV con cable de retomo.
- ✓ Electrificación monofásica 1 x 25 kV con transformadores "booster".
- ✓ Electrificación bifásica 2 x 25 kV.

2.2.1 Sistema 1 x 25 kV simple.

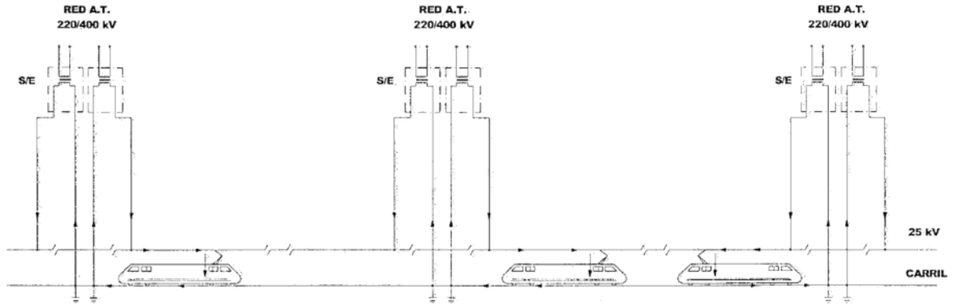
El sistema 1 x 25 kV simple constituye la más básica de las electrificaciones a 25 kVca. Es el sistema utilizado en la Línea de Alta Velocidad Madrid – Sevilla.

Se caracteriza por disponer de subestaciones de tracción con transformadores monofásicos de relación AT/ 25 kV, conectados a una red eléctrica de Muy Alta Tensión, debido a la necesidad de alta potencia de cortocircuito y alta fiabilidad en el suministro. Típicamente se conectan a redes de 220 kV ó 400 kV.

La catenaria, como sucede en los demás sistemas de alimentación a 25 kV, está seccionada en tramos o cantones eléctricos. Cada cantón está alimentado por un transformador de tracción, conectado a una fase diferente a la de los cantones contiguos. De esta manera se intenta que el desequilibrio generado a la red de A.T. sea el mínimo posible. A este efecto, a la altura de cada subestación existe una zona neutra de separación de fases (zona neutra de subestación), de longitud superior a 200 m, para evitar que los vehículos puedan cortocircuitar la catenaria con los pantógrafos delantero-posterior, según lo que marca la ficha UIC 794.

En la subestación se dispone típicamente de dos transformadores que alimentan uno a cada lado de la zona neutra. En los puntos intermedios entre dos subestaciones, también existirán zonas neutras de separación de fases, para separar eléctricamente los tramos alimentados por transformadores de subestaciones diferentes (zona neutra inter-subestaciones). Se evita situar las zonas neutras en pendientes, para que los vehículos puedan atravesarlas por inercia sin disminuir en exceso su velocidad.

Cada vehículo que circule por la línea estará alimentado en cada instante por la fase (R, S o T) del transformador que le corresponda. La zona de influencia de un transformador es la delimitada entre su subestación y la zona neutra inter-subestaciones. A partir de ese punto, el vehículo pasará a estar alimentado con otra fase, la del transformador de la subestación siguiente.



La configuración de una línea electrificada a 1 x 25 kV

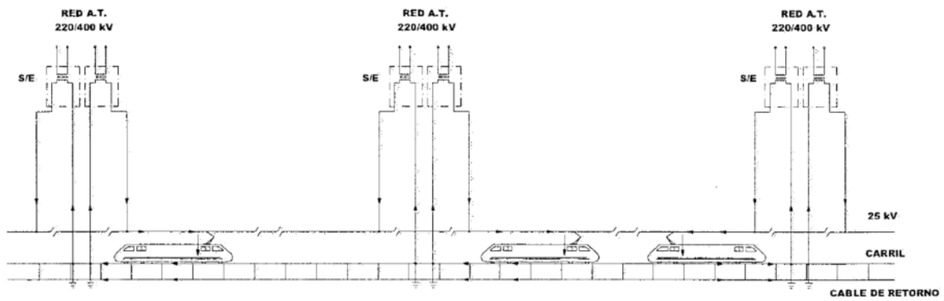
Atendiendo a la mínima tensión permanente admisible en catenaria, cifrada en 19 kV según la norma UNE – EN 50163, las subestaciones pueden estar separadas del orden de 35 km corno máximo. Un mayor espaciamiento suele provocar caídas de tensión inadmisibles.

El retomo de corriente se realiza mayoritariamente a través de los carriles de rodadura. 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. Esta corriente de difusión al terreno genera corrosión a materiales metálicos que se encuentren en las proximidades de la vía.

2.2.2 Sistema 1 x 25 kV con cable de retorno

Como variante al sistema 1 x 25 kV simple, se presenta una solución que mejora el fenómeno de retomo de corriente a las subestaciones.

Consiste en añadir un cable de retomo paralelo a la vía, típicamente de conductor desnudo, unido a ella mecánica y eléctricamente. Con él se consigue que la corriente de retomo se reparta a partes iguales 40 % por el carril y 40 % por el cable, mientras que tan solo un 20 % retorna por el terreno.

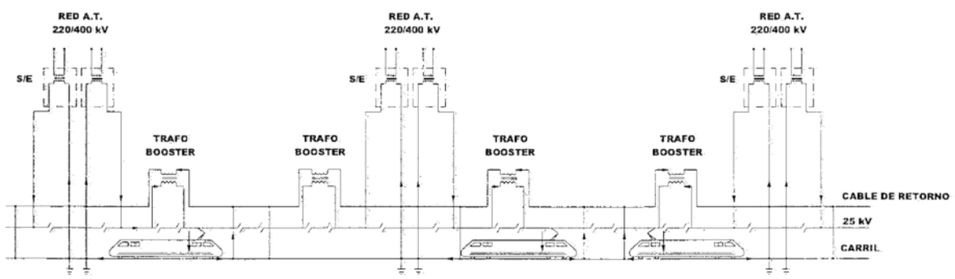


El esquema I x 25 kV con cable de retorno

2.2.3 Sistema 1 x 25 kV con transformadores "booster"

Esta variante del sistema 1 x 25 kV tiene por objeto reducir la caída de tensión en la catenaria.

Se caracteriza por disponer de transformadores tipo "booster", o elevadores de tensión, distribuidos a lo largo del trazado, así corno de cable de retomo, tal como se puede observar en la siguiente figura.



Sistema 1 x 25 kV con transformadores "booster"

El principio de funcionamiento consiste en hacer pasar la corriente de retorno por los devanados primarios de los "booster", conectándolos al cable de retorno. La circulación de corriente generará, en bornes secundarios, una tensión eléctrica con la polaridad adecuada para favorecer la circulación de corriente por la catenaria (polaridad de mismo signo que el transformador de la subestación). Para que esto sea factible, a la altura de cada "booster" se dispondrá del correspondiente seccionamiento de catenaria.

Como consecuencia de estas tensiones generadas, la caída de tensión en catenaria disminuye, y las subestaciones se pueden distanciar alrededor de un 10 a un 20 % más que en el sistema 1 x 25 kV simple.

No obstante, la instalación de transformadores "booster" resulta cara en relación con la mejora de tensión aportada al sistema de 1 x 25 kV simple, por lo que esta solución no se ha extendido demasiado.

2.2.4 Sistema 2 x 25 kV

El sistema 2 x 25 kV supone una sofisticación tecnológica importante respecto al 1 x 25 kV, y se está convirtiendo cada vez más en la tendencia más utilizada a nivel internacional.

Se caracteriza por disponer de subestaciones de tracción con transformadores bifásicos de relación AT/ 52 kV, conectados a una red eléctrica de Muy Alta (220 kV ó 400 kV). El secundario de los transformadores tiene tres tomas. Las dos extremas se conectan una a la catenaria y la otra al denominado "feeder negativo", mientras que la toma central se conectará a la vía y a tierra. Esta conexión a tierra hace que en las tomas extremas aparezcan unas tensiones de +/- 25 kV, es decir, tensiones de 25 kV desfasadas 180° eléctricos.

Los vehículos de las líneas electrificadas a 2 x 25 kV están alimentados desde la catenaria, a + 25 kV, de forma que los vehículos que funcionen a 25 kV podrán trabajar indistintamente en sistemas 1 x 25 kV ó 2 x 25 kV.

El cantonamiento de la catenaria y el feeder negativo responde a los mismos criterios que en el sistema 1 x 25 kV. Cada cantón está alimentado por un transformador de tracción, conectado a una fase diferente a la de los cantones contiguos. De esta manera se intenta que el desequilibrio generado a la red de A.T. sea el mínimo posible. A este efecto, a la altura de cada subestación existe una zona neutra de separación de fases, de longitud superior a 200 m (s/ UNE 50163), para evitar que los vehículos puedan cortocircuitar la catenaria con los pantógrafos delantero-posterior (zona neutra de subestación).

En la subestación se dispone típicamente de dos transformadores que alimentan uno a cada lado de la zona neutra. En los puntos intermedios entre dos subestaciones, también existirán zonas neutras de separación de fases, para separar eléctricamente los tramos alimentados por transformadores de subestaciones diferentes (zona neutra inter-subestaciones). Se evita situar las zonas neutras en pendientes, para que los vehículos puedan atravesarlas por inercia sin disminuir en exceso su velocidad.

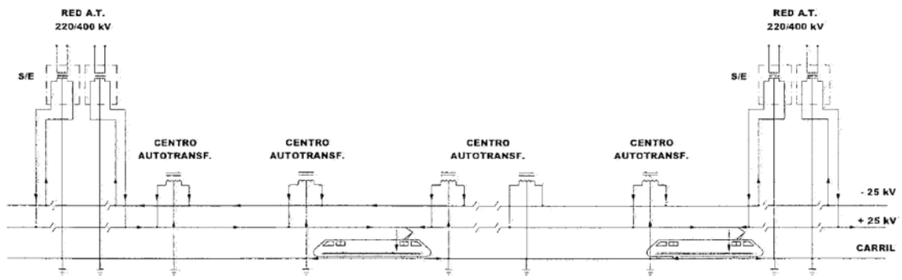
Cada vehículo que circule por la línea estará alimentado en cada instante por la fase (R, S o T) del transformador que le corresponda. La zona de influencia de un transformador es la delimitada entre su subestación y la zona neutra inter-

subestaciones. A partir de ese punto, el vehículo pasará a estar alimentado con otra fase, la del transformador de la subestación siguiente.

Para que el sistema 2 x 25 kV pueda funcionar, son necesarios una serie de centros de autotransformación distribuidos a lo largo del trazado, típicamente cada 10 – 12 km. Las tomas de los autotransformadores se conectan los extremos a la catenaria y al feeder negativo, y la toma media al carril y a tierra.

La función de estos centros de autotransformación es redistribuir las corrientes 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 corriente principal.

Dependiendo de su posición, los centros de autotransformación serán de tipo "intermedio" los que estén en un punto intermedio de un cantón, o de tipo "final" cuando se encuentren situados en zona neutra de separación de fases inter-subestaciones.



Configuración de una línea electrificada a 2 x 25 kV

El efecto de la circulación de corriente entre toma media y feeder negativo es una inducción de tensión entre toma media y catenaria. La consecuencia inmediata es que la tensión de catenaria se mantiene en niveles altos.

Otra consideración importante es que el sistema funciona en este caso a 50 kV, por lo que, a igualdad de potencia demandada por los vehículos, la corriente que circula por la catenaria se reduce a prácticamente la mitad que en un sistema de 1 x 25 kV, por lo que la caída de tensión también se ve reducida aproximadamente a la mitad y las subestaciones de tracción pueden distanciarse el doble que en un sistema 1 x 25 kV.

Atendiendo a la mínima tensión permanente admisible en catenaria, cifrada en 19 kV según la norma UNE – EN 50163, las subestaciones pueden estar separadas del orden de 70 km como máximo. Los centros de autotransformación se sitúan cada 10 –12 km.

2.2.5 Análisis comparativo de los sistemas 1 x 25 kV y 2 x 25 Kv

A continuación, se van a estudiar diferentes aspectos a considerar a la hora de decidir qué sistema es el óptimo para una electrificación a 25 kV.

Asimetrías a la red de A.T.

Por lo que respecta a la conexión a la red de A.T., el sistema más favorable es el 1 x 25 kV, dado que existe un mayor número de conexiones y de menor potencia, por lo que el desequilibrio de fases sobre la red es inferior al generado por el 2 x 25 kV.

En ambos casos la conexión será a una red de Muy Alta Tensión, típicamente 220 o 400 kV, por necesidad de una alta potencia de cortocircuito de la red y alta fiabilidad de suministro.

Subestaciones de tracción

El número de subestaciones de tracción en el 1 x 25 kV es superior al de 2 x 25 kV, dado que las interdistancias entre ellas no puede superar típicamente los 35 km, atendiendo al criterio de caída de tensión en catenaria. En cambio, el 2 x 25 kV admite interdistancias de hasta 70 km.

En contrapartida, el sistema 2 x 25 kV requiere la instalación de centros de autotransformación cada 10 – 12 km para redistribuir corrientes de retomo.

La potencia de las subestaciones en el 2 x 25 kV es prácticamente el doble que las de 1 x 25 kV, ya que la zona de influencia (y el número de vehículos a alimentar) se puede llegar a duplicar.

Además de necesitar transformadores de tracción más potentes, la aparamenta de Media Tensión de las subestaciones 2 x 25 kV es de una gama de tensión superior a las 1 x 25 kV, por lo que la instalación resulta más cara.

Caída de tensión en la catenaria

En el sistema 1 x 25 kV la caída de tensión en la línea es proporcional a la distancia entre la subestación y la posición del vehículo. En el 2 x 25 kV sólo depende de la posición del vehículo, debido a la distribución de centros de autotransformación existentes.

Pérdidas de potencia en la catenaria

La pérdida de potencia en catenaria, a igualdad de distancia entre subestaciones, sería prácticamente la mitad en el 2 x 25 kV que en el 1 x 25 kV, ya que la corriente se reducía a la mitad.

No obstante, dado que las subestaciones pueden alimentar al doble de vehículos, distanciándolas más, las pérdidas de potencia en catenaria acaban siendo semejantes a las del 1 x 25 kV.

Perturbaciones electromagnéticas

La normativa aplicable en el campo de radiaciones electromagnéticas generadas por líneas ferroviarias es la UNE-EN 50121 "Compatibilidad electromagnética".

En el 1 x 25 kV se genera un gran campo electromagnético alrededor de la línea, ya que catenaria y carriles forman una gran espira de corriente tanto más grande cuanto más lejos se encuentre el vehículo de la subestación. Estos campos pueden provocar perturbaciones en el funcionamiento de equipos electrónicos y de comunicaciones que puedan encontrarse en las inmediaciones de la línea o en núcleos urbanos. Para solucionar este problema, en algunas líneas se ha optado por electrificar en corriente continua en las entradas a las ciudades, como es el caso de la Línea Madrid – Sevilla.

El sistema 2 x 25 kV mejora sustancialmente este problema. El feeder negativo representa un circuito de retorno simétrico al de catenaria, y próximo a ella. Además, la espira de gran longitud que se crea en el 1 x 25 kV no es tan grande, ya que la corriente de retomo circula parcialmente en el mismo sentido que la de catenaria, debido al efecto de los autotransformadores.

Operación y mantenimiento

En el 1 x 25 kV existe aproximadamente el doble de subestaciones de tracción que en el 2 x 25 kV, por lo que la operación y mantenimiento son más costosos.

En cambio, si se analizan en global todas las instalaciones, considerando centros de autotransformación, resulta más desfavorable el sistema 1 x 25 kV. Sirva de ejemplo una línea de 70 km:

- En el 2 x 25 kV será necesaria una (1) subestación de tracción y del orden de seis (6) centros de autotransformación. En total siete (7) instalaciones.
- En el 1 x 25 kV serán necesarias únicamente dos (2) subestaciones de tracción.

Otro aspecto a tener en cuenta es la tensión de aislamiento de catenaria. En el 1 x 25 kV son 36 kV mientras que en el 2 x 25 kV la tensión son 52 kV.

2.3 CATENARIA

La catenaria para circulaciones de Alta Velocidad posee importantes requisitos. Así, la energía se ha de transmitir a los vehículos de forma segura y sin incidencia en el medio ambiente, por ejemplo, por efecto de los arcos eléctricos, y sin un desgaste elevado del hilo de contacto. Se propone por tanto la catenaria tipo C-350.

La integración óptima del hilo conductor y el pantógrafo se consigue cuando la fuerza entre el hilo conductor y el pantógrafo permanece lo más constante posible, y cuando los movimientos en altura del sistema se mantienen reducidos para evitar daños en los equipos de catenaria o en los vehículos. Las catenarias deberán tener una elasticidad lo más constante posible en toda la longitud de los vanos admitiéndose un coeficiente de irregularidad del 20 por ciento.

Para altas velocidades sólo resultan adecuados los sistemas de suspensión de catenaria. En estos modelos, el hilo conductor está suspendido de un hilo sustentador y así se mantiene a una altura determinada. Será una catenaria simple, poligonal, atirantada y con regulación de la tensión mecánica.

Para mantener la elevación del hilo conductor provocada por el pantógrafo dentro de límites aceptables, hay que reducir la elasticidad en las catenarias para altas velocidades. Por elasticidad se entiende el desplazamiento vertical que experimenta la catenaria por efecto de un esfuerzo dado. La elasticidad no depende prácticamente del tipo de catenaria, por ello se recurre a sistemas y artificios constructivos, como sustentadores, péndolas elásticas, catenarias compuestas, etc.

Cada catenaria constituye, junto con el pantógrafo, un sistema elástico capaz de oscilar con escasa atenuación. El pantógrafo produce oscilaciones en el sistema que también afectan a las secciones situadas delante del pantógrafo, y que tiene efecto sobre el contacto. Cuanto mayor es la velocidad, mayor es la influencia de este efecto.

Las oscilaciones en la fuerza de contacto, y con ello las interrupciones en la tensión, se valoran por su cantidad y duración (arcos eléctricos). La aparición de estos arcos se debe a la disminución de las fuerzas de apriete y es un criterio para el comportamiento dinámico de la catenaria. Estos arcos provocan, además de perturbaciones radiofónicas, el desgaste en el hilo conductor.

Los criterios estáticos y dinámicos requieren necesariamente una alta calidad de montaje. Por ello, las tolerancias de montaje son extremadamente reducidas para una catenaria de alta velocidad.

El número de tipologías de catenaria deberá ser el menor posible con la finalidad de reducir costes de mantenimiento, procurando la interoperabilidad del sistema a instalar

en la nueva línea con las catenarias existentes en las líneas próximas a la anterior. También se asegurará la interoperabilidad con el pantógrafo normalizado en la UE para trenes de Alta Velocidad.

Presentará las siguientes características:

- ✓ Se trata de una catenaria simple, poligonal, atirantada, con regulación automática e independiente de la tensión mecánica.
- ✓ Está formada por un sustentador de cobre electrolítico de 100 mm2 de sección y por un hilo de contacto ranurado de 150 mm2 de aleación de sección cobre-manganeso (0,6%) con una alta resistencia mecánica.
- ✓ Como circuito de retorno, un hilo de retorno de aluminio-acero de sección LA-28 que conecta todos los postes.
- ✓ Cableado con menor elasticidad en el centro del vano que la actual.
- ✓ En el caso de alimentación 2 x 25, un feeder negativo de cable de Al-Ac-180 situado sobre una cruceta, lado campo, y una distancia de 1,30 m del poste. Este feeder puede coexistir con el feeder de acompañamiento que se sitúa lado vía.
- ✓ Coeficiente de homogeneidad menor del 10%.
- ✓ Debajo de la canaleta de comunicaciones y a todo lo largo del trayecto se necesitará un cable cuya misión es la recolección de todas las puestas a tierra de la instalación.

A este cable se unen todas las estructuras que se encuentran en el interior de las vallas de protección, estas mismas vallas, los puntos medios de los autotransformadores (en su caso), el cable de guarda y los puntos centrales de las juntas inductivas o elementos sustitutorios en el tipo de señalización que se elija. También se unen a este cable colector de tierras las armaduras de puentes, viaductos y túneles, así como las estructuras metálicas que se encuentren en el área de influencia de la instalación.

La función de este colector de tierras es crear una plataforma equipotencial a todo lo largo de la línea que elimine cualquier riesgo de sobretensión en cualquier elemento de la línea.

2.4 DIMENSIONADO MECÁNICO

La catenaria a instalar deberá cumplir los siguientes criterios de dimensionado mecánico:

- ✓ Criterios estáticos.
- ✓ Criterios dinámicos.
- ✓ Criterios de calidad de captación de corriente.

<u>Criterios estáticos</u>

La catenaria deberá tener una elasticidad lo más constante posible a lo largo de los vanos.

La catenaria dispondrá de péndolas en "Y", con lo cual se garantizará un bajo coeficiente de irregularidad inferior al 10%.

<u>Criterios dinámicos</u>

Escogida la combinación sustentador–hilo de contacto desde el punto de vista de dimensionado eléctrico, se debe determinar la validez de este conjunto mediante estudio de comportamiento dinámico de la catenaria para las velocidades de circulación previstas.

Este comportamiento dinámico se calibra mediante el cumplimiento de los siguientes parámetros que fijan una elasticidad adecuada de la catenaria conforme a la normativa U1C 794 y EN 50.119:

- Velocidad de propagación de ondas > 110 in/s
- Factor Doppler > 0'26
- Coeficiente de reflexión <0'5
- Factor de amplificación < 1'9

Estos parámetros se calculan tal como se indica a continuación:

a) Velocidad de propagación de la onda en el hilo de contacto:

$$Vp = (THC / mHC)0,5$$

Vp Velocidad de propagación (m/s)

THC Tensión del hilo de contacto (N)

mHC Masa por unidad de longitud (kg)

b) Factor de reflexión:

$$r = (TS\ mS)0.5 / [(TS\ mS)0.5 + (THC\ mHC)0.5]$$

TS Tensión del hilo sustentador (N)

mS Masa por unidad de longitud (kg)

c) Factor Doppler:

$$a = (Vp - Ve) / (Vp + Vc)$$

d) Factor de ampliación:

$$FA = r / a$$

Criterios de captación de corriente

La tipología de catenaria a utilizar tendrá que cumplir los siguientes criterios en la interrelación con el pantógrafo:

- Criterio de la fuerza de contacto.

  Conforme EN 50119 la catenaria deberá admitir los siguientes esfuerzos dinámicos máximos:

  - Esfuerzo dinámico máximo (Fm + 3T) 350 N
  - Esfuerzo dinámico mínimo (Fm – 3T) > O N

- Criterio de pérdida de contacto

  El porcentaje de generación de arcos será inferior al 1%.

- Criterio de elevación del hilo de contacto en el apoyo.

  La máxima elevación máxima admisible del hilo de contacto en el apoyo al paso del pantógrafo será de 120 mm.

2.5 TENSIONES DE LOS CONDUCTORES. COMPENSADORES

Para realizar la compensación mecánica, prescindiendo de los dispositivos de muelle con polea excéntrica ya en desuso, y los cilindros de gas nitrógeno comprimido con cierre estanco en aceite, poco utilizados, y que para tensiones elevadas es inviable, se recurre a poleas en bloque, contrapesos y polipastos.

Las tensiones mecánicas del sustentador e hilo de contacto están reguladas mediante polipastos y contrapesos independientes para cada uno de ellos. Este mecanismo asegura que las tensiones mecánicas del sustentador e hilo de contacto, permanecerán constantes entre -20° y+80° C.

Entonces, dado que con el frotamiento del pantógrafo se desgasta el hilo de contacto y se reduce su sección, es necesario realizar la compensación mecánica quitando contrapesos cada cierto tiempo dependiendo del número de circulaciones.

2.6 CRITERIOS GEOMÉTRICOS

2.6.1 Criterios geométricos

Con objeto de que el desgaste del pantógrafo se reparta a lo largo de todo el frotador por igual, se sitúa el hilo de contacto en recta formando un zigzag respecto del eje de vía. En curva se opera de igual manera, para que siga la curva y no se pierda el contacto hilo-pantógrafo.

Los vanos máximos serán de 65 m y el descentramiento será de + 20 cm en vía recta. En curvas el descentramiento podrá ser de + 24 cm.

2.6.2 Altura de catenaria

Siguiendo las recomendaciones de la UIC será:

- A cielo abierto 1,40 metros.
- Seccionamiento a cielo abierto variable 1,40 — 2,30 metros.
- Longitud del cantón de compensación: Máximo — 1.280 m.

Si bien la altura de los pasos superiores y obra de fábrica debe permitir, en cualquier caso, la instalación de catenarias con altura de 1,40 m es posible el paso con alturas inferiores utilizando equipos de altura reducida, perfectamente ensayados y aceptados.

La longitud de péndolas debe estar calculada para que el hilo de contacto presente, en posición estática, una flecha de 1/1.000 del vano.

2.6.3 Altura del hilo de contacto

La altura del hilo de contacto de diseño con respecto al plano de rodadura de la catenaria a suministrar será de 5,08 a 5,30 metros.

En el caso de tener que realizar transiciones pendientes de la variación de altura (debido a pasos superiores) nunca deberá ser superior a 1%0, no siendo superior al 0'5°/00 en las transiciones, conforme EN 50199.

2.6.4 Vanos

Conforme longitud máxima UIC 799 la de los vanos será de 64 metros, y únicamente se permitirán diferencias de longitud de vanos continuos no superiores a 10 metros.

Como norma general en este proyecto, la longitud máxima del vano será de 60 metros.

El número de vanos de los seccionamientos, serán como mínimo:

- Seccionamientos de compensación: 4
- Seccionamientos de lámina de aire: 4

En las figuras siguientes se presentan los esquemas de los seccionamientos en 4 vanos para compensación y de lámina de aire de la línea aérea de contacto de alta velocidad y 25kV de alimentación.

2.6.5 Tolerancias de instalación

La posición de fundaciones y soportes en relación con la posición teórica de la vía no debe diferir de la teórica más de 10 cm.

El montaje de ménsulas y catenaria deberá hacerse con la vía en primera nivelación, pero las tolerancias de altura .y posición del hilo de contacto serán de 1 cm, menores que las tolerancias absolutas de la vía.

Por lo tanto, y para evitar posibles diferencias entre la posición teórica de la vía y la definitiva, se utilizarán ménsulas que permitan la corrección de alturas y descentramiento de la catenaria después de construida, originadas por variaciones de la posición de la vía respecto a la teórica, sin modificar el pendolado, hasta diferencias de altura de 18 cm y descentramientos de 10 cm en ambas direcciones.

2.7 EQUIPO DE VÍA GENERAL

2.7.1 Postes

Los postes deberán permitir la adaptación a las diferentes alturas del hilo de contacto, según las fases (paso de 5,08 m ó 5,30 m a 5,50 m, por ejemplo).

Los postes a utilizar para sustentar las catenarias, podrán ser de los tipos siguientes:

- Postes de vía general

  Podrán emplearse tanto postes de hormigón como metálicos. Si se opta por los postes de hormigón, deberán ser armados pretensados y preferentemente centrifugados.

  Los postes metálicos deberán protegerse debidamente mediante tratamientos químicos (galvanizado, etc.) pudiendo complementarse con pintura.

- Postes en zona de puentes y viaductos.

  Se aconseja el uso de postes de acero, bien de perfiles HEB galvanizados, o de perfil compuesto con embarrado diagonal también galvanizado.

  Pueden emplearse postes de hormigón si se adecua apropiadamente la base para fijarlo en la losa o estructura correspondiente.

- Postes en Puesto de Banalización y Apartaderos.

  El tipo a utilizar dependerá de la ubicación, del gálibo y de las cargas a soportar.

  Podrán ser de hormigón armado pretensado o bien metálicos de celosía galvanizados con pintura protectora posterior si fuese necesario.

Los postes de hormigón armado y pretensado deberán cumplir las siguientes normas y condiciones:

- Deberán llevar incorporados casquillos con rosca métrica para fijación de todos los equipos propios del sistema de catenaria, así como para la puesta a tierra.
- Deberán llevar incorporada una varilla de armado no tensada o cable para la puesta a tierra interior del poste. Dicha varilla o cable deberá estar protegido para que en caso de descargas atmosféricas no afecten a la estructura del mismo. Todos los casquillos roscados deberán estar conectados a la instalación de puesta a tierra interior del poste.
- Deberán llevar incorporados letreros de identificación del tipo de poste, así como casquillos para su referencia topográfica.
- Deberá calcularse la estabilidad de la estructura, incluyendo un cálculo de deformación que permita verificar que la geométrica de la catenaria no resultará alterada fuera de los límites admisibles debidos tanto a cargas no permanentes como a las originadas por la presión del viento.
- Para la fijación tanto del tacón como del tirante de la ménsula deberán llevar incorporados una serie de casquillos roscados para poder regular la altura de la catenaria.
- Los postes de hormigón serán del tipo troncocónicos con el fin de mejorar la relación peso-resistencia.

- Los postes deberán ser fijados al terreno mediante tubos o cimentaciones especiales.
- Los tubos se colocarán en el terreno mediante hinca o bien mediante perforación.
- La base de los postes se colocará en los tubos, debiendo penetrar la longitud necesaria.
- La serie de postes de hormigón a utilizar será definida en función de la tecnología del sistema de catenaria a utilizar.

Los *postes metálicos* deben cumplir las siguientes normas y condiciones:

- Deberán llevar incorporados letreros de identificación del tipo de poste, así como casquillos para su referencia topográfica.
- Deberá calcularse la estabilidad de la estructura incluyendo un cálculo de deformación que permita verificar que la geometría de la catenaria no resultará alterada fuera de los límites admisibles a causa de cargas no permanentes, así como por las originadas por la presión del viento.
- Pueden ser de perfil simple o compuesto, unidos por presillas, diagonales o cualquier otro sistema.
- Los postes deberán incorporar elementos que impidan el fácil acceso a las partes altas (en tensión eléctrica).
- Los postes estarán protegidos mediante galvanizado.
- La fijación de los postes al terreno se realizará mediante pernos de anclaje de acero galvanizados sobre cimentaciones de hormigón armado o pilotaje por tubos o cimentaciones especiales.

En su caso, los tubos se colocarán en el terreno mediante hinca o bien mediante perforación, y la base de los postes se colocará en los tubos, debiendo penetrar la longitud necesaria.

En cualquier caso, los criterios y reglas necesarias, que deberán aplicarse y tenerse en cuenta para el dimensionamiento y cálculo de postes, son:

a) Acciones sobre el poste

Las acciones consideradas sobre el poste son:

- ✓ Peso propio de los cables (sustentador, hilo de contacto, y colas de anclaje).
- ✓ Acción del viento sobre los cables (Vviento = 120 km/h).
- ✓ Esfuerzos horizontales debido al atirantamiento del cable.
- ✓ Esfuerzo horizontal provocado por el trazado en curva (R>2000 m).
- ✓ Peso propio del poste y de los accesorios.
- ✓ Acción del viento sobre el poste en las dos direcciones (Vviento = 120 km/h).

En el cálculo no se considerará el peso del hielo dado que se trata de un sistema de cables compensado.

Estos esfuerzos se obtendrán para cada tipo de cable y se sumarán según el tipo de poste según la tabla siguiente:

TIPO POSTE	SUSTENTADOR	CONTACTO	RETORNO	FEEDER +	FEEDER -	COLA SUST	COLA CONTACT
VÍA GENERAL	1	1	1	1	1	0	0
PUNTO FIJO	1	1	1	1	1	2	0
ANCL P FIJO	1	1	1	1	1	1	0
ANCL SECC	1+1/2	1+1/2	1	1	1	1	1
SEMI EJE SECC	1	1	1	1	1	1	1
EJE SECC	1	1	1	1	1	0	1

Además de los esfuerzos de flexión, se considerará en los semiejes el esfuerzo torsor que produce la cola de anclaje.

También se estudiará como carga accidental, el momento (My) que produciría sobre el poste una rotura de catenaria. Esta situación de carga supone que el poste soporta la tensión de trabajo de los cables únicamente en uno de sus lados.

b) Verificación tensional

Se comprobará que la tensión en el poste no supere la tensión máxima admisible:

$$\sigma = \frac{N\omega}{A} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} < \frac{f_y}{\gamma_y \gamma_d}$$

Donde:

f_y =límite elástico del acero del poste

γ_y =1,10 coeficiente minoración resistencia del acero

γ_d =1,50 coeficiente mayoración cargas

N es el axil

ω es un coeficiente para tener en cuenta los fenómenos de inestabilidad en perfiles comprimidos (Método omega de la Norma EA-95)

A es la sección del poste en el empotramiento

W_x, W_y son los momentos resistentes del poste en el empotramiento

Por otro lado, si se trata de un poste empresillado, la obtención de tensiones se realizará de la siguiente forma:

Esfuerzo horizontal que se absorbe por la inclinación de los montantes:

Hmontantes=2 Mx tg(α)/d

Siendo α la inclinación de los montantes, Mx el momento total y d la separación de los cordones.

La fuerza residual que produce los momentos secundarios es:

Hreducido=Hx-Hmontantes

Y el momento secundario es:

Msecundario=Hreducido*s/4

Donde s es la separación entre presillas.

Finalmente se obtiene la tensión de trabajo de los perfiles como:

$$\sigma = \frac{N\omega}{A} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_{secundario}}{W_{cordones}} + \frac{M_y}{W_y}$$

utilizando la nomenclatura anterior.

2.7.2 Macizos

Las cimentaciones que se utilizarán en los proyectos dependerán del tipo de poste a emplear.

Para postes de hormigón la cimentación se realizará preferentemente mediante tubos que podrán ser instalados mediante hinca o bien mediante perforación.

Las cimentaciones de los tubos dependerán del tipo de poste de hormigón a utilizar y de las características del terreno.

Se proyectarán tubos a instalar mediante hinca en terrenos que no sean compactos ni rocosos.

Se proyectarán tubos a instalar mediante perforación en aquellos terrenos que sean compactos o rocosos, para lo cual deberá realizarse el agujero y posteriormente se hormigonará el tubo con hormigón de resistencia mínima a compresión a 28 días de 25 N/mm2.

La cara superior de los tubos deberá proyectarse a una cota inferior respecto del plano medio de rodadura de la vía de 0,85 m.

Para el caso de postes metálicos (de celosía o perfiles metálicos), se proyectarán cimentaciones de hormigón con pernos de anclaje, o mediante tubos.

Las cimentaciones serán armadas con acero galvanizado y podrán ser de sección circular y de profundidad apropiada en función de las cargas a aplicar.

En el caso de terrenos rocosos de cimentación de los postes metálicos se podrá realizar mediante micropilotes y bases prefabricadas con pernos de anclaje.

En la fijación mediante pernos de anclaje de acero galvanizado, se deberán asegurar las dimensiones exactas de los pernos y las distancias apropiadas mediante plantillas, al objeto de queda instalación del poste pueda realizarse de forma correcta.

La cara superior de los macizos se colocará a una cota por debajo del plano medio de rodadura de la vía de 0,85 m.

Todos los elementos estructurales de los macizos deberán conectase a la tierra del sistema de tracción.

Para la verificación de los macizos se han hallado los momentos de vuelco (Mv) y los momentos actuantes (Mt), imponiéndose la condición:

Mv>Mt

a) Momentos actuantes

Para hallar los momentos actuantes Mt se consideran las acciones sobre el poste y las características del hilo de contacto y sustentador, siendo la tensión en kN y la masa en kg:

Sustentador			H.B.		
Tipo	Tensión	Masa	Tipo	Tensión	Masa
100	16396	0,89	150	21547	1,335

Las acciones consideradas sobre el poste son:

- Peso propio de los cables (sustentador, hilo de contacto y colas de anclaje).
- Acción del viento sobre los cables.
- Esfuerzo horizontal debido al atirantamiento del cable.
- Esfuerzo horizontal provocado por el trazado en curva (R>2000 m).
- Peso propio del poste y de los accesorios.
- Acción del viento sobre el poste en las dos direcciones.
- En los semiejes el esfuerzo torsor que produce la cola de anclaje.
- Momento (My) que produciría sobre el poste una rotura de catenaria. Esta situación de carga supone que el poste soporta la tensión de trabajo de los cables únicamente en uno de los lados.

b) Momento volcador macizos

Macizos tipo Md (desmonte)

Para la verificación de la cimentación se utiliza el método propuesto por el Reglamento Técnico de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión. En este reglamento se exige que la cimentación tenga un ángulo de rotación máxima α con tg(α)<0,01. Sin embargo, para aumentar el coeficiente de seguridad se considera un valor tg(α)=0,005.

El momento total respecto al eje de giro del macizo es:

$$M_{total} = 0{,}0138 \cdot C_t \cdot t^3 \cdot b \cdot 10^4 + Peso \cdot a \left(\frac{1}{2} - \frac{2}{3} \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{Peso}{C_t \cdot a^2 \cdot b}} \right)$$

Con:

$$Peso = 2200 \cdot a \cdot b \cdot h + K$$

Siendo Ct el coeficiente de compresibilidad del terreno, K el peso del poste y accesorios (estimado en 400 kg) y a, b y h las dimensiones del macizo.

El momento respecto la base del poste se obtiene con:

$$Mv = M \cdot \frac{H}{H + 0{,}1 + 0{,}666 \cdot t}$$

Siendo H la altura total del poste y t la altura del terreno estimada que se moviliza con empuje activo.

Este momento Mv deberá ser en todo caso mayor que el momento solicitante en la base del macizo.

Macizos tipo Mt (terraplén)

Idénticamente al caso anterior se obtiene la expresión para Mtotal para la geometría del macizo tipo T.

$$Mtotal = \frac{1}{108} \cdot 10^4 \cdot C_t \cdot t^3 \cdot b + P_1 \cdot \frac{a}{2} + P_2 \left(a + \frac{c}{3} \right) - (P_1 + P_2) \cdot d \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{P_1 + P_2}{C_t \cdot d^2 \cdot b}} \right)$$

$$Mv = M \cdot \frac{H}{H + 0{,}1 + 0{,}666 \cdot t}$$

Macizos tipo Ma (anclaje)

La catenaria ejerce sobre el conjunto poste-tirante una fuerza que se absorberá mediante una componente vertical a través del poste y una componente oblicua (F) a través del tirante y que por tanto debe ser compensada por el macizo de anclaje. La expresión F es la siguiente:

$$F = \sqrt{2} \cdot 640 \cdot t^2 (a + b) + 358{,}6 \cdot t^3 + 2200 \cdot a \cdot b \cdot h$$

A su vez la tensión mecánica máxima (N) del sustentador de hilos de contacto se obtiene mediante la expresión:

$$N = 640 \cdot t^2 (a + b) + 358{,}6 \cdot t^3 + 2200 \cdot a \cdot b \cdot h$$

2.7.3 Aisladores

Los aisladores a emplear serán de porcelana o de vidrio templado.

Se distinguirán entre aisladores de ménsulas, aisladores para soportar feeders y cables y por último aisladores de cola de anclaje o intermedios. Siendo todos fabricados y ensayados conforme normativa EN.

El nivel de aislamiento de los aisladores será de 36 kV, conforme EN-50124-1.

La longitud de línea de fuga aconsejada por la B.E.I (Publicación 815 de 1986), para líneas de 25 kV nominales entre fase y tierra, que suponen una tensión máxima no permanente de 29.000 V (Norma UNE EN 50163), será superior a 803 mm para un grado de polución ligera conforme Anexo A de la EN 50119.

La tensión mínima de rotura de los aisladores deberá ser superior al 95% de la tensión mínima de rotura del sistema de cables que soporta. Asimismo, el máximo esfuerzo de trabajo no deberá superar el 40% de valor de la tensión mínima de rotura del mismo.

2.7.4 Atirantados

El hilo de contacto se atirantará 200 mm alternativamente en cada poste. En eje de seccionamiento se atirantará 250 mm alternativamente.

En curvas y ejes de seccionamiento se permitirá un atirantado mayor siempre y cuando el hilo de contacto únicamente trabaje dentro de la zona de captación del pantógrafo, según UIC 794. Como máximo se recomiendan descentramientos laterales no superiores a 300 mm.

El descentramiento máximo del hilo de contacto bajo el efecto del viento transversal en el centro del vano será 400 mm.

En curvas de radio entre 2.500 y 3.000 m el atirantado se realizará con valores de +200 mm y cero en el poste siguiente.

En radio superiores a los 3.000 m el atirantado será corno en rectas, alternativo dentro y fuera de 20 cm.

2.7.5 Ménsulas

En la vía general la disposición de la catenaria será sobre ménsulas de tubo triangulares y aisladas, ligeras, preferiblemente de aluminio.

Cuando sea necesario suspender varias catenarias se emplearán disposiciones de doble y triple ménsula sobre el mismo apoyo, y si es necesario se emplearán pórticos rígidos o voladizos soporte de ménsulas sobre los que se apoyan los equipos que soportan tensiones diferentes, y siempre que sea posible se instalarán los aislamientos de modo que todas las ménsulas sobre el mismo soporte estén sometidas a la misma tensión.

En los casos como ejes de seccionamiento de aire o en zonas neutras en que obligatoriamente debe preverse la existencia de tensiones diferentes en el mismo apoyo, se preverán las distancias eléctricas necesarias tal como se ha indicado anteriormente.

Del mismo modo, cada ménsula tendrá la posibilidad de moverse libremente entre los límites de temperaturas admitidos sin interferir con el movimiento de otras ménsulas situadas en el mismo soporte.

Los soportes y dispositivos de atirantado tendrán como misión minimizar los movimientos de conductor de contacto con respecto a la vía y deben ser estables incluso con viento en dirección inversa al atirantado.

2.7.6 Catenaria en viaducto

La electrificación en viaductos y puentes se realizará teniendo presente las siguientes indicaciones:

- ✓ La altura de los hilos de contacto será de 5,08 ó 5,30 m.
- ✓ La altura de la catenaria será de 1,40 m salvo en caso de seccionamiento que podrá ser mayor.
- ✓ La ubicación de los postes se realizará normalmente sobre los pilares de los viaductos y puentes, sin afectar la estructura de aquellos.
- ✓ La colocación de los postes se realizará sobre bases preparadas con ejes roscados sobre el tablero.
- ✓ El gálibo de colocación de postes es de 3,25 m de eje de vía a eje de poste.
- ✓ No se ubicarán zonas neutras ni seccionamientos en puentes ni en viaductos debido al difícil acceso en caso de incidencias y/o tareas de mantenimiento.
- ✓ En caso de tener que proyectar anclajes sobre puentes y viaductos, estos se realizarán con placas montadas sobre el tablero.
- ✓ La longitud de los vanos en viaducto y puente dependerá de si es recta o curva y de la velocidad del viento.

2.7.7 Equipamiento en estación

La electrificación de las estaciones se realizará teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- ✓ La altura de los hilos de contacto será de 5,08 — 5,30 m.
- ✓ La altura de la catenaria será variable al existir agujas de aéreas y de seccionamiento.
- ✓ Independización mecánica de las catenarias de las vías generales de las catenarias de las vías secundarias, bien instalando equipos de ménsulas sobre postes independientes o bien sobre dinteles de pórticos rígidos, o sobre dinteles de ménsulas rectas.
- ✓ Instalación del mismo tipo de catenaria compensada en todas las vías.

- ✓ No existirán zonas neutras en las estaciones en las vías generales.
- ✓ Realización de agujas aéreas en función del tipo de aparato de vía y de la velocidad de circulación por vía desviada.
- ✓ Instalar seccionamientos de lámina de aire a la salida y entrada de las estaciones en coordinación con el sistema de señalización.
- ✓ No se ubicarán postes delante de los edificios de viajeros o en zonas donde se entorpezca la circulación de viajeros.
- ✓ La ubicación de los postes deberá tener presente el gálibo solicitado en cada lugar, debiendo ser 3,00 m la distancia mínima de eje de vía a eje de poste en zonas fuera de andenes. En éstos la distancia deberá ser mayor.

2.7.8 Efectos en túneles

La electrificación en los túneles deberá realizarse teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- ✓ No se deben instalar seccionamientos de compensación en túneles cortos, procurando desplazarlos al exterior.
- ✓ No es conveniente proyectar zonas neutras en túnel debido al gálibo necesario.
- ✓ La longitud de los vanos dependerá del gálibo existente y de la altura de catenaria.
- ✓ La altura de los hilos de contacto será de 5,08 ó 5,30 m e igual a la del exterior.
- ✓ La altura de la catenaria será variable dependiendo de si son equipos normales o de seccionamientos.
- ✓ La compensación de las catenarias en el interior del túnel se realizará mediante poleas o bien polipastos de relación 1:3 ó 1:5 y equipos de contrapesos. Estos deberán estar diseñados para que su geometría se adapte al gálibo del túnel.

2.8 COMPENSACIÓN DE TENSIONES

La tensión del sustentador y del hilo de contacto será compensada de forma independiente y automática mediante poleas y pesos apropiados. La relación de poleas será 1:3 ó 1:5.

Las tensiones de trabajo del sustentador y del hilo de contacto cumplirán las indicaciones de la EN50119.

En el centro de dos equipos de contrapesos se colocará un punto fijo que impedirá el desplazamiento de la catenaria. La longitud prevista entre dos equipos compensados no será superior a 1.280 m.

Los equipos de compensada a cielo abierto se mostrarán en el mismo poste, colocando las poleas en paralelo y a la misma altura sobre el centro, o bien colocando las poleas a distinta altura, pero en vertical y con distinta separación del poste.

Los equipos de compensación se equiparán adecuadamente para impedir el movimiento de los contrapesos por agentes externos a la catenaria o su caída en caso de rotura del conductor. Llevaran protecciones para garantizar la seguridad de las personas, así como sistema antirrobo de pesas.

2.9 PUNTOS FIJOS

Se instalarán puntos fijos en el centro de los cantones de compensación mecánica, debiendo cumplir con:

- La longitud de los semicantones deberá ser lo más igual posible para evitar desplazamientos de los conductores.
- El cable de arriostramiento podrá ser de cobre o bronce.
- La carga de trabajo del cable se determinará según la norma EN 50119.
- En caso de condiciones ambientales diferentes en ambos equipos de compensación, es conveniente que los puntos fijos lleven latiguillos.
- Los latiguillos de existir deberán instalar entre la 2a y 3a péndolas normales, de longitud aproximada cinco veces la altura entre el sustentador y el hilo de contacto.
- El cable de los latiguillos podrá ser de bronce BzII o de Cu.
- En la figura siguiente se representa el esquema de un punto fijo del cantón de compensación de la línea aérea de contacto.

2.10 SECCIONAMIENTOS

Los seccionamientos a proyectar deberán tener en cuenta los siguientes criterios:

- ✓ Situados como máximo a cada lado de un cantón de:1.200-1.280 m
- ✓ Altura de hilo de contacto: 5,08-5,30 m
- ✓ La separación de las catenarias en un seccionamiento será:
    - Tipo compensación> 200 mm

- Tipo lámina de aire > 400 mm

✓ Número de vanos de un seccionamiento:

- Tipo compensación a cielo abierto > 4 vanos
- Tipo lámina de aire a cielo abierto > 4 vanos

En los seccionamientos de lámina de aire las colas de anclaje aisladas deberán llevar conexiones ecualizadoras, uniendo dichas colas a las catenarias del trayecto.

Para la ubicación de los seccionamientos deberán tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

✓ No se deben instalar seccionamientos de compensación en túneles cortos, procurando desplazarlos al exterior.

✓ No se deben instalar seccionamientos de compensación en puentes cortos ni bajo pasos superiores.

✓ Se recomienda no situar seccionamientos en puentes y viaductos debido al difícil acceso en caso de incidencias o en caso de trabajos de mantenimiento preventivo.

✓ Debe evitarse la instalación de seccionamientos en zonas de agujas aéreas, debido a la complicada ejecución de la instalación de la catenaria en cruce.

2.11 ZONAS NEUTRAS DE SEPARACIÓN DE FASES

La catenaria dispondrá de zonas neutras apropiadas a la separación de fases eléctricas del sistema de electrificación. Las zonas neutras impiden que el pantógrafo pueda cortocircuitar dos catenarias alimentadas con distinta fase de la línea de alta.

Las zonas neutras tendrán una longitud superior a la distancia entre pantógrafos extremos conectados eléctricamente, 200 metros. Estas serán realizadas mediante seccionamientos eléctricos que dispondrán de seccionadores, telemandos para permitir interrumpir y reponer la continuidad eléctrica de los diferentes tramos.

Los puntos de separación de fases deben estar constituidos de modo que en ningún caso se produzca un puenteo de los puestos de seccionamiento por parte de los pantógrafos de los vehículos motores. Por otro lado, los puntos de separación de fases sólo deben presentar un mínimo de medidas que restrinjan el servicio.

Estas zonas neutras se instalan:

- En el punto medio entre dos subestaciones, marcando el límite de alimentación de cada una de ellas.
- En un punto cercano a cada subestación para poder alimentar desde las subestaciones adyacentes en caso de avería de la subestación. El desplazamiento máximo de la zona neutra del centro de la subestación eléctrica no debe ser superior a 3 km para evitar el aumento de la caída de tensión en la sección más larga.

En el primer caso los seccionadores de puenteo están normalmente abiertos, y en el segundo normalmente cerrados.

La ubicación de la zona neutra se realizará a ser posible en las zonas horizontales para facilitar el paso por inercia de los trenes y suficientemente alejadas de las estaciones.

2.12 COLAS Y TIRANTES DE ANCLAJE

Todos los conductores se anclan separadamente y llevan un tirante de anclaje.

Los cables de las colas del sustentador y contacto tienen la finalidad de poder resistir la eventualidad de perforación o contorneo de un aislador. Del mismo modo, los cables de los polipastos, al ser múltiples, también pueden soportar el paso de la corriente de cortocircuito a tierra durante el corto tiempo que tarde en reaccionar la subestación.

2.13 SISTEMAS DE RETORNO Y PUESTA A TIERRA

Las funciones de este sistema de corriente de retorno y puesta a tierra serán las siguientes:

- Retorno seguro de la corriente de tracción con reducción de la corriente en el subsuelo.
- Control del potencial carril – tierra para evitar tensiones inadmisibles de contacto accidental durante el servicio y en caso de cortocircuito; conforme MIE-RAT 13 y EN 50122-1.
- Limitación de perturbaciones inductivas en cables de señalización y comunicación tendidos en paralelo con la catenaria.
- Disparo seguro de las protecciones de feeder en subestación al romperse el hilo de contacto o el sustentador.

El sistema de retorno y puesta a tierra estará constituido por los propios carriles, el cable de retomo y el colector de tierra. Además, cada poste dispondrá de una pica de puesta a tierra conectada eléctricamente al poste.

El cable de retomo está formado por un cable de aleación acero-aluminio desnudo de 180 mm^2 de sección.

El cable de retorno estará ubicado a una altura de 5,5 m respecto al carril y grapados y conectados eléctricamente a los postes de catenaria por su cara exterior.

Este cable de retorno se conectará cada 500 m aproximadamente al carril de su lado mediante dos cables de cobre.

El cable colector de tierras es un conductor de Cu electrolítico flexible y desnudo de 50 mm2, que va situado junto a la canaleta de cables y al que se conectan los elementos conductores que no forman parte del sistema intrínseco de retorno. Este cable se conecta al carril en el mismo punto de las conexiones del cable de retorno descritas anteriormente cada 500 m aproximadamente.

Al cable colector de tierra se le conectarán todos los elementos exteriores a la catenaria como viseras, estructuras de puentes, barandillas, valla de protección y en general todos los elementos metálicos próximos a la instalación que son susceptibles de entrar en tensión bien por contacto, bien por inducción. También se conectan a este colector los postes en los que no es posible clavar una pica, o en los que el terreno es de características tales que dicha pica sería inútil.

Tanto el cable de retomo corno el colector de tierra, se conectan al carril cada 500 m, aproximadamente, y asimismo se conectan los de ambas vías entre sí, para asegurar un buen retorno de las corrientes de defecto que haga actuar las protecciones en la Subestación.

Como norma, a esta tierra de tracción deben conectarse todos aquellos elementos que no tienen una conexión directa a los 25.000 V de la catenaria o del feeder negativo en su caso.

El cable colector de tierra se instalará únicamente en aquellas zonas que existan estos elementos exteriores o que por las características del terreno sea imposible clavar las picas de la puesta a tierra de los postes.

Todas las conexiones entre cables se realizarán mediante grapas de conexión. Las conexiones de los cables a la vía se realizarán mediante soldadura aluminotermia.

Las conexiones entre los cables de retorno, colector de tierras y carriles se realizarán mediante cables de cobre aislado 0,6/1 kV flexible de sección mínima de 50 mm^2, y/o reutilizando el cable de Cu-150 sobrante.

3. ALIMENTACIÓN Y CONEXIONES

3.1 FEEDERS

En el caso de sistema de electrificación 2 x 25 kV, la alimentación a la catenaria se realiza por medio de autotransformadores conectados entre el feeder negativo (hilo de retorno) conectado con cada subestación y la catenaria con un punto central al carril. Este feeder negativo va situado sobre una cruceta que lo aleja del poste en dirección al campo y va suspendido de la misma, mediante una cadena de elementos de aisladores.

3.2 SECCIONADORES Y CONEXIONES

Los seccionadores son de apertura vertical. Se montan, bien en los pórticos de salida de subestaciones y puestos de alimentación con autotransformador o en soportes independientes. En los seccionamientos de lámina de aire los seccionadores se montan en el eje de seccionamiento.

Se prevé la utilización en el exterior de las subestaciones de seccionadores de apertura en carga con mando eléctrico o electro-hidráulico, que podrá ser mandado a distancia desde el puesto de mando que se establezca.

3.3 HILO DE CONTACTO

El hilo de contacto cumplirá los requerimientos de la norma EN 50149 y será instalado cumpliendo la norma EN 50119.

El material del hilo de contacto será una aleación de Cu con Mg, ranurado y de altas prestaciones mecánicas y de conductividad.

Se utilizará 1 único hilo de contacto. Su sección será escogida conforme directrices indicadas en apartados anteriores.

El aspecto exterior será según norma PREN 50149 apartado 4.2.

El hilo de contacto deberá tener una sección circular de 150 mm2 y una ranura de anclaje tipo B, identificado como RIM-150 según norma PREN 50149 apartado 4.4.4.

La sección podrá tener una tolerancia de +/- 3%, por lo que deberá estar comprendida entre los valores 145.5 / 154.5 mm2. Además, la tolerancia del diámetro estará comprendida entre los valores 14.3 / 14.7 mm.

La masa por kilómetro podrá tener una tolerancia de +/- 3%, por lo que deberá estar comprendida entre los valores 1293 / 1374 kg/km.

La tolerancia de la longitud del hilo de contacto será de 0+30 m. Según la norma prEN 50149 apartado 6.3. No se permitirán soldaduras ni uniones.

La resistencia eléctrica por unidad de longitud a 20 °C no deberá exceder de 0'185 1 Ω/km.

Por efecto de radiación solar y calentamiento resistivo, los conductores pueden alcanzar temperaturas no superiores a los 80 °C, para lo que el Reglamento de Líneas aéreas determina la densidad de corriente admisible para cada tipo de conductor, material y composición.

Como desgaste máximo de hilo de contacto se admitirá el 20%.

3.4 PÉNDOLAS

Conforme la UIC-799 la separación entre péndolas será menor a 9,5 m con el objetivo de limitar las flechas del hilo de contacto entre las mismas. Asimismo, la longitud mínima de péndola será de 250 mm.

Las conexiones con el sustentador y el hilo de contacto serán robustas y seguras para garantizar el contacto eléctrico.

Asimismo, su sección será la adecuada para asegurar riesgos por calentamiento.

El Contratista escogerá la utilización de péndolas en "Y" para conseguir mayor homogeneidad de la elasticidad de la catenaria.

4. AGUJAS

En las agujas sobre vía general, se evita el ataque lateral del pantógrafo a la catenaria, elevándola y no permitiendo que apoye hasta que su eje no se encuentre sobre el pantógrafo.

Esto se consigue mediante el empleo de una catenaria auxiliar que va haciendo seccionamientos primero con una catenaria y luego con otra.

Para poder montar las catenarias en la zona de agujas es necesario montar pórticos rígidos de los cuales se suspenden silletas a las que se fijan las ménsulas precisas para el montaje de las agujas.

Para el caso de agujas menos importantes, que partiendo de una vía secundaria conduzcan a una vía de apartado con cambios de velocidad reducida, se emplearán agujas tangenciales, pero simplemente con dos catenarias.

5. PROTECCIONES Y CONEXIONES AL CARRIL

Una de las cuestiones de vital importancia en esta instalación, debido a la elevada tensión que se maneja, es la seguridad de los usuarios y del personal de explotación.

Igualmente, la propia instalación de la electrificación y las instalaciones cercanas deben protegerse: las primeras contra los fenómenos eléctricos atmosféricos, y la segunda contra las corrientes vagabundas.

Efectivamente, en una instalación de corriente alterna de 25 kV pueden aparecer efectos de inducción y de resonancia, que no se presentan en corriente continua, que pueden provocar corrientes de importancia en puntos no deseados como son las armaduras de las obras de fábrica y de los túneles, así pues, todas las protecciones de la C-350 se basan en la filosofía de que "cualquier parte de la instalación que no está unida al circuito de retorno está sometida a la tensión de 25 kV".

Para reducir al mínimo todos estos riesgos, es preciso crear una placa equipotencial a lo largo de toda la instalación a la cual irán conectados todos los elementos metálicos conductores no activos de la instalación.

En los postes de anclaje se preverá una placa atornillada al poste asegurándose de que hace un buen contacto eléctrico, a la cual se unirán todas las estructuras de sujeción de contrapesos, poleas, colas, etc.

De la base del poste se sacará una conexión al cable colector de tierras que a su vez y cada tres vanos irá conectado al cable de retorno y cada seis se conectará a cable de retomo y a carril.

Uniendo las cabezas de todos los postes de cada lado de la instalación se dispone un cable de guarda. Este cable, tanto de un lado como de otro, se conecta al cable colector de tierra, normalmente cada 1,5 km.

Todos los puntos centrales de juntas inductivas o condensadores de las secciones de separación de frecuencia de señalización irán conectados al cable de guarda y al cable colector.

Las obras de fábrica deberán dejar en el exterior del hormigón una placa metálica a la cual se haya soldado un redondo que conecte eléctricamente, mediante soldadura, todas las armaduras del hormigón, y que se conectará al cable de tierra.

En las alimentaciones a la catenaria desde un autotransformador, en su caso, el punto central del mismo se conectará al carril, tendrá una tierra independiente y se conectará además al cable colector de tierra.

En los túneles se deben seguir las normas de las obras de fábrica. A su entrada se anclarán los cables de guarda conectándolos al colector de tierra, el cual pasará a lo largo del túnel por debajo de la canaleta de comunicaciones.

Al cable colector deberán conectarse también todas las tierras de señalización, comunicaciones, etc., así como los soportes aislados, las vallas de protección y en general todas las masas metálicas no sometidas a tensión por razones de su función.

Se protegerá especialmente la maniobra de seccionadores, conectando el poste a una rejilla sobre la que debe situarse al operador. También es importante la conexión a tierra de las viseras de los pasos superiores.

El objeto de esta medida es hacer funcionar los extrarrápidos de las subestaciones, en caso de perforación o fuga de los aisladores, pues además se presenta la acción electrolítica destructora en el acero de las armaduras.

6. CONCEPTOS GENERALES PARA LAS SUBESTACIONES DE ALIMENTACIÓN PRINCIPALES

6.1 NORMALIZACIÓN

Las subestaciones necesarias para el suministro de energía eléctrica de la línea deben normalizarse completamente. Se puede decir que la normalización es la parte más rentable cuanto más cara sea la parte de la instalación.

6.2 CRITERIOS DE DISEÑO

El diseño del sistema de alimentación a la catenaria se debe realizar en base a que una avería simple no origine ni la pérdida ni ninguna situación degradada en el sistema de electrificación.

De esta manera, se realizará un diseño del sistema que cumpla con los criterios de avería única, para lo cual es necesario garantizar el cumplimiento simultáneo de los criterios de redundancia e independencia.

En términos generales, la redundancia consistirá en mejorar la fiabilidad de un sistema mediante la multiplicidad de elementos que realizan la misma función.

El concepto de independencia (que en algunos casos es equivalente a la separación física) tendrá un doble sentido. Por un lado, la independencia consistirá en garantizar que, en la función realizada por elementos redundantes entre sí, no existen elementos comunes susceptibles de avería. Por otro lado, la independencia tendrá que garantizar que, diferentes elementos redundantes entre sí, no queden expuestos a efectos destructivos que se produzcan en uno de ellos.

De manera que se establecen los siguientes criterios generales de diseño:

- Las subestaciones de tracción se conectarán, preferentemente, en anillo a la red de transporte (220 kV o 400 kV), esto implica una doble línea de alta tensión de entrada-salida en cada subestación de tracción. De esta manera, la desconexión de una de las líneas de alta tensión, no afectaría a la explotación normal del sistema.
- Dentro de cada subestación de tracción, existirán las conmutaciones necesarias, a nivel de 25 kVca, para que en caso de que alguno de los transformadores principales se desconecte por sus protecciones, el cantón que se alimentaba desde ese transformador, lo haga desde el cantón colateral.
- Asimismo, en caso de una de las subestaciones de tracción caiga del sistema, la catenaria de las vías podrá alimentarse a través de las zonas neutras de los cantones colaterales, mediante la actuación de seccionadores normalmente abiertos telemandados desde el centro de control.
- Las celdas de los transformadores de potencia estarán separadas por pantalla cortafuegos, de forma que un incidente en uno de ellos no derive en una avería en los transformadores vecinos.
- Cada subestación dispondrá de dos transformadores de servicios auxiliares, conectados a transformadores de distribución diferentes, para aumentar la fiabilidad de los servicios auxiliares y comunes de cada subestación de tracción.
- Las subestaciones de tracción dispondrán de un grupo electrógeno de potencia necesaria para realizar la puesta en marcha inicial de las instalaciones y para garantizar los servicios auxiliares y comunes de las subestaciones en caso de un cero importante en alta tensión.

Además de los criterios de dimensionado indicados para obtener una alimentación eléctrica de catenaria que cumpla con los criterios de avería única, en el dimensionado básico de los diferentes elementos que integran el sistema, se tendrá en cuenta el criterio de optimización del espacio físico necesario, teniendo en cuenta las necesidades futuras de ampliación, así como las necesidades de mantenimiento.

En cuanto a los criterios de operación y explotación, los equipos y sistema que para su operación requieran de una fuente segura de alimentación, recibirán suministro eléctrico a través de un sistema de alimentación ininterrumpida que garantice la

continuidad del servicio en caso de fallo en el sistema principal de alimentación, sea en forma de corriente continua, o bien desde un equipo SAI.

El diseño de los diferentes subsistemas de electrificación, así como los requisitos exigibles a los equipos y materiales que formen el sistema, se elaborarán en estricto cumplimiento de la normativa aplicable sobre seguridad, tanto del personal de explotación como de mantenimiento del sistema. De manera que cumplirán los siguientes requisitos:

- Protecciones mecánicas o formas constructivas que impidan los contactos directos sobre zonas en tensión de la instalación.
- Sistemas de protección que garanticen el corte y aislamiento de las redes de alimentación en caso de faltas a tierra, cortocircuitos y pérdidas de aislamiento.
- Sistemas de puesta a tierra que eviten la transferencia de potenciales peligrosos en caso de defecto a tierra de las instalaciones y que garanticen los valores máximos admisibles de tensiones de paso y de contacto.
- Elementos de puesta a tierra que garanticen el trabajo seguro sobre las instalaciones.
- Enclavamientos mecánicos y/o eléctricos que aseguren la operación segura y fiable de las instalaciones.
- Sistemas de protección que aseguren el correcto funcionamiento y vida útil de los equipos y materiales de la instalación.

En el diseño del sistema se utilizarán criterios orientados a la facilidad de mantenimiento y de explotación de las instalaciones. En este sentido, se aplicarán los siguientes criterios generales:

- Implantación de equipos y sistemas que permitan el fácil acceso y manipulación de todos los elementos maniobrables de la instalación.
- Previsión de áreas para la entrada y salida de equipos.
- Acceso a las celdas de transformadores para poder proceder al cambio de un transformador, mediante viales que permitan acceder con camiones grúa.
- Modos de instalación que permitan la inspección de aquellas partes de la instalación que así lo requieran.

6.3 IMPLANTACIÓN DE LAS SUBESTACIONES

La separación entre subestaciones depende del sistema, al optarse por el sistema de electrificación 2 x 25 kV, será de 70 km entre las subestaciones de alimentación principales.

Además, con el fin de limitar a un mínimo estricto el costo de construcción de esas subestaciones, los principios siguientes deberán prevalecer a la hora de seleccionar su localización:

- Al borde de las vías férreas.
- Lejos de los haces importantes de vías y de los túneles.
- Lo más cerca posible de la red viaria existente.
- Minimización posible de expropiaciones.
- Lo más cerca posible de las líneas de A.T. existentes (minimización de la longitud de tendido).

De acuerdo con las disposiciones anteriores, y a falta de la confirmación de las compañías eléctricas y de ADIF, se proponen las siguientes subestaciones:

- Entorno de Valencia
- Tramo II. En cualquiera de sus alternativas (II.1, II.2 y II.3), con una potencia máxima estimada de 30 MVA.
- Entorno de Castellón

Las subestaciones de Valencia y Castellón están fuera del ámbito de este Estudio Informativo.

6.4 EQUIPO PARA CONSUMO PROPIO

El equipo para consumo propio de las subestaciones cumple la misión de suministrar la energía auxiliar correspondiente a las instalaciones auxiliares, instalaciones de seguridad y de medida, así como a todas las funciones de mando. Aquí se alimentan con tensión de red “normal” (220V).

Por el contrario, todas las instalaciones importantes en cuanto a la seguridad (técnicas de seguridad, mandos) deben alimentarse con energía "asegurada" (tensión continua de 60 V).

La alimentación con tensión de red normal (220 V) se realiza mediante un transformador en seco instalado en la sección de 25 kV, con una potencia aproximada de 30 kVA.

La energía asegurada se genera mediante rectificadores y baterías. Para el funcionamiento seguro y fiable de una subestación tiene gran importancia la disponibilidad de tensión auxiliar y de mando. Es por ello por lo que para aumentar la disponibilidad de los aparatos rectificadores deben existir por duplicado.

Caso de fallar la tensión normal de red, la batería de 60 V está en condiciones de mantener las funciones más importantes de mando y control durante 6 u 8 horas.

6.5 DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES TRANSFORMADORAS

6.5.1 Descripción general

Las subestaciones transformadoras constan esencialmente de un parque intemperie en el que se sitúa todo el aparellaje de la línea de alimentación, transformadores de potencia y aparellaje. Los equipos de protección, medida, control y servicios auxiliares están alojados en un edificio de dimensiones adecuadas situado dentro del propio recinto de la subestación.

Todos los aparatos ligados a la línea de alimentación se diseñan para ser instalados a la intemperie, así como los transformadores con la tensión y potencia requeridos en este proyecto, e igualmente el aparellaje necesario para la instalación de 2 x 25 kV, cuya tensión máxima de servicio es de 50 kV, entre fases (feeder de alimentación y feeder de retorno o negativo). El aparellaje en el caso de 1 x 25 puede seguir siendo como en la actualidad (línea Madrid-Sevilla).

Para proporcionar equilibrio en el conjunto de la red de alimentación, se divide la línea en tramos parciales, que se corresponden con la situación de las subestaciones de línea de tracción. Cada uno de estos tramos se alimenta con fases eléctricas diferentes a la de los dos contiguos; entonces, se establecen entre cada uno de ellos unas zonas neutras sin tensión para evitar la producción de cortocircuitos al paso del pantógrafo.

Se representa en el plano 11.2 el esquema unifilar de una subestación tipo 1x25 kV y 2x25 kV, con sus esquemas de protección y regulación de frecuencia.

Las subestaciones de tracción estarán formadas, en planta, como se muestra en el plano 11.5.

6.5.2 Dispositivos de seguridad

Los dispositivos de seguridad tienen como misión proteger todas las partes eléctricas de la instalación. Mediante la desconexión rápida del suministro de energía al lugar del fallo se protegen de daños las partes de la instalación afectadas. Esto se logra mediante la interacción de los dispositivos de medida, relés de protección y disyuntores.

En particular, para el diseño de la red de tierras de la subestación debe tenerse en cuenta la transmisividad del terreno sobre el que está ubicada.

- Sobretensiones en instalaciones de catenaria

  En cada derivación de la catenaria, en una subestación, se mide el flujo de corriente mediante un aparato de medida. Si se produce un fallo repentino con alto flujo de corriente en la sección de la catenaria, el dispositivo de seguridad lo identifica y lo transforma en una orden de desconexión para el disyuntor. Todo el mecanismo de medida trabaja sin retardo para proteger de la forma óptima posible a toda la instalación de la catenaria.

  El sistema de protección debe tener en cuenta si la corriente de defecto llega al punto de fallo a través de la atenuación eléctrica del conductor; entonces se da una orden de desconexión al disyuntor una vez transcurrido un tiempo de demora. Se evitan así órdenes de desconexión injustificadas.

- Protección del Transformador

  Su protección está claramente justificada por su alto valor (alrededor del 40% del coste de la subestación).

  Cada transformador tiene un relé "Bucholz". Este dispositivo cubre todos los fallos que tengan efectos inmediatos en el comportamiento del aceite aislante dentro del transformador.

  Otro nivel de protección se realiza con termómetros, que en un primer límite de temperatura alta da la alarma, y en otra posterior da la orden de apertura al interruptor.

  Con un dispositivo de medida conectado con la carcasa del trafo y tierra se supervisa otra posible fuente de fallos.

  Todos los fallos identificados provocan una orden de desconexión para todos los disyuntores conductores de energía.

- Protección de la línea de alimentación

  El dispositivo de protección de la línea de alimentación dependerá de las condiciones de la compañía de suministro eléctrico.

6.5.3 Instalaciones de mando local y automático

Las subestaciones estarán desocupadas en condiciones normales de servicio. Un centro de control las supervisa y acciona mediante el telemando de energía cuando es necesario. Por lo tanto, el mando local sólo es necesario cuando se interrumpe el enlace por telemando, y en el caso de operaciones de mando durante el mantenimiento de la subestación.

En el armario de mando local se encuentran una serie de automáticos que cumplen las siguientes funciones:

- Automático de prueba de la catenaria.
- Automático de la corriente de retorno.
- Enclavamientos.

7. JUSTIFICACIÓN DE LA POTENCIA ADOPTADA EN SUBESTACIÓN

Para una correcta valoración de las subestaciones transformadoras es necesario el predimensionamiento de la potencia de sus transformadores, debido fundamentalmente a dos razones:

El conjunto de los transformadores dentro de la subestación supone un 40% del valor de la misma.

- El coste de un transformador es directamente proporcional a su potencia. Los parámetros básicos que condicionarán el diseño de la red de tracción son:
    - Potencia necesaria para alimentar a todos los vehículos.
    - Caída de tensión máxima admisible s/ UNE — EN 50163.

Atendiendo a los criterios de interoperabilidad en líneas ferroviarias internacionales, son de aplicación las normas y recomendaciones de la UIC. En particular, la ficha UIC 795 (de obligado cumplimiento) marca las potencias mínimas a instalar en función de la categoría de la línea. Para una categoría I (velocidad máxima de la línea de 350 km/h), la potencia a instalar es de 3,0 MVA/km.

Estos requerimientos de potencia unitaria provienen de una composición doble de viajeros de dos pisos a plena carga circulando con un intervalo de servicio de 3 minutos.

El tramo presenta una longitud aproximada de 70 km, circularán vehículos con velocidades máximas de 350 km/h y con intervalo (todavía no definido) que se considerará de 3 min a efectos de dimensionamiento eléctrico, de acuerdo con el R.D. de interoperabilidad, aunque no parece necesario teniendo en cuenta el Análisis Funcional realizado.

La potencia a instalar en el tramo de acuerdo con lo apuntado anteriormente será de 201 MVA.

Entonces, para el sistema 2 x 25 kV se obtienen los siguientes resultados:

- Potencia mínima a instalar (s/ UIC): 201 MVA
- Interdistancia máxima aproximada entre subestaciones: 70 km
- Número de subestaciones: 2
- Zonas neutras de separación de fases: 3 (2 de subestación y1 inter-subestaciones)
- Potencia unitaria de las subestaciones: 2 x 60 MVA
- Interdistancia máxima aproximada entre centros de autotransformación: 10 km
- Número de centros de autotransformación: 5 (3 C.A.T. "intermedios" y 2 C.A.T. "finales").
- Potencia unitaria de los centros: 2 x 15 MVA ("intermedios") y 4 x 15 MVA ("finales")

En lo referente a las dos subestaciones mencionadas la primera de ellas pertenece en realidad al tramo anterior perteneciente a la Red Arterial Ferroviaria (RAF) de Valencia, que se encuentra a unos 10 km del origen de este tramo Valencia-Castellón.

La segunda subestación estará en la P.K. 50, aproximadamente, que alimentará a ambos lados, incluyendo la estación de Castellón y la salida norte de Castellón.

8. ACOMETIDAS DE ENERGÍA

8.1 INTRODUCCIÓN

Para poder alimentar a las subestaciones de tracción ferroviaria situadas a lo largo del trazado es necesario realizar acometidas de energía de la red eléctrica nacional.

En las mencionadas subestaciones se realizará la transformación de tensión de la línea de suministro a 50 kV.

En principio, las acometidas pueden ser de tres tipos:

- Posicionamiento de salida en una línea existente, lo que en términos eléctricos se denomina una “antena”
- Línea en derivación
- Líneas en doble alimentación

Siempre que sea posible, se debe recurrir al primer tipo, por razones económicas, de impacto sobre el territorio y expropiaciones.

En lo que respecta al impacto ambiental, la construcción de estas líneas eléctricas puede producir alteraciones sobre la fauna, la vegetación o el paisaje, tratándose de impactos reversibles, cuando se elimine la instalación.

Para poder optar por ellas, es necesaria la existencia de líneas eléctricas, que deberán tener la potencia necesaria para además de seguir prestando su servicio habitual, alimentar las subestaciones.

La introducción de los nuevos posicionamientos debe mantener las líneas de transporte de la red equilibradas. Dada la escala del Proyecto, la realización de los estudios de los desequilibrios inducidos no tiene mayor sentido. Para ello, es necesario modelizar la red eléctrica afectada y calcular y analizar las tensiones de cada una de las fases, los transitorios electromagnéticos, y el flujo de potencias resultante. A la vista de los resultados y desviaciones obtenidas se podrán conocer los desequilibrios generados.

En el ámbito abarcado por el presente Estudio Informativo el único propietario de las redes existentes es Red Eléctrica Española, REE.

8.2 ALTERNATIVAS DE ALIMENTACIÓN

La zona por donde discurre este trazado entre Valencia y Castellón se caracteriza desde el punto de vista de la alimentación eléctrica por disponerse de un número suficiente de líneas cercanas a la traza de tensión 220 kV ó 400 kV, lo que posibilita que las acometidas sean de reducida longitud.

Las líneas eléctricas existentes en el área que recorre la traza son:

- Líneas de 400 kV
- Líneas de 220 kV
- Líneas 132/200 kV
- Líneas 66 kV

En caso de ser necesario el tendido de una nueva línea, la inversión necesaria para el tendido de ésta tampoco debería repercutirse únicamente a esta nueva línea de alta velocidad, a menos que la Administración decida lo contrario, acogiéndose a la ley 54/1999, de 29 de diciembre.

En el documento se han analizado distintas alternativas consideradas proponiendo la que parece más conveniente, aunque para la elección final se deberá contar con Red Eléctrica y las Compañías Eléctricas implicadas, no sólo por temas de potencia disponible, y puntos de conexión a sus redes, sino también por el tendido de nuevas líneas paralelas a la traza.

La elección final de la alternativa adecuada partirá de un estudio más detallado y será decisión de las autoridades competentes de la red eléctrica y las compañías eléctricas implicadas, no sólo en función de potencia disponible y puntos de conexión a sus redes, sino también por el tendido de nuevas líneas paralelas a la traza.

De sus conclusiones se puede extraer que, para el tramo en estudio, Castellón-Tarragona, el sistema de alimentación adecuado es el 2 x 25 kV realizando la toma de fuerza directamente de las líneas de AT de 220 kV y 400 kV, lo que proporciona una gran fiabilidad al sistema.

Por todo lo comentado, las nuevas líneas de acometida deben presentar una longitud limitada. En efecto, la subestación prevista en el entono de Castellón puede ser alimentada por líneas de 220 y 400 kV en el área, y tres subestaciones de compañía (La Plana, El Ingenio y Castelló).

8.3 CONEXIÓN DE CADA S/E A LA RED DE ALTA TENSIÓN

El tipo de conexión de las subestaciones a la red de A.T. será el que decida la Compañía, siendo recomendable una conexión doble entrada – salida o doble antena. En última instancia, será Compañía quien determine el tipo de acometida: dependerá de si se acomete una nueva línea de A.T. para alimentar todas las subestaciones en anillo, o si para subestación de tracción existirá una línea directa desde una subestación receptora de la Compañía.

9. TELEMANDO DE ENERGÍA

El telemando de energía de la línea ferroviaria de alta velocidad Valencia-Castellón estará integrado por todos los elementos hardware, software y de comunicaciones que permitan realizar a distancia el control, la supervisión y la gestión, de acuerdo con unos criterios de calidad, disponibilidad y seguridad, de todos los sistemas relacionados con el suministro y absorción de energía de la catenaria de la línea ferroviaria.

De modo general se diferencian las siguientes funciones básicas descritas a continuación.

Centro de Control y Operaciones (CCO) ocupa el puesto de mayor nivel jerárquico del sistema, y es el encargado del mando y control en tiempo real, así como la gestión de todos los subsistemas y elementos ubicados en campo.

En un nivel inferior se encuentra el Puesto Regional de Operación (PRO), puede realizar las mismas funciones que el CCO, y al que se cederá el mando del sistema en caso de fallo en el CCO o de forma eventual para mantenimiento.

En el siguiente nivel de la jerarquía, se encuentran los Puestos Locales de Operaciones (PLO). Estos puestos de control están agrupados en tres tipos de redes:

- Red Asociada a Subestaciones (RA-SE)

  Esta red abarca el telemando de todos los elementos de campo relacionados con la transformación y suministro de energía desde la compañía eléctrica hasta la línea aérea de contacto (catenaria). Todo el equipamiento necesario para llevarlo a cabo se incluye dentro del Sistema Integrado de Control Distribuido de subestaciones (SICD) así como la conversión de protocolo para transmitir la información al telemando que se realizará en un Gateway.

- Red Asociada a Catenaria (RA-CA)

  Este sistema abarca el movimiento y control de los seccionadores que permiten el transporte de la energía desde los puntos de suministro, las subestaciones, hacia la catenaria, y posteriormente a lo largo del tramo.

  Además del movimiento de los seccionadores de catenaria, contemplará la captación de la medida de tensión de catenaria mediante la instalación de un detector de tensión capacitivo por vértice de catenaria.

- Red Asociada a Consumidores (RA-CO)

  Este sistema abarca el movimiento de los elementos de corte (seccionadores e interruptores) que permiten extraer energía de la catenaria para alimentar las Instalaciones de Seguridad y Comunicaciones Ferroviarias (IISSCC).

  También se contemplará la captación de las medidas de tensión y consumo en baja tensión desde catenaria, el control de la calefacción de agujas, y el control de la iluminación de los túneles.

  Dichas redes no son redes físicas, si no Redes Locales Virtuales o VLAN (Virtual Local Área Network), que mediante una configuración en bus une todos los nodos de campo entre sí, además de éstos con los centros de control, usando como medio físico las fibras ópticas tendidas por la técnica de comunicaciones.

  Para el mando y control de los nodos de catenaria y consumidores se hace necesario instalar una serie de armarios que actuarán de PLO.

  Cada PLO tendrá asociada una o varias Redes Locales empleadas tanto para comunicaciones como para alimentar os distintos elementos finales. En todos los casos solo existirá un tipo de Redes Locales asociados a 2 tipos de Elementos Finales:

  - Red Local de Catenaria (RL-CA)
  - Red Local de Consumidores (RL-CO)
  - Red Local de Catenaria y Consumidores (RL-CA/CO)

  Se diseñará el subsistema de comunicaciones con el hardware adecuado que facilite el trasvase de información acorde a los protocolos de comunicaciones existentes en el resto del sistema. Protocolo de comunicaciones IEC-60870-5-104 encapsulado en TCP/IP.

10. PLANOS

En el Apéndice 1 del presente anejo se adjuntan los planos:

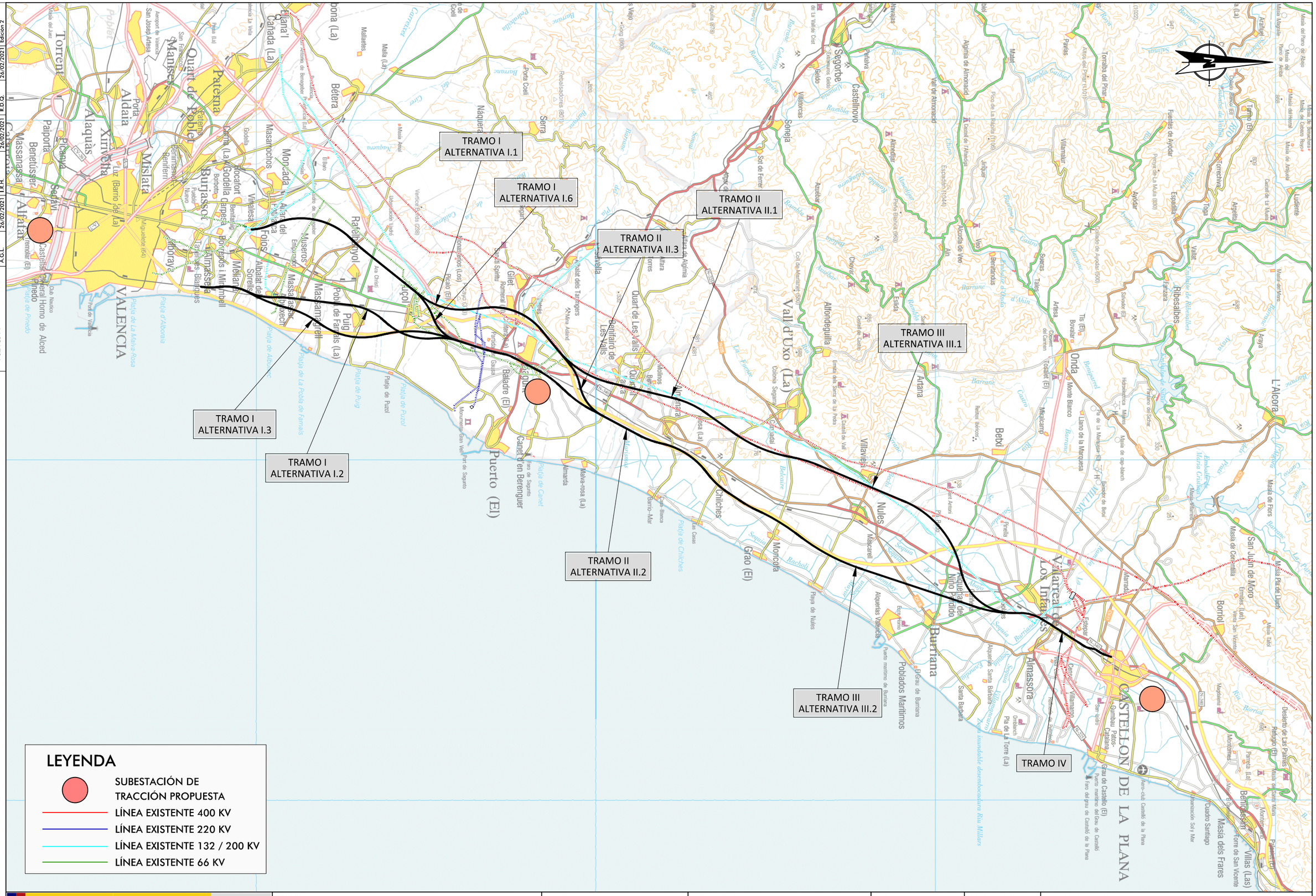
- Red eléctrica en el entorno de la nueva red ferroviaria y localización de las subestaciones existentes y propuestas.
- Sistema de electrificación 2x25 kV. Esquema de principio.
- Sistema de electrificación 1x25 kV y 2x25 kV. Diagrama unifilar
- Alternativas de conexión en la línea de alimentación.

- Sección tipo catenaria: sección tipo catenaria 350 km/h en recta, en curva y en túnel.
- Subestación de tracción. Distribución en planta. Planta y alzado del parque.
- Centro de autotransformación: centro de autotransformación final e intermedio.

APÉNDICE1. PLANOS

Realizado	Fecha	Comprobado	Fecha	Aprobado	Fecha	Revisión
A.G.L.	26/02/2021	I.R.H.	26/02/2021	R.D.Q.	26/02/2021	Edición 2

P0210J44



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS

DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TITULO:

ESTUDIO INFORMATIVO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD VALENCIA - CASTELLÓN

AUTOR:

SENER

ESCALA ORIGINAL:

1/200.000

Numérica: DIN A-3

Gráfica: 1 2 4 km

FECHA:

FEBRERO 2021

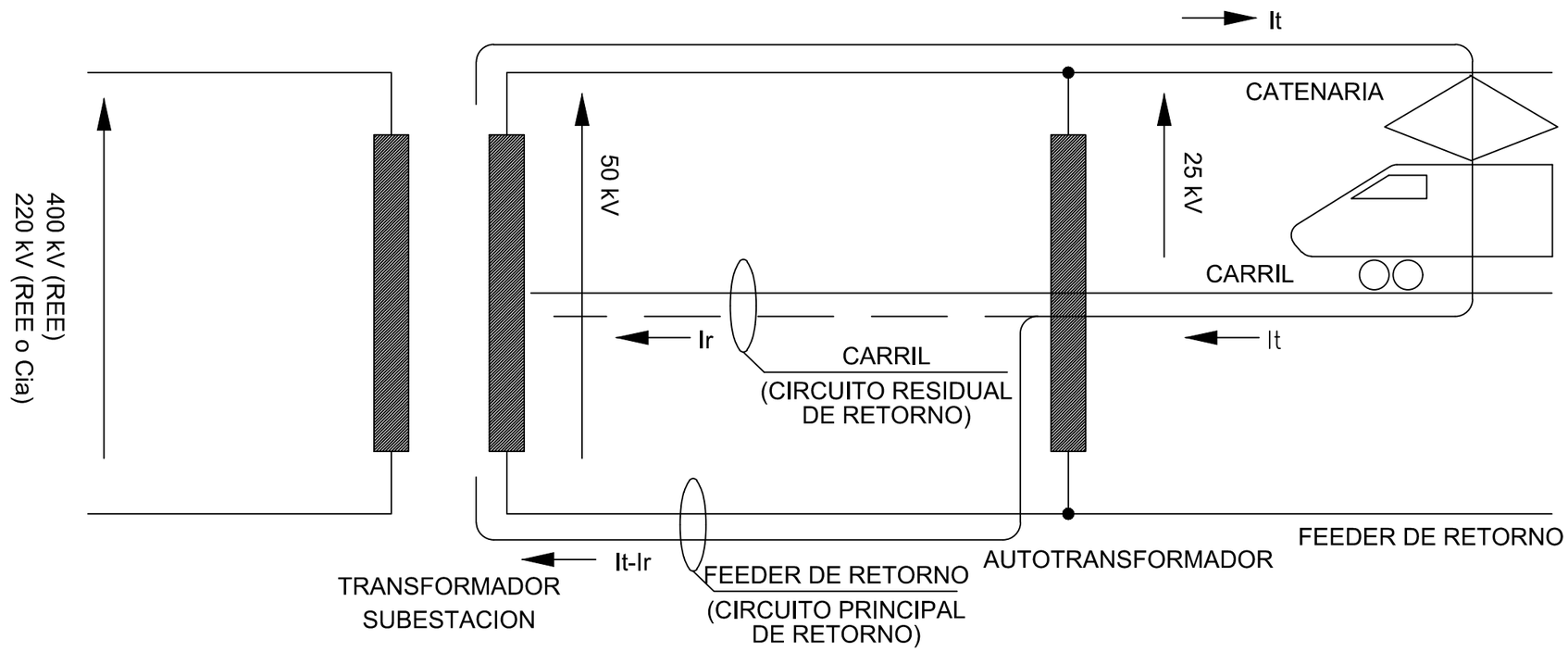
Nº DE PLANO:

AN 11.1

HOJA 1 DE 1

TITULO DEL PLANO:

ELECTRIFICACIÓN
LOCALIZACIÓN PRELIMINAR DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS



P0210144	Realizado	Fecha	Comprobado	Fecha	Aprobado	Fecha	Revisión
	A.G.L.	26/02/2021	I.R.H.	26/02/2021	R.D.Q.	26/02/2021	Edición 1

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TITULO:
ESTUDIO INFORMATIVO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD
VALENCIA - CASTELLÓN

AUTOR:
SENER

ESCALA ORIGINAL:
S/E
Numérica: DIN A-3
Gráfica:

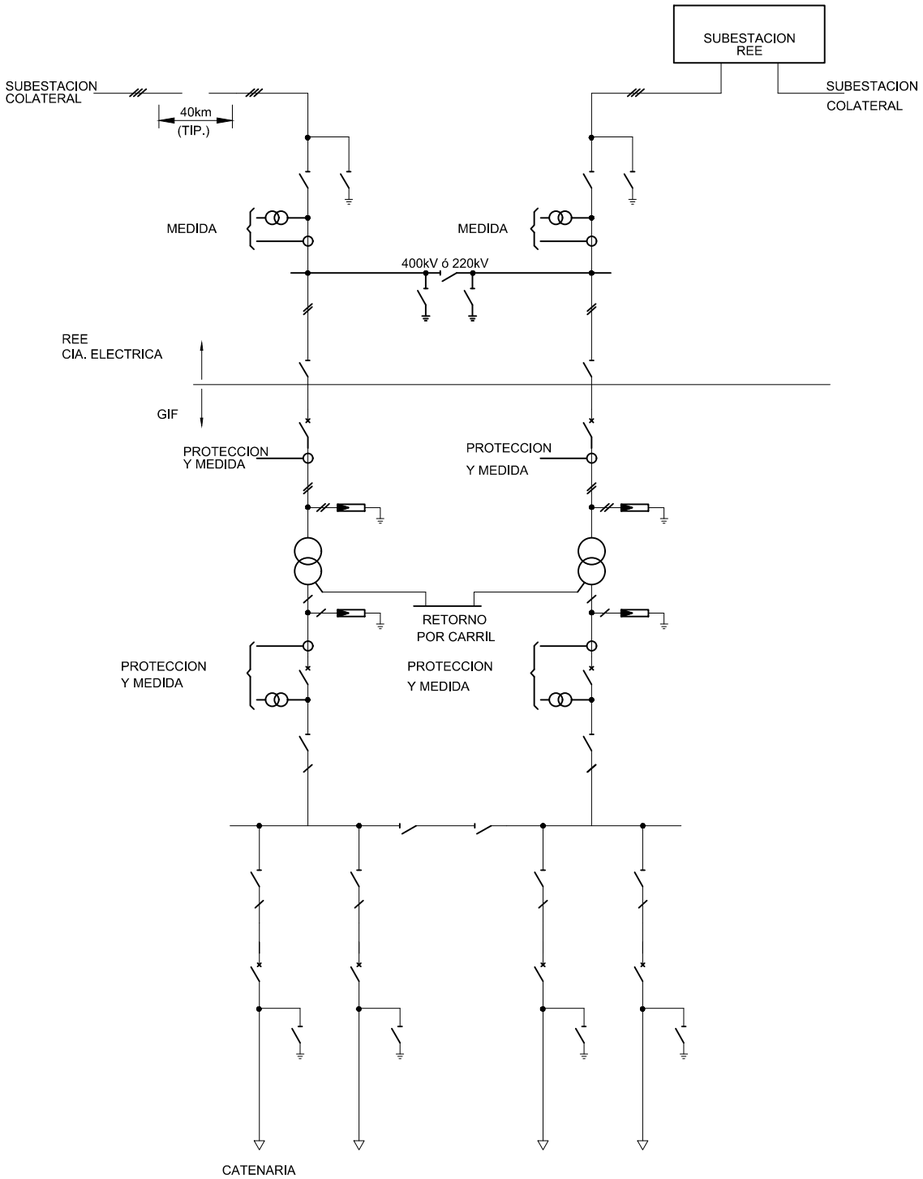
FECHA:
FEBRERO 2021

Nº DE PLANO:
AN 11.2
HOJA 1 DE 1

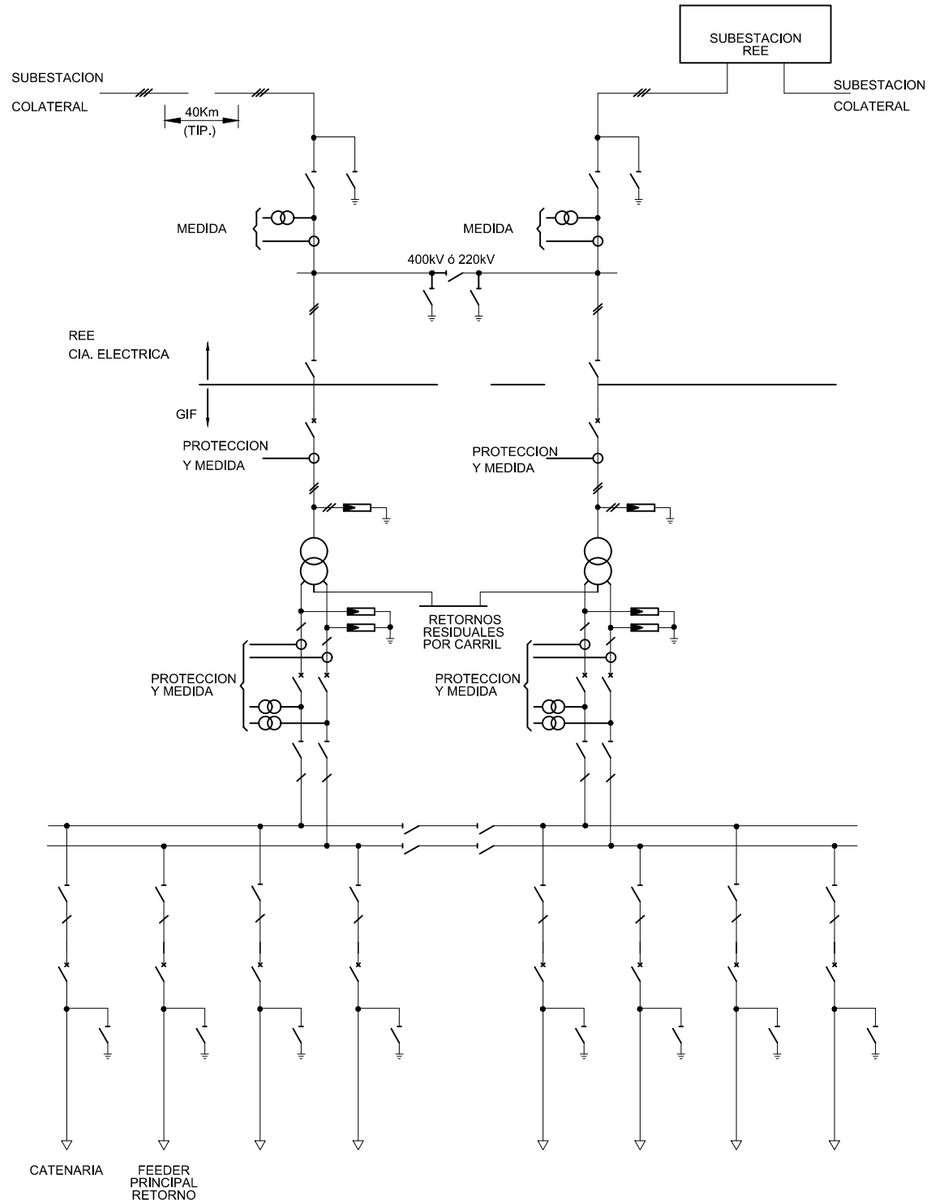
TITULO DEL PLANO:
ELECTRIFICACIÓN
SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN 2X25KV
ESQUEMA DE PRINCIPIO

Realizado	Fecha	Comprobado	Fecha	Aprobado	Fecha	Revisión
A.G.L.	26/02/2021	I.R.H.	26/02/2021	R.D.Q.	26/02/2021	Edición 1

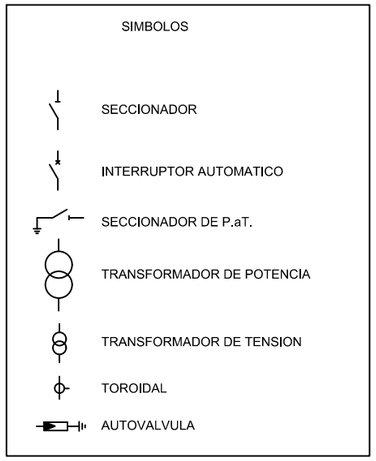
P0210J44



SISTEMA DE ELECTRIFICACION 1x25kV



SISTEMA DE ELECTRIFICACION 2x25kV



GOBIERNO DE ESPAÑA — MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TITULO:
ESTUDIO INFORMATIVO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD VALENCIA - CASTELLÓN

AUTOR: SENER

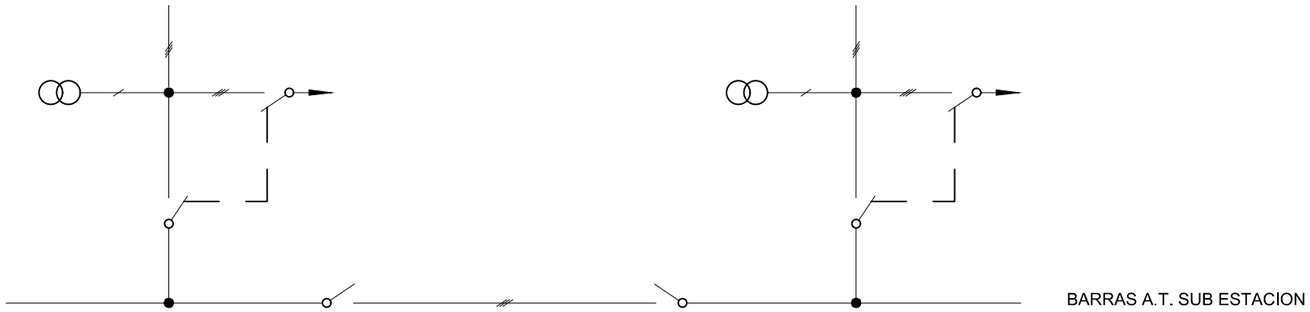
ESCALA ORIGINAL: S/E
Numérica: DIN A-3
Gráfica:

FECHA: FEBRERO 2021

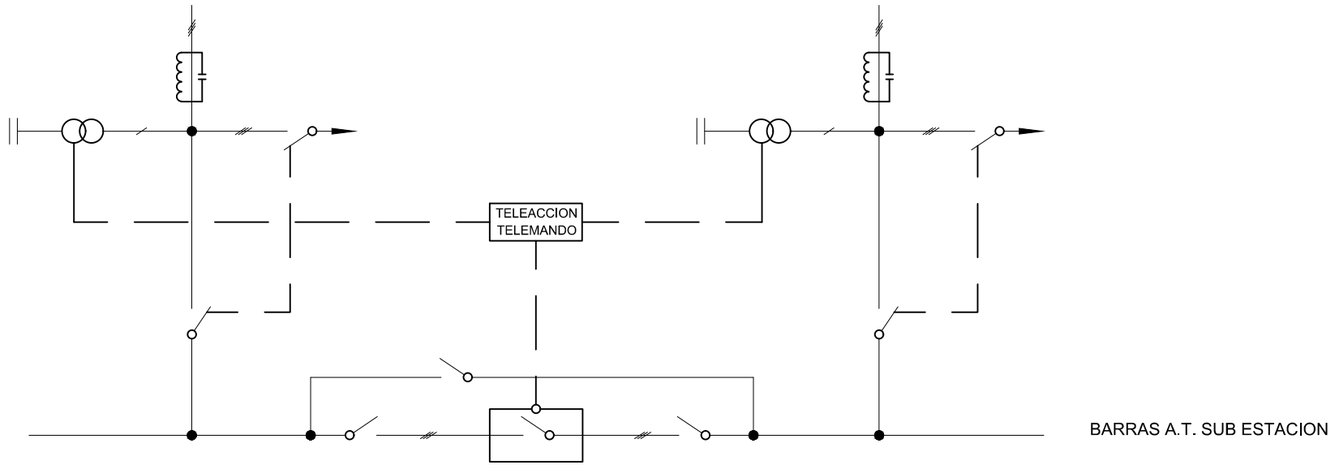
Nº DE PLANO: AN 11.3
HOJA 1 DE 1

TITULO DEL PLANO:
ELECTRIFICACIÓN
DIAGRAMA UNIFILAR
SISTEMA DE ELECTRIFICACION 1x25KV Y 2x25KV

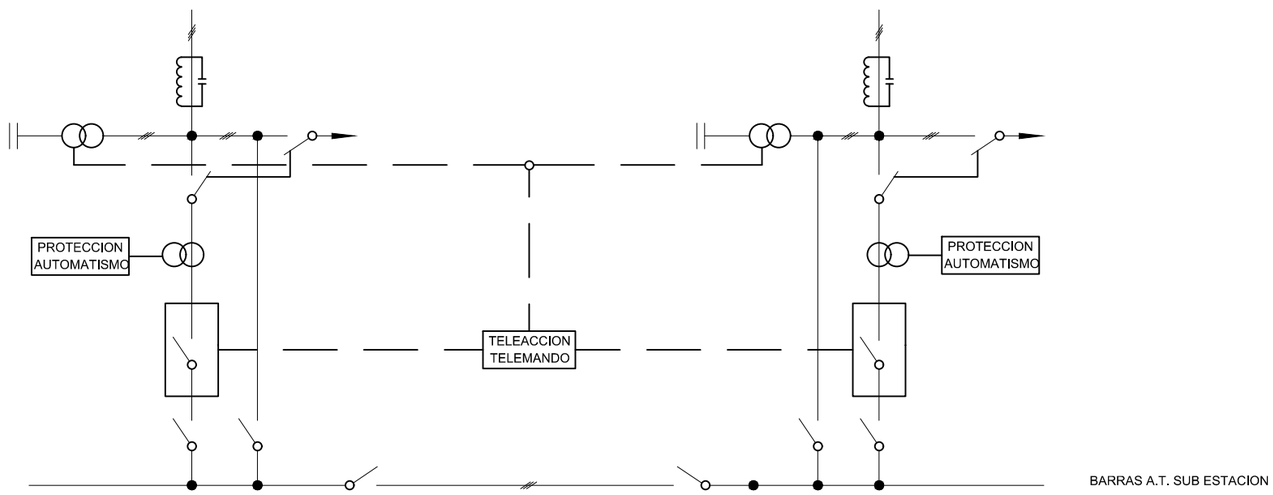
Revisión	Fecha	Aprobado	Fecha	Comprobado	Fecha	Realizado	Fecha	
Edición 1	26/02/2021	R.D.Q.	26/02/2021	I.R.H.	26/02/2021	A.G.L.	26/02/2021	P0210J44



LINEAS DE DERIVACION



LINEAS EN DOBLE ALIMENTACION



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TITULO:
ESTUDIO INFORMATIVO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD VALENCIA - CASTELLÓN

AUTOR:
SENER

ESCALA ORIGINAL:
S/N
Numérica: DIN A-3
Gráfica:

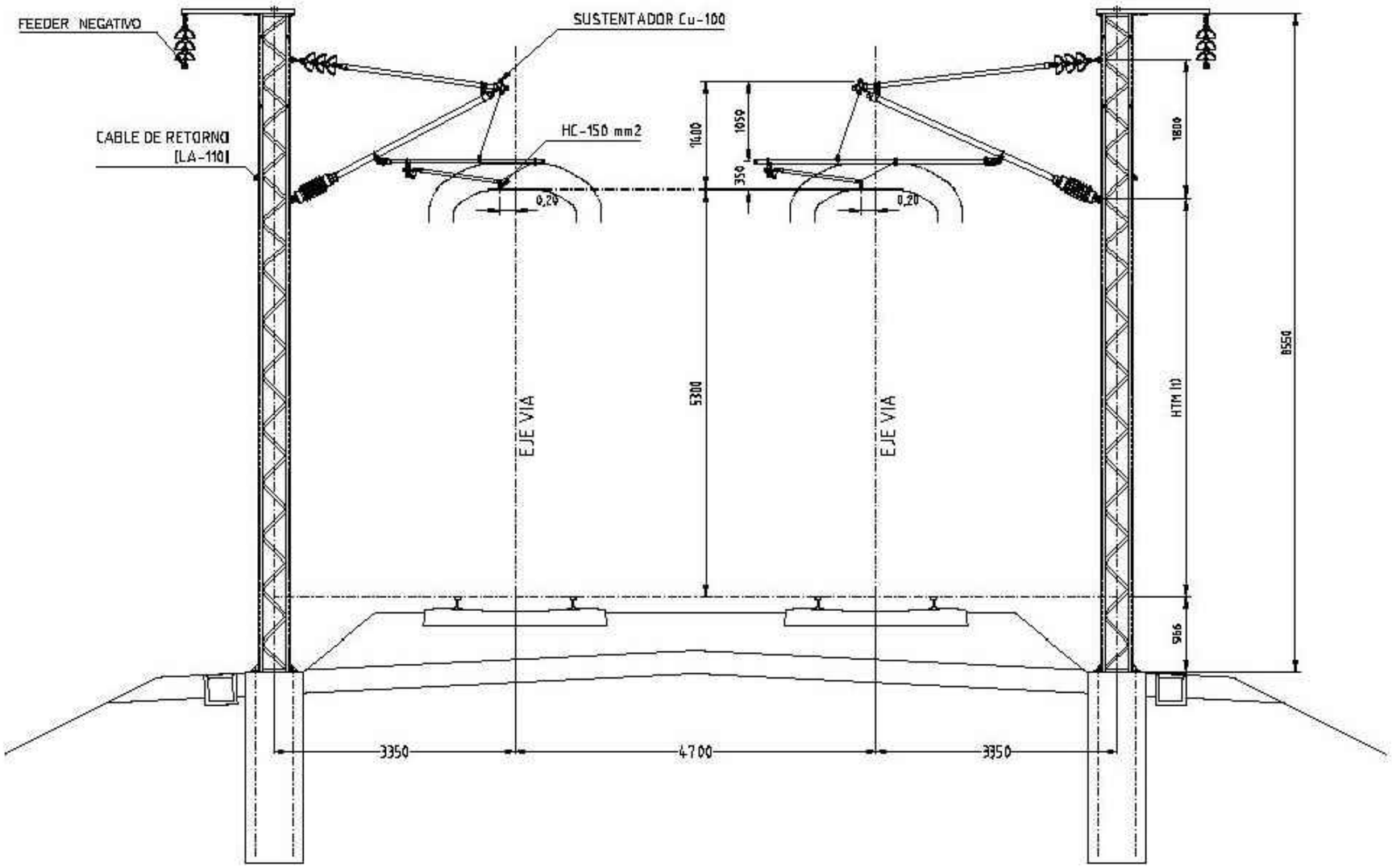
FECHA:
FEBRERO 2021

Nº DE PLANO:
AN 11.4
HOJA 1 DE 1

TITULO DEL PLANO:
ELECTRIFICACIÓN
ALTERNATIVAS DE CONEXIÓN
EN LÍNEA DE ALIMENTACIÓN

Realizado	Fecha	Comprobado	Fecha	Aprobado	Fecha	Revisión
A.G.L.	26/02/2021	I.R.H.	26/02/2021	R.D.Q.	26/02/2021	Edición 1

P0210144



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS

DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TITULO:

ESTUDIO INFORMATIVO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD VALENCIA - CASTELLÓN

AUTOR:

SENER

ESCALA ORIGINAL:

S/N

Numérica: DIN A-3

Gráfica:

FECHA:

FEBRERO 2021

Nº DE PLANO:

AN 11.5.1

HOJA 1 DE 1

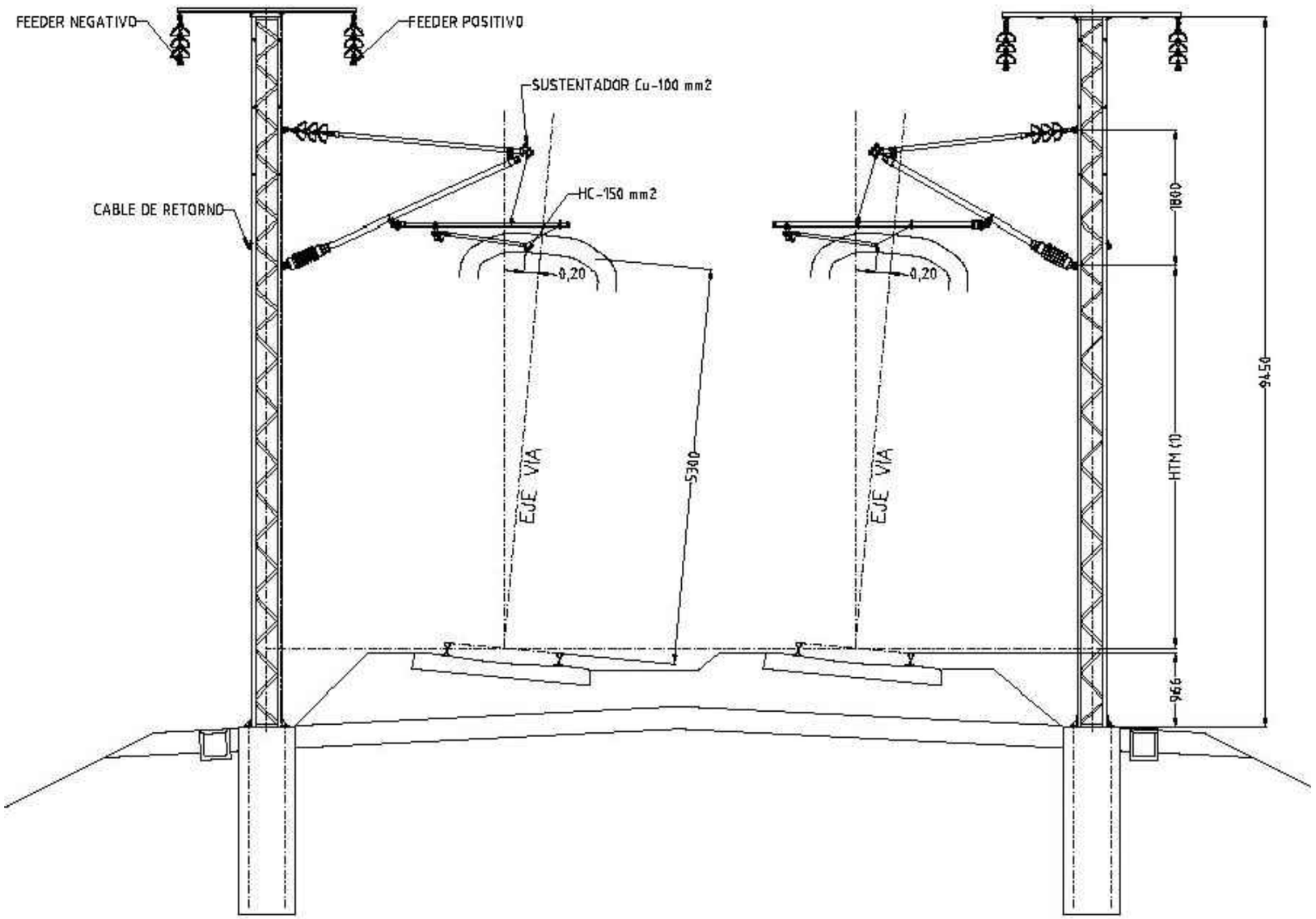
TITULO DEL PLANO:

ELECTRIFICACIÓN

SECCIÓN TIPO CATENARIA 350 km/h EN RECTA

Realizado	Fecha	Comprobado	Fecha	Aprobado	Fecha	Revisión
A.G.L.	26/02/2021	I.R.H.	26/02/2021	R.D.Q.	26/02/2021	Edición 1

P0210144



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TITULO:
ESTUDIO INFORMATIVO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD VALENCIA - CASTELLÓN

AUTOR:
SENER

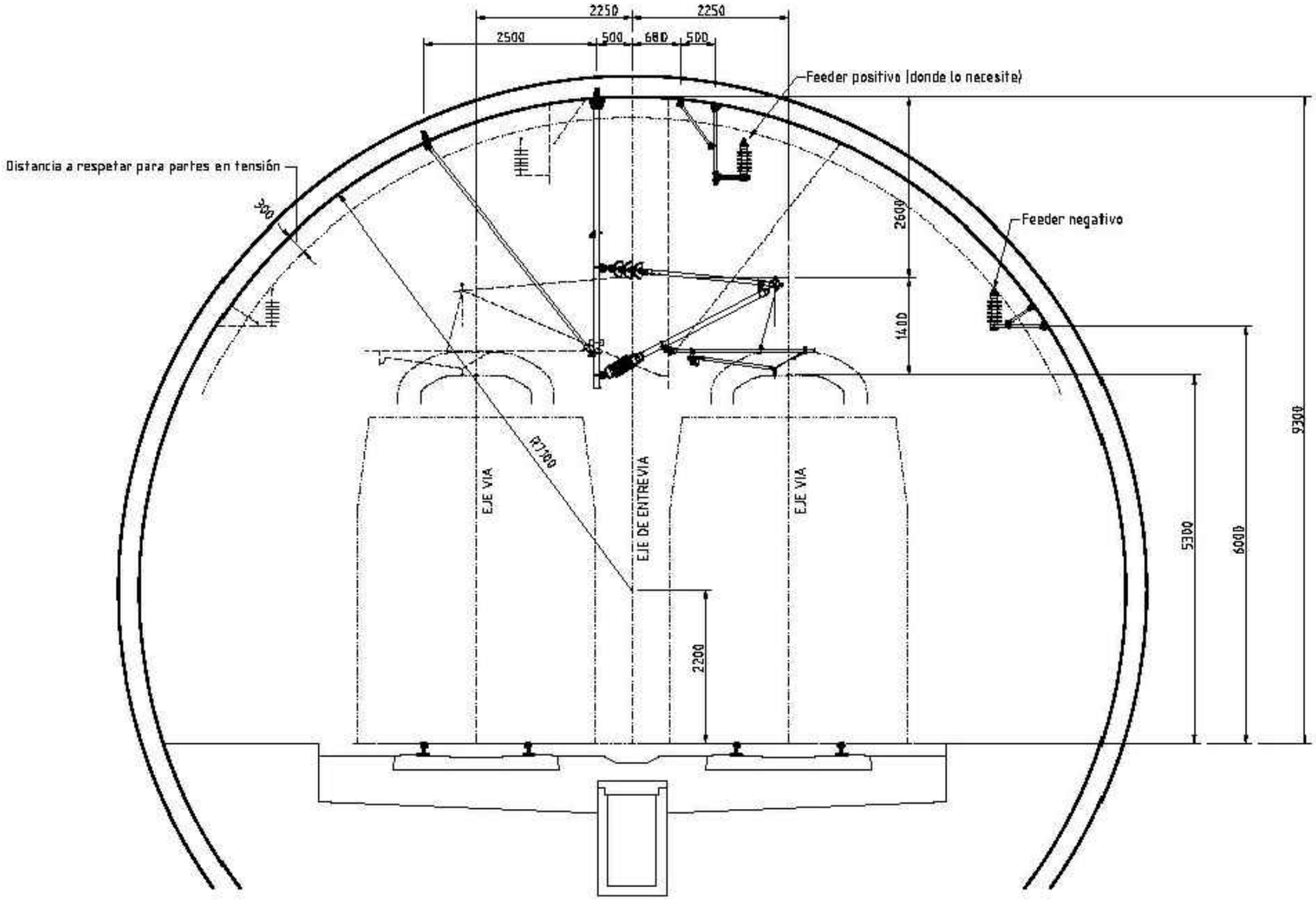
ESCALA ORIGINAL:
S/N
Numérica: DIN A-3
Gráfica:

FECHA:
FEBRERO 2021

Nº DE PLANO:
AN 11.5.2
HOJA 1 DE 1

TITULO DEL PLANO:
ELECTRIFICACIÓN
SECCIÓN TIPO CATENARIA 350 km/h EN CURVA

P0210144	Realizado	Fecha	Comprobado	Fecha	Aprobado	Fecha	Revisión
	A.G.L.	26/02/2021	I.R.H.	26/02/2021	R.D.Q.	26/02/2021	Edición 1



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TITULO:
ESTUDIO INFORMATIVO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD VALENCIA - CASTELLÓN

AUTOR:
SENER

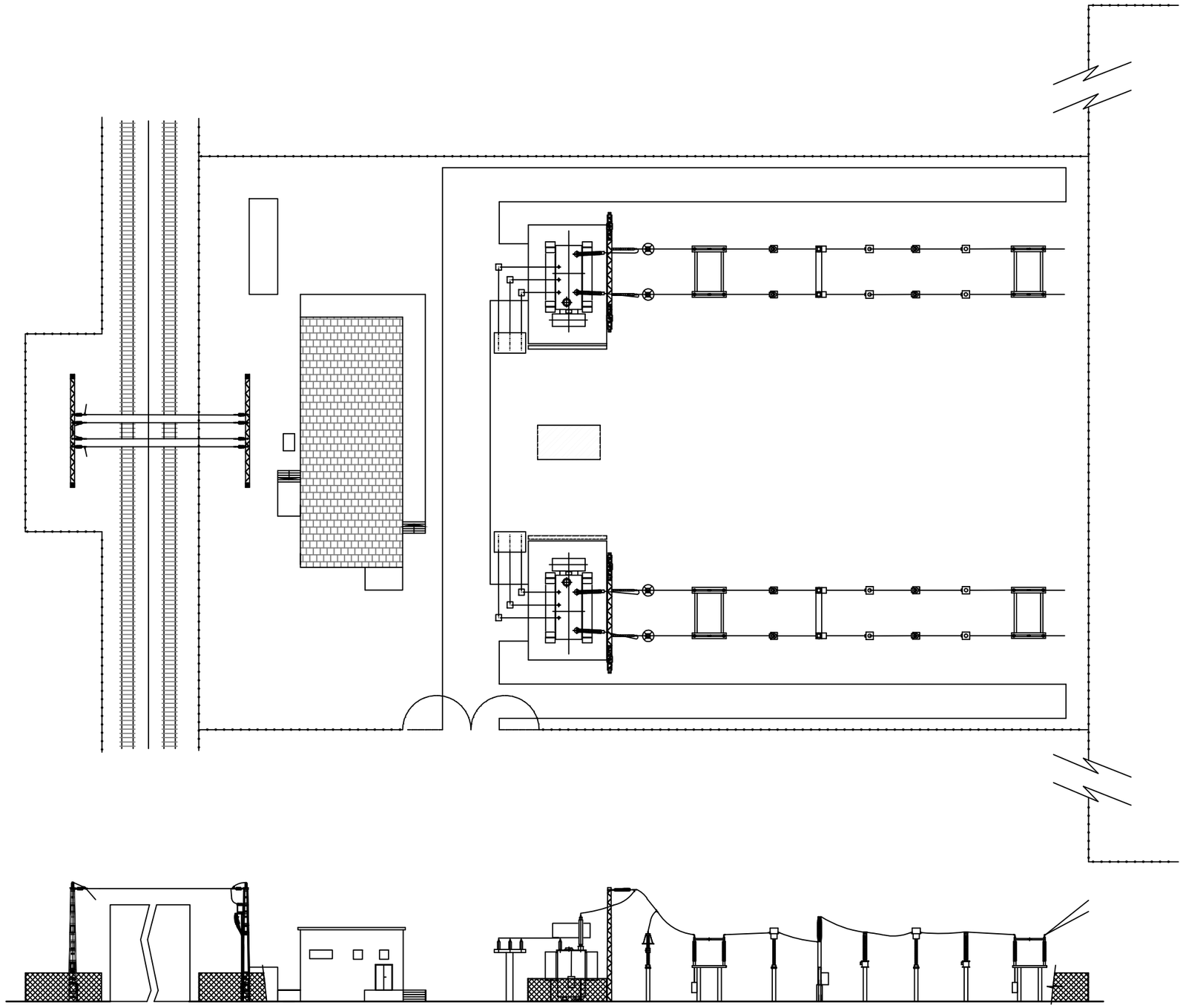
ESCALA ORIGINAL:
S/N
Numérica: DIN A-3
Gráfica:

FECHA:
FEBRERO 2021

Nº DE PLANO:
AN 11.5.3
HOJA 1 DE 1

TITULO DEL PLANO:
ELECTRIFICACIÓN
SECCIÓN TIPO CATENARAI 350 km/h EN TÚNEL

P0210144	Realizado	Fecha	Comprobado	Fecha	Aprobado	Fecha	Revisión
	A.G.L.	26/02/2021	I.R.H.	26/02/2021	R.D.Q.	26/02/2021	Edición 1



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS

DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TITULO:

ESTUDIO INFORMATIVO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD VALENCIA - CASTELLÓN

AUTOR:

SENER

ESCALA ORIGINAL:

S/E

Numérica: DIN A-3

Gráfica:

FECHA:

FEBRERO 2021

Nº DE PLANO:

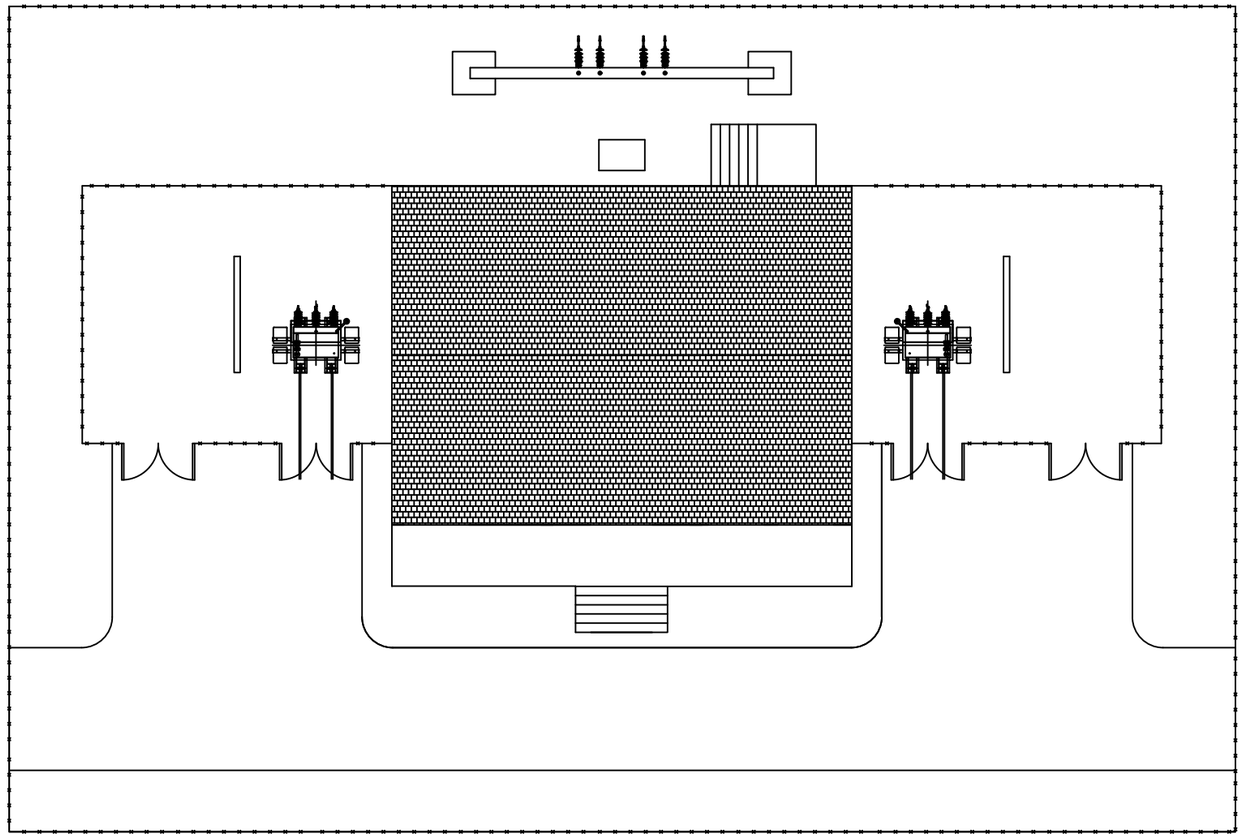
AN 11.6

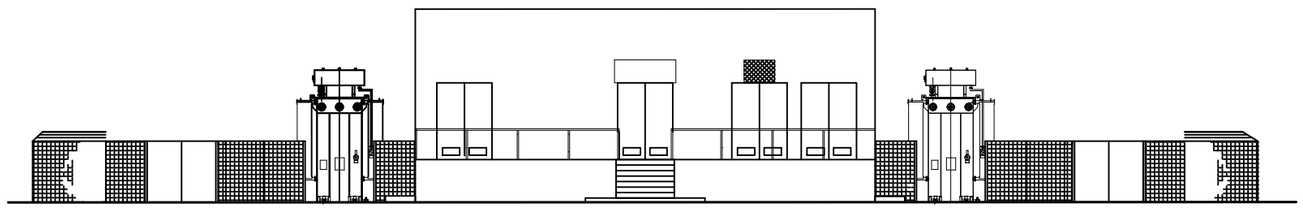
HOJA 1 DE 1

TITULO DEL PLANO:

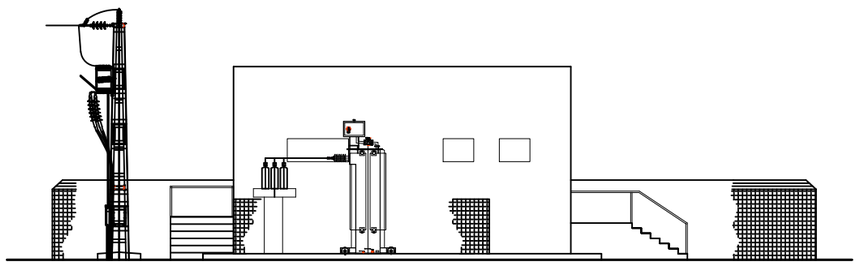
ELECTRIFICACIÓN
SUBESTACIÓN DE TRACCIÓN
PLANTA Y ALZADO DEL PARQUE

P0210J44	Realizado	Fecha	Comprobado	Fecha	Aprobado	Fecha	Revisión
	A.G.L.	26/02/2021	I.R.H.	26/02/2021	R.D.Q.	26/02/2021	Edición 1





ALZADO A



ALZADO B

GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS

DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TITULO:

ESTUDIO INFORMATIVO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD VALENCIA - CASTELLÓN

AUTOR:

SENER

ESCALA ORIGINAL:

S/E

Numérica: DIN A-3

Gráfica:

FECHA:

FEBRERO 2021

Nº DE PLANO:

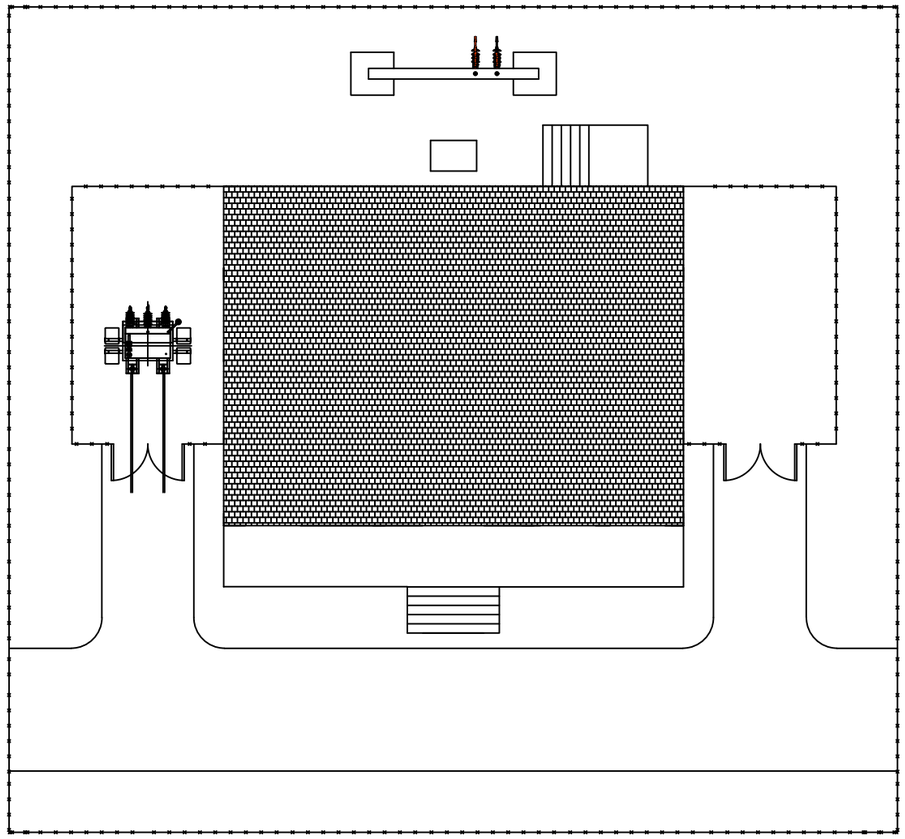
AN 11.7.1

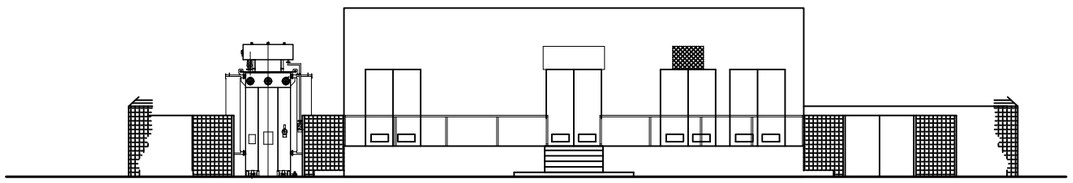
HOJA 1 DE 1

TITULO DEL PLANO:

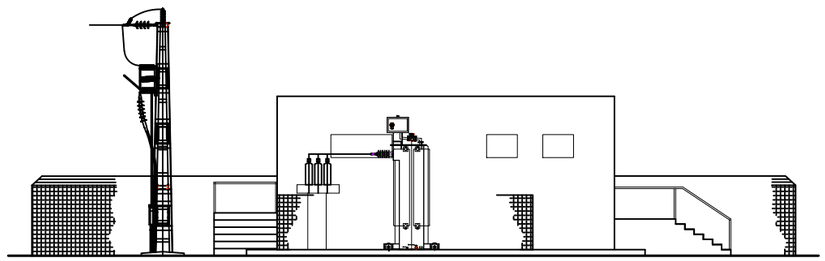
ELECTRIFICACIÓN
CENTRO DE AUTOTRANSFORMACIÓN FINAL

	Realizado	Fecha	Comprobado	Fecha	Aprobado	Fecha	Revisión
P0210J44	A.G.L.	26/02/2021	I.R.H.	26/02/2021	R.D.Q.	26/02/2021	Edición 1





ALZADO C



ALZADO D

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TITULO:
ESTUDIO INFORMATIVO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD VALENCIA - CASTELLÓN

AUTOR:
SENER

ESCALA ORIGINAL:
S/E
Numérica: DIN A-3
Gráfica:

FECHA:
FEBRERO 2021

Nº DE PLANO:
AN 11.7.2
HOJA 1 DE 1

TITULO DEL PLANO:
ELECTRIFICACIÓN
CENTRO DE AUTOTRANSFORMACIÓN INTERMEDIO