
ELECTRIFICACIÓN

**ANEJO
11**

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1		
2. ELECTRIFICACIÓN	1		
2.1. LÍNEA AÉREA DE CONTACTO	1		
2.2. ACTUACIONES	1		
2.2.1. ESTACIÓN CAMPO DE LAS NACIONES	1		
2.2.2. ESTACIÓN LAS REJAS	4		
2.2.3. SALTO DE CARNERO DE SAN FERNANDO DE HENARES	7		
3. ESTUDIO DE POTENCIA.....	11		
3.1. OBJETO.....	11		
3.2. CONDICIONES DE DISEÑO	11		
3.3. MÉTODO DE CÁLCULO	12		
3.4. DATOS DE PARTIDA	13		
3.4.1. PERFIL GEOMÉTRICO.....	14		
3.4.2. MATERIAL MÓVIL.....	15		
3.4.3. PERFIL ELÉCTRICO	16		
3.5. RESULTADOS	17		
3.5.1. ESCENARIO 1-1.....	17		
3.5.2. ESCENARIO 1-2.....	19		
3.5.3. ESCENARIO 2-1.....	21		
3.5.4. ESCENARIO 2-2.....	24		
3.6. RESUMEN	26		
4. SUBESTACIONES DE TRACCIÓN	26		
4.1. ACTUACIONES	26		
4.2. ESTADO ACTUAL DE LA SUBESTACIÓN DE HORTALEZA	26		
		4.3. ESTADO REFORMADO DE LA SUBESTACIÓN DE HORTALEZA	27
		4.3.1. EQUIPAMIENTO A SUSTITUIR POR LA AMPLIACIÓN DE POTENCIA.....	27
		4.3.2. ACTUACIONES NECESARIAS PARA LA INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO DEL NUEVO EQUIPAMIENTO	29

1. INTRODUCCIÓN

El objeto del presente Anejo es la definición de las instalaciones de electrificación a proyectar en el “ESTUDIO INFORMATIVO: CERCANÍAS DE MADRID. ACTUACIONES DE MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL TRAMO HORTALEZA-SAN FERNANDO DE HENARES”, el cual consta de la implantación de las nuevas estaciones de Las Rejas y de Campo de las Naciones en la red de cercanías de Madrid, y salto de carnero en la estación de San Fernando de Henares.

2. ELECTRIFICACIÓN

2.1. LÍNEA AÉREA DE CONTACTO

La tipología de la L.A.C. a instalar en el tramo referido al presente estudio de la línea de contorno de la ciudad de Madrid es del tipo CA-160 tipo A, según NAE 300 de ADIF

La catenaria tipo CA-160 tipo A está compuesta por:

- Sustentador: Cu 150 mm²
- Hilo de contacto: 2 x Cu 107 mm²
- Péndolas: Cu extraflexible 25 mm²
- Cable de tierra: Aluminio-Acero 116 mm² (LA 110)
- Feeder A determinar su necesidad según el Estudio de Dimensionamiento Eléctrico.

2.2. ACTUACIONES

El estudio se divide en tres actuaciones dentro de la línea de contorno, y son las siguientes:

- Estación Campo de las Naciones
- Estación Las Rejas
- Estación San Fernando de Henares

2.2.1. ESTACIÓN CAMPO DE LAS NACIONES

El proyecto prevé la construcción de una estación de Cercanías en Campo de las Naciones, que estaría ubicada entre la estación de Fuente de la Mora y la futura estación de Las Rejas. Para ello se realizan dos estudios con distinta localización, como se aprecia en la siguiente imagen:



Las actuaciones previstas para el presente estudio informativo en la estación de Campo de las Naciones recogen la situación de la futura cuadruplicación de las vías, de forma que las vías actuales van a sufrir modificaciones por ello, y, por tanto, la electrificación.

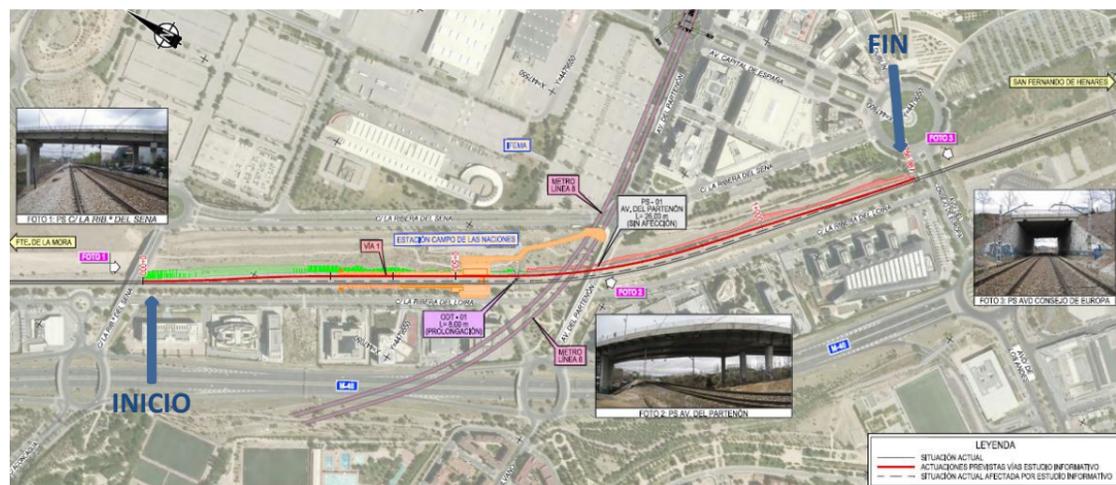
2.2.1.1. ALTERNATIVA 1

La primera alternativa está ubicada entre los p.k. de la vía existente 6+446,791 (p.k. vía proyectada 0+000,000) y 7+706,808 (p.k. vía proyectada 1+256,987).

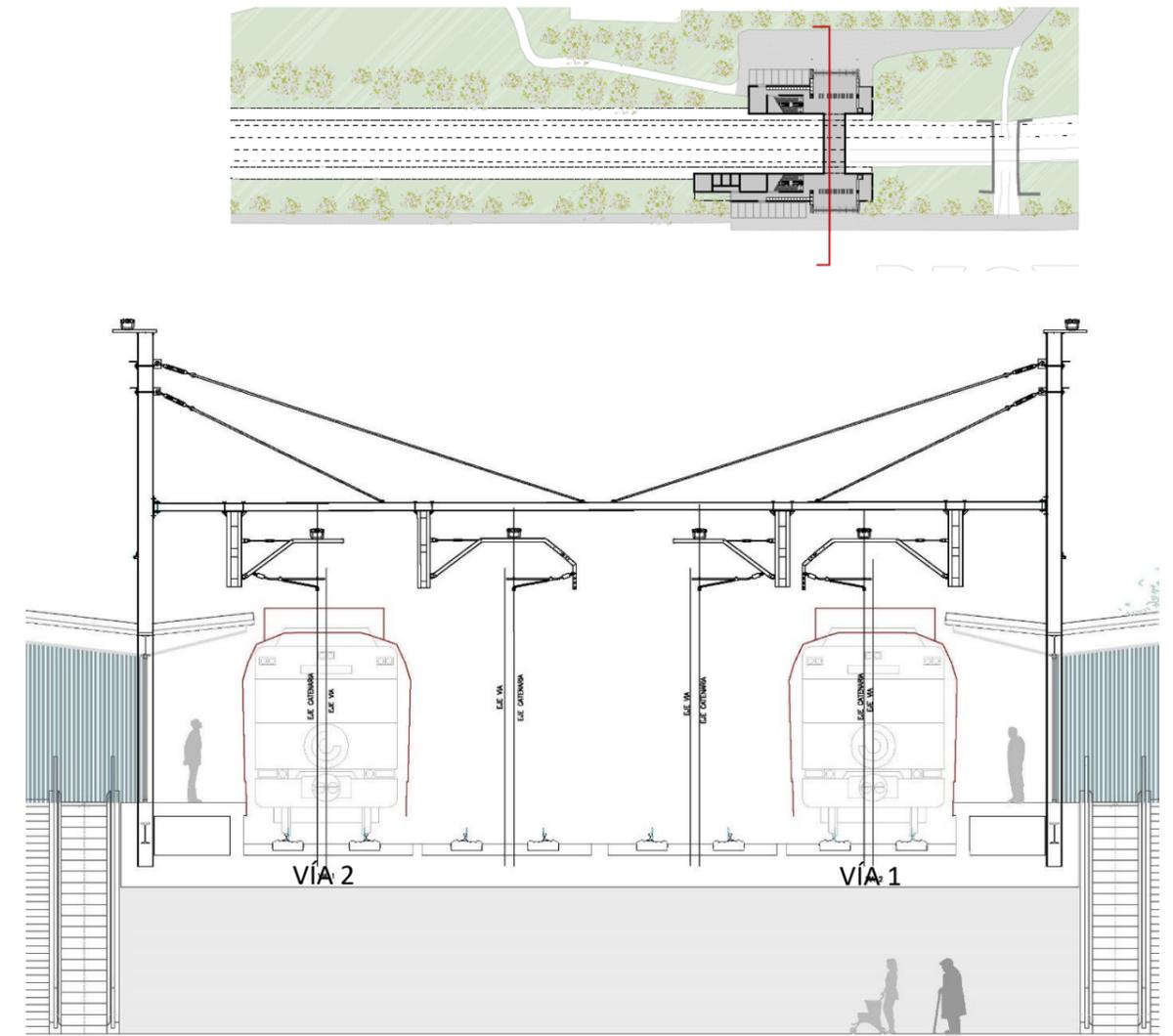
La vía 1 queda afectada por el estudio informativo, ya que las actuaciones previstas en cuanto a las vías recogen un cambio del trazado de la misma.

La estación consta de dos andenes situados en la zona exterior de las vías externas (vía 1 y vía 2), se encuentran a cielo abierto y tienen una longitud de 240 m.

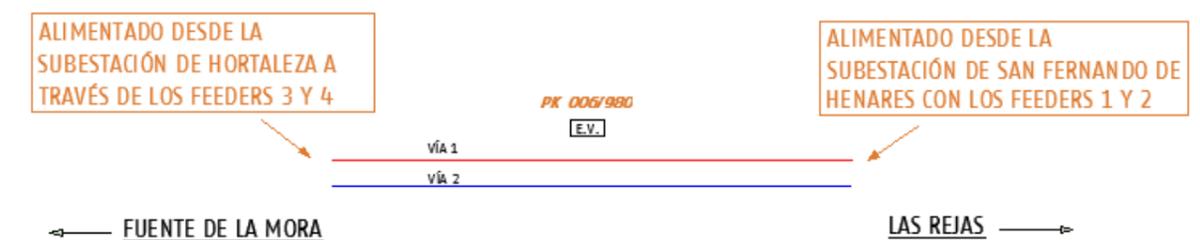
Plano en planta de la estación:



Sección tipo en la estación:



El esquema eléctrico es el siguiente:



Las actuaciones que afectan a electrificación para esta alternativa son las siguientes:

- Desmontaje de todos aquellos elementos que ya no sean necesarios o que interfieran con la nueva situación proyectada de las instalaciones.
- Excavación y construcción de nuevas cimentaciones.
- Montaje e izado de nuevos postes, para elementos de electrificación.
- Montaje de pórticos y semipórticos.
- Montaje de ménsulas y equipos de compensación.
- Tendido de conductores de catenaria.
- Montaje de agujas aéreas.
- Montaje de aisladores de sección
- Tendido de cables de tierra.
- Montaje y traslado de viseras de seguridad.
- Instalación de dispositivos limitadores de tensión
- Montaje de seccionadores

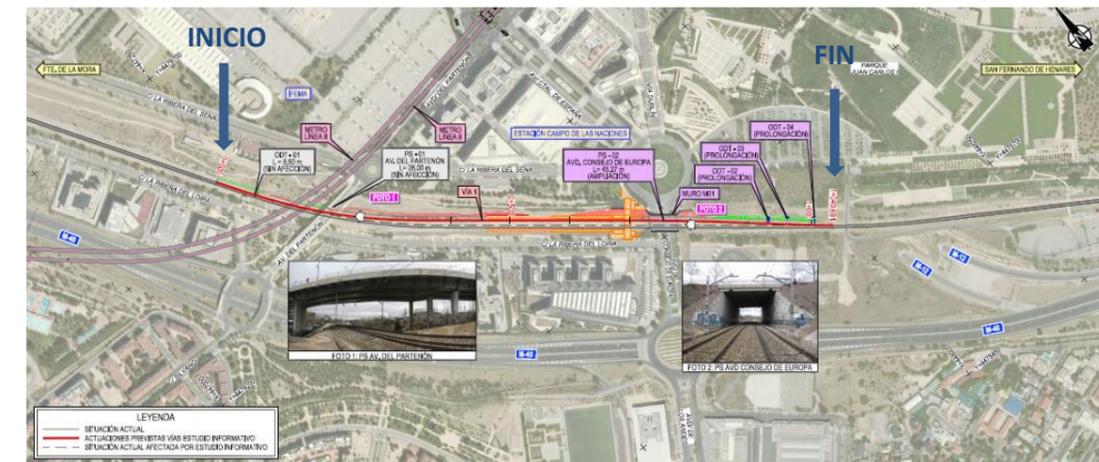
2.2.1.2. ALTERNATIVA 2

La ubicación de esta alternativa está entre los p.k. de la vía existente 6+976,088 (p.k. vía proyectada 0+000,000) y 8+018,419 (p.k. vía proyectada 1+040,691).

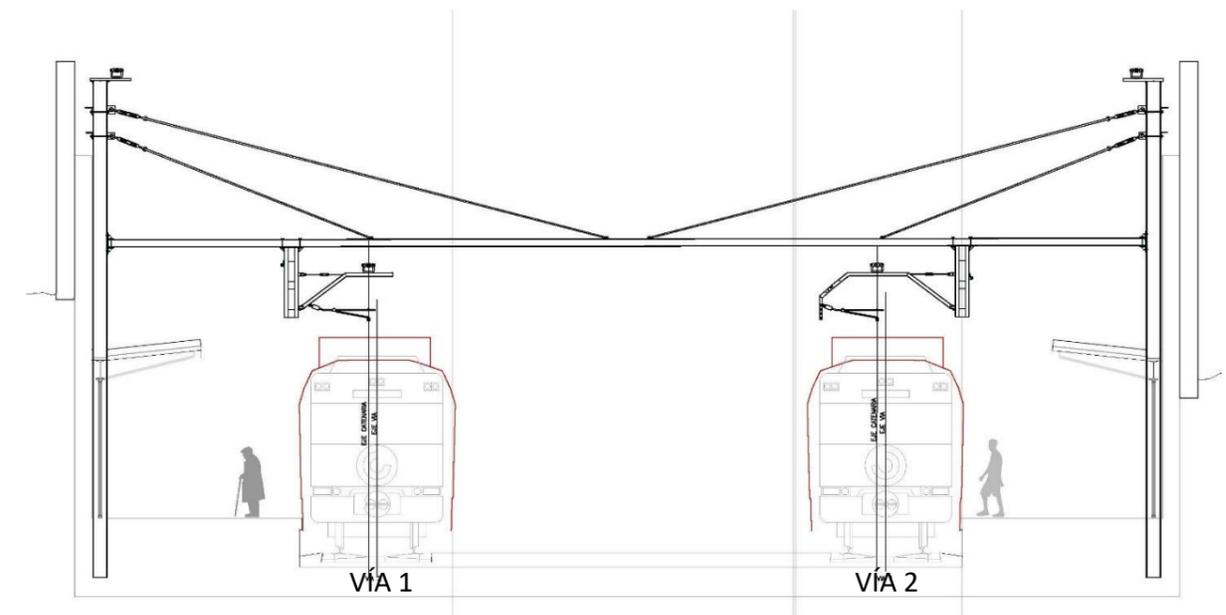
Como ocurre para la primera alternativa, la vía 1 es la que queda afectada por el estudio informativo, ya que las actuaciones previstas en cuanto a las vías recogen un cambio del trazado de la misma.

La estación consta de dos andenes situados en la zona exterior de las vías externas (vía 1 y vía 2), se encuentran a cielo abierto y tienen una longitud de 240 m. La pasarela de conexión pasa por encima de las vías, y está a una altura desde el plano medio de rodadura de 6,34m, con una anchura de 10 m.

Plano en planta de la estación:



Sección tipo en la estación:



El esquema eléctrico es el siguiente:

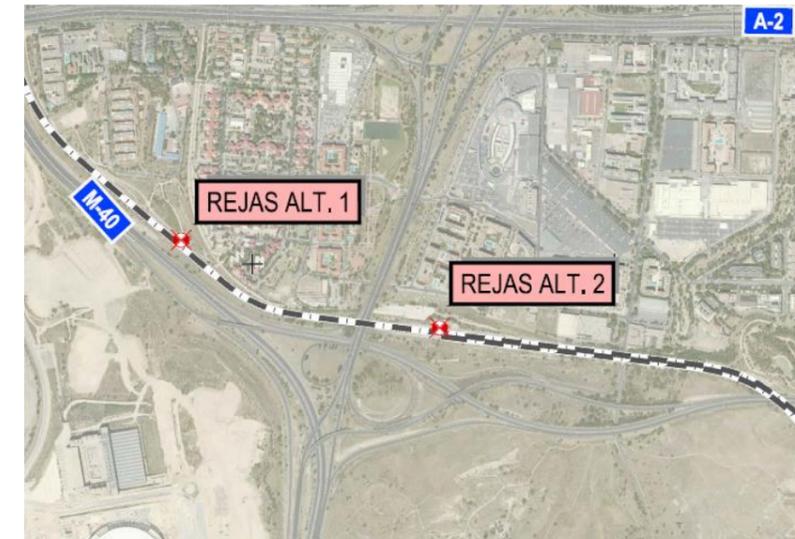


Las actuaciones que afectan a electrificación para esta alternativa son las siguientes:

- Desmontaje de todos aquellos elementos que ya no sean necesarios o que interfieran con la nueva situación proyectada de las instalaciones.
- Excavación y construcción de nuevas cimentaciones.
- Montaje e izado de nuevos postes, para elementos de electrificación.
- Montaje de pórticos y semipórticos.
- Montaje de ménsulas y equipos de compensación.
- Tendido de conductores de catenaria.
- Montaje de agujas aéreas.
- Montaje de aisladores de sección
- Tendido de cables de tierra.
- Montaje y traslado de viseras de seguridad.
- Instalación de dispositivos limitadores de tensión
- Montaje de seccionadores

2.2.2. ESTACIÓN LAS REJAS

El proyecto prevé la construcción de una nueva estación en Las Rejas. Para ello se realizan dos estudios con distinta ubicación, como se aprecia en la siguiente figura:



2.2.2.1. ALTERNATIVA 1

En esta alternativa se construyen dos andenes de 240m de longitud a cielo abierto. La estación está ubicada entre los p.k. de la vía existente 10+028,000 y 10+248,000. Hay una pasarela de conexión que pasa por encima de las vías, está a una altura desde el plano medio de rodadura de 8,57m y tiene una anchura de 5,5 m.

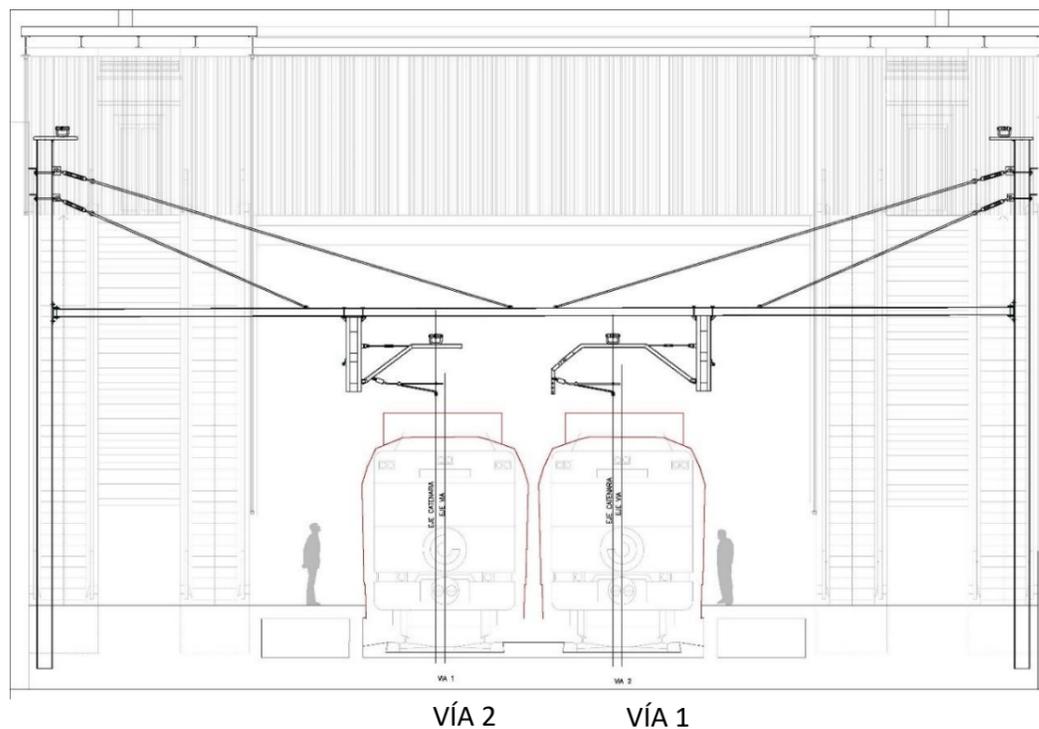
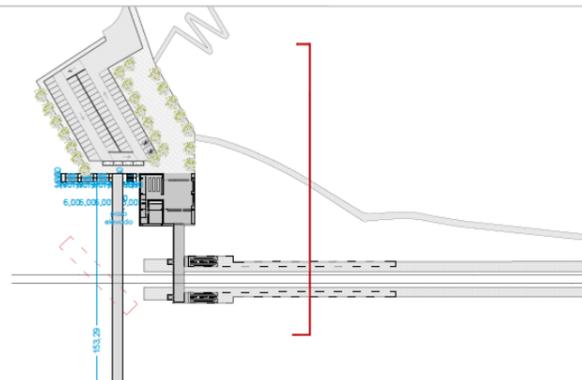
Las actuaciones que afectan a electrificación para esta alternativa son las siguientes:

- Desmontaje de todos aquellos elementos que ya no sean necesarios o que interfieran con la nueva situación proyectada de las instalaciones.
- Excavación y construcción de nuevas cimentaciones.
- Montaje e izado de nuevos postes, para elementos de electrificación.
- Montaje de ménsulas y equipos de compensación.
- Tendido de conductores de catenaria.
- Tendido de cables de tierra.
- Montaje y traslado de viseras de seguridad.
- Instalación de dispositivos limitadores de tensión

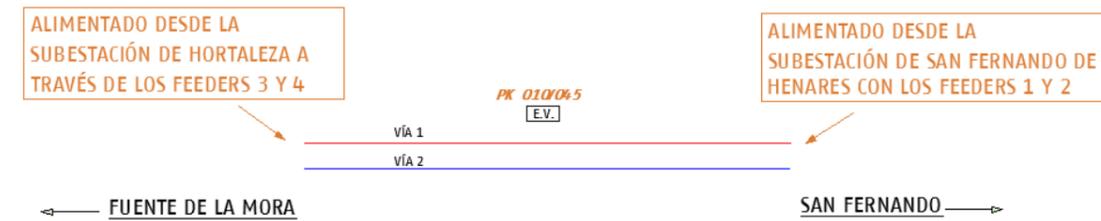
Plano en planta de la estación:



Sección tipo en la estación



El esquema eléctrico es el siguiente:



2.2.2.2. ALTERNATIVA 2

Esta alternativa está comprendida entre los p.k. de la siguiente tabla, para vías 1 y 2, y vías existentes y proyectadas:

	Vía 1		Vía 2	
	Inicio	Fin	Inicio	Fin
p.k. Vía Existente	10+641,641	11+333,908	10+645,048	11+333,908
p.k. Vía Proyectada	0+000,000	0+692,376	0+000,000	0+688,964

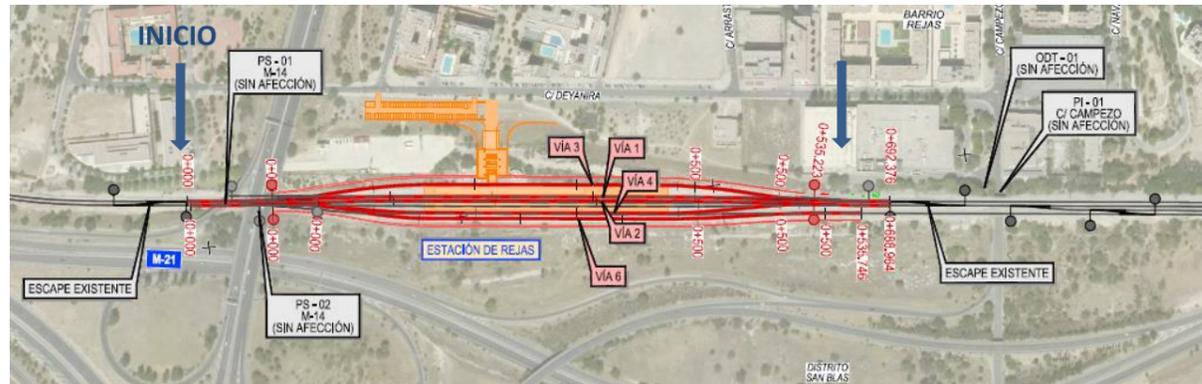
Actualmente, consta de 4 vías. La situación proyectada va a tener 5 vías y dos andenes. Uno de los andenes comprende las vías 1 y 3, y el otro andén comprende las vías 2 y 4. La estación es a cielo abierto. Los andenes tienen una longitud de 240 m.

Las actuaciones que afectan a electrificación para esta alternativa son las siguientes:

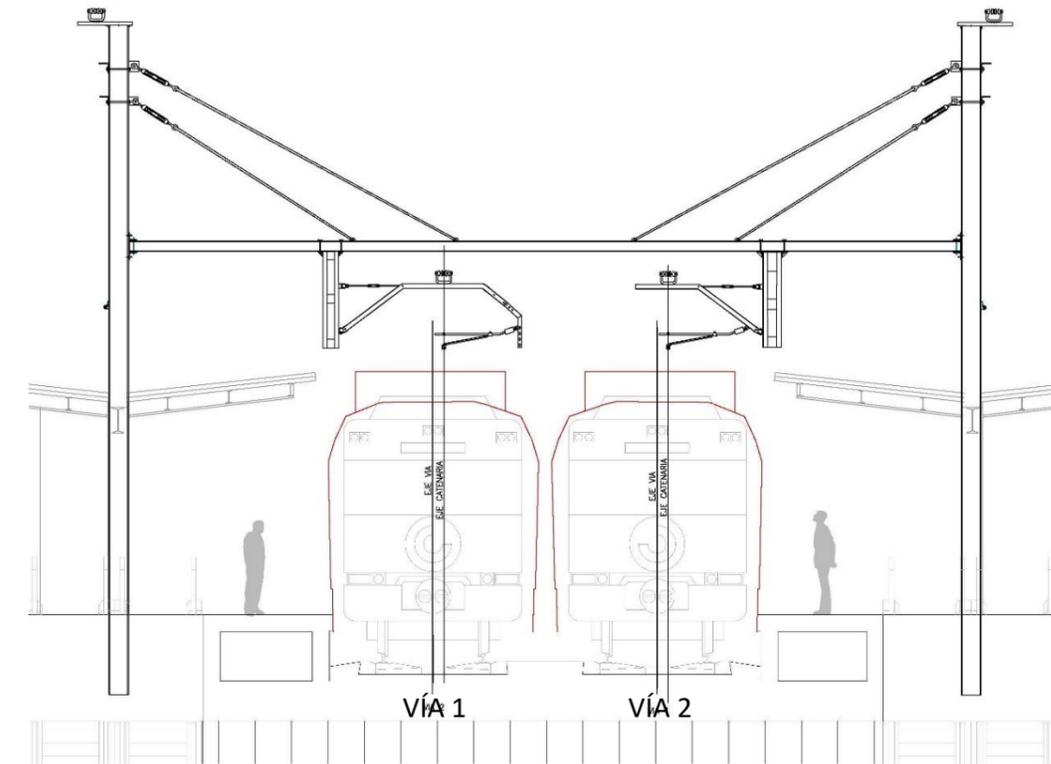
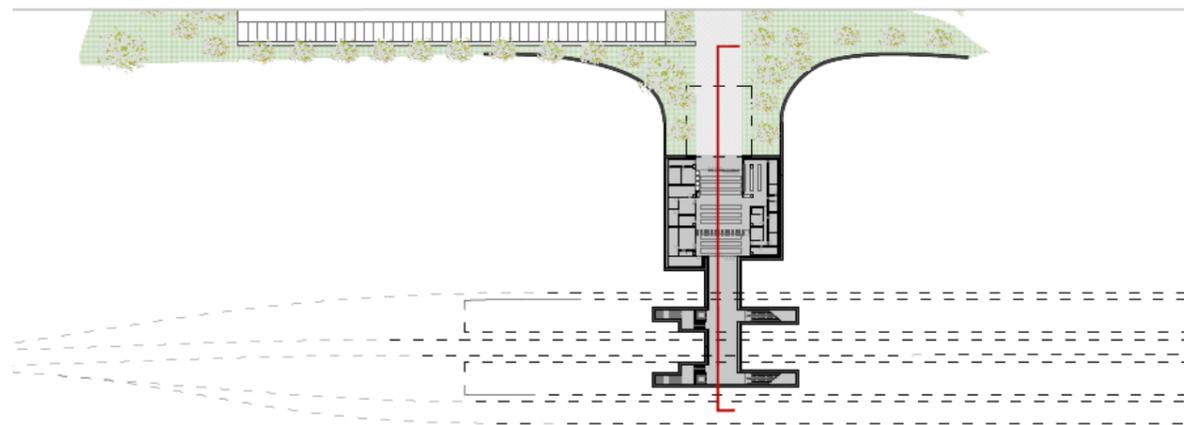
- Desmontaje de todos aquellos elementos que ya no sean necesarios o que interfieran con la nueva situación proyectada de las instalaciones.
- Excavación y construcción de nuevas cimentaciones.
- Montaje e izado de nuevos postes, para elementos de electrificación.
- Montaje de pórticos y semipórticos.
- Montaje de ménsulas y equipos de compensación.
- Tendido de conductores de catenaria.
- Montaje de agujas aéreas.
- Montaje de aisladores de sección
- Tendido de cables de tierra.

- Montaje y traslado de viseras de seguridad.
- Instalación de dispositivos limitadores de tensión
- Montaje de seccionadores

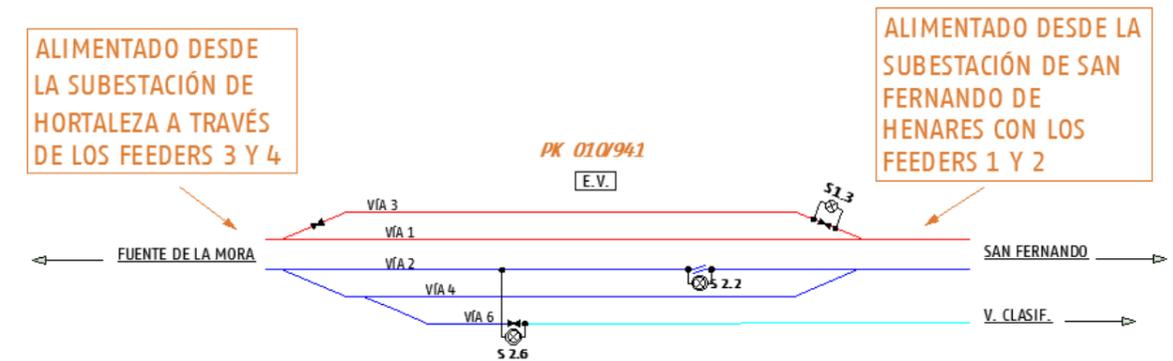
Plano en planta de la estación:



Sección tipo en la estación:



El esquema eléctrico es el siguiente:



LEYENDA

- | | |
|--------------------------------|--|
| Vía 3kV cc | Seccionador de mando a distancia (con control desde la PLO) |
| Lámina de aire | Seccionador de puesta tierra |
| Aislador de sección asimétrico | Seccionador de mando a distancia con puesta a tierra. (con control desde la PLO) |
| Feeder 3kV cc | Viaducto de salto de carnero |

2.2.3. SALTO DE CARNERO DE SAN FERNANDO DE HENARES

El proyecto prevé la remodelación de la salida de la estación de San Fernando por la línea de contorno hacia la futura estación de Las Rejas y por la vía del Corredor del Henares hacia la estación de Coslada.

Se prevé un cambio de trazado de las vías actuales partiendo de la salida de la estación y a lo largo del trayecto tanto para la línea de contorno como para la vía del Corredor de Henares. Las actuaciones del proyecto se encuentran entre los siguientes p.k.:

Línea de contorno:

	p.k. Línea de contorno	
	Inicio	Fin
Vía 1	0+000,000	2+795,07
Vía 2	0+000,000	2+768,87

Vía Corredor del Henares:

	p.k. Vía Corredor del Henares	
	Inicio	Fin
Vía 1	0+000,000	1+466,05
Vía 2	0+000,000	1+367,19

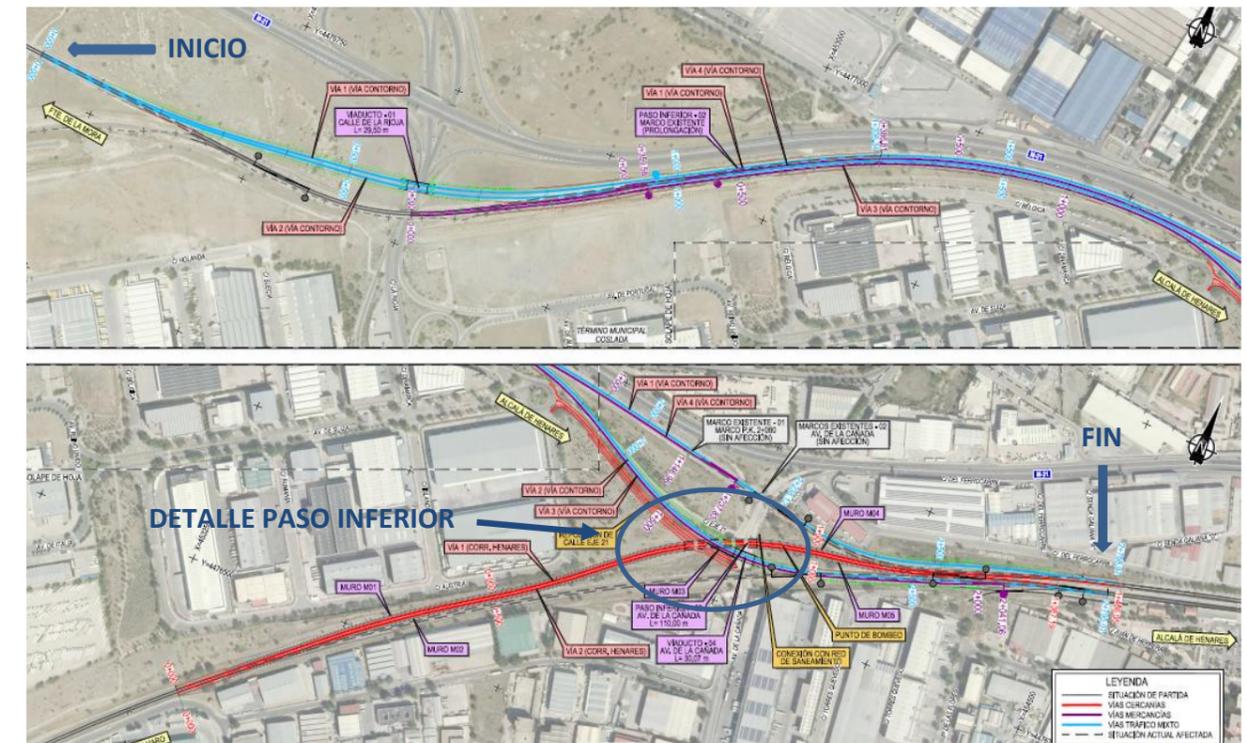


Se estudian dos alternativas para un punto singular en el cual se cruzan la Línea de contorno con la Vía del Corredor del Henares. En la alternativa 1 la Línea de contorno pasa por encima de la Vía del Corredor del Henares (Salto de carnero), y en la alternativa 2 la Línea de contorno pasa por debajo de la Vía del Corredor del Henares

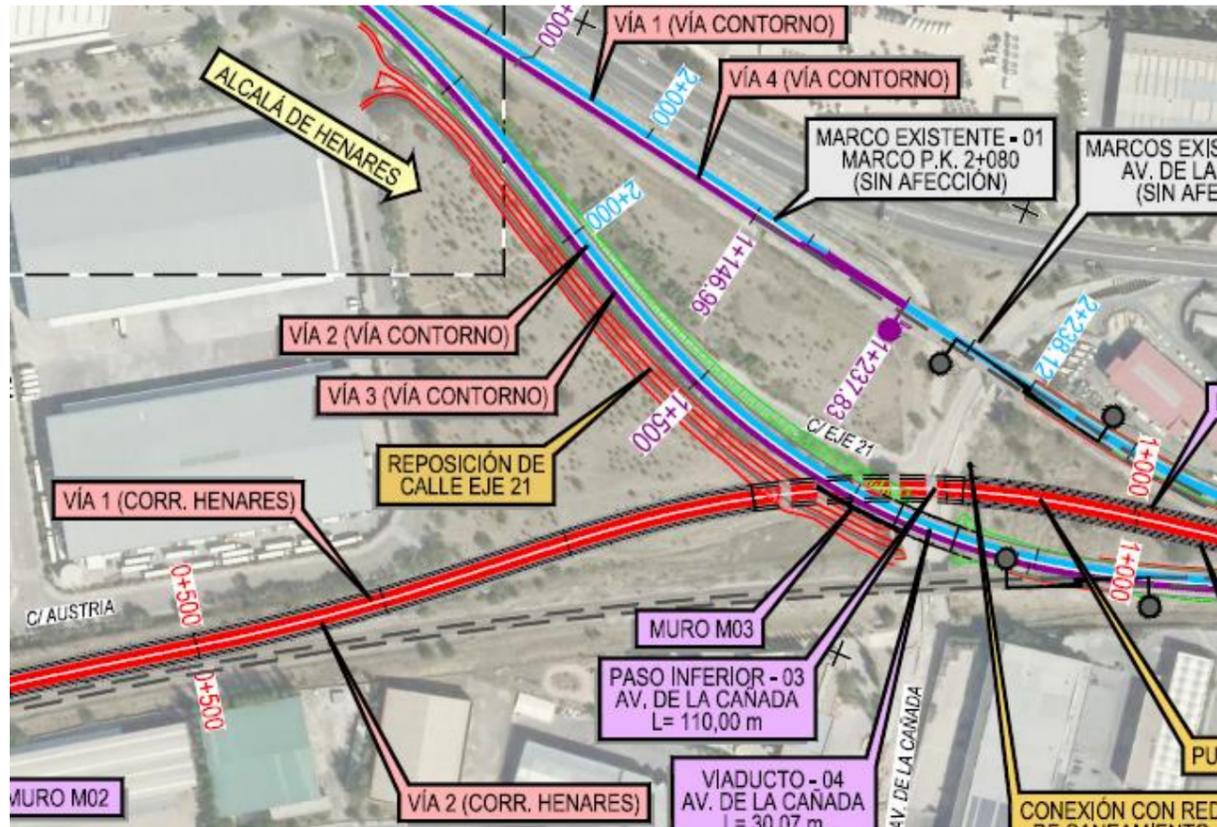
2.2.3.1. ALTERNATIVA 1

En esta alternativa las vías actuales van a ser modificadas en su trazado a lo largo del tramo y en la salida de la estación de San Fernando.

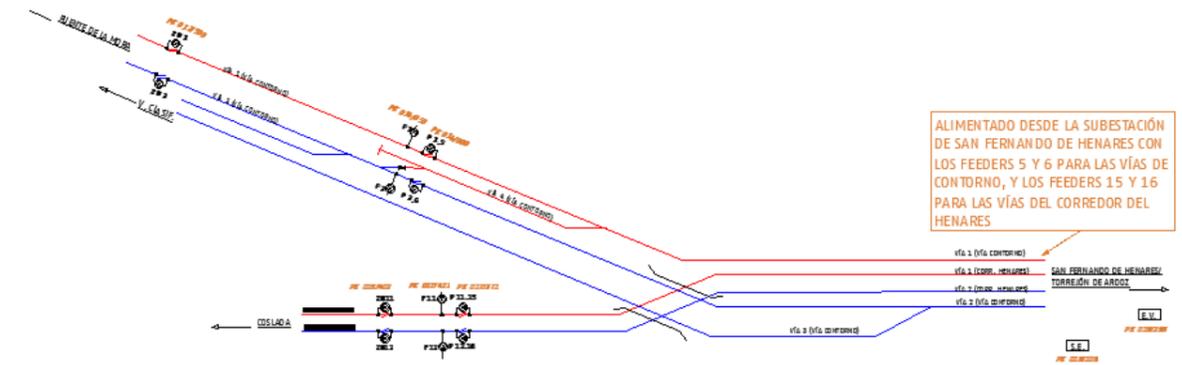
Hay una zona problemática a la salida de la estación en la que se cruzan las vías 1 y 3 de la Línea de contorno con las vías 1 y 2 de la Vía del Corredor del Henares. Una de las opciones para resolver esta situación es la de tomar como Paso Inferior la Vía del Corredor del Henares para que la Línea de contorno pase por encima de ella (salto de carnero).



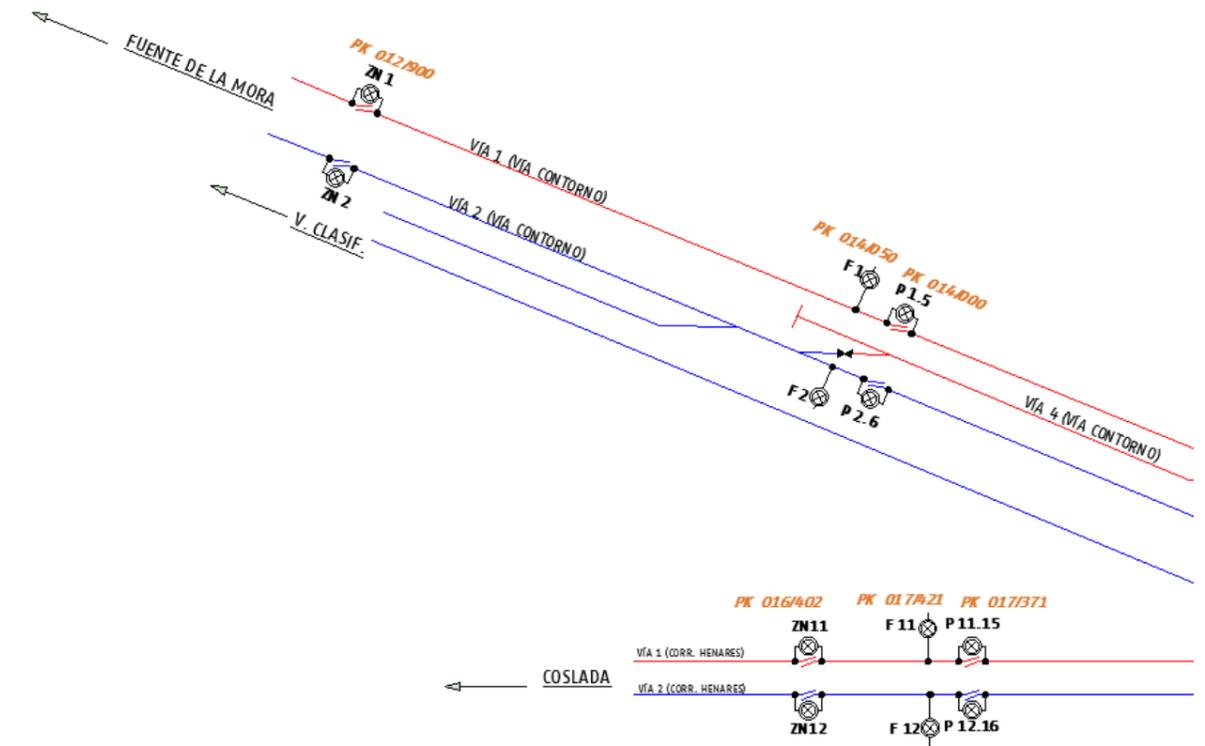
Detalle del Paso Inferior:



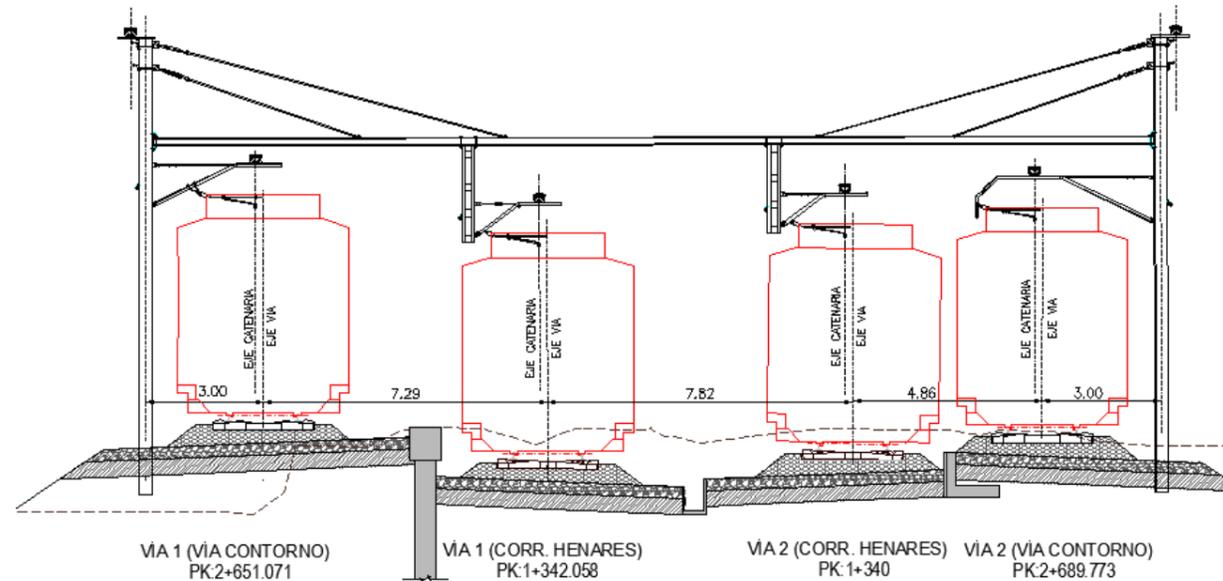
El esquema eléctrico es el siguiente:

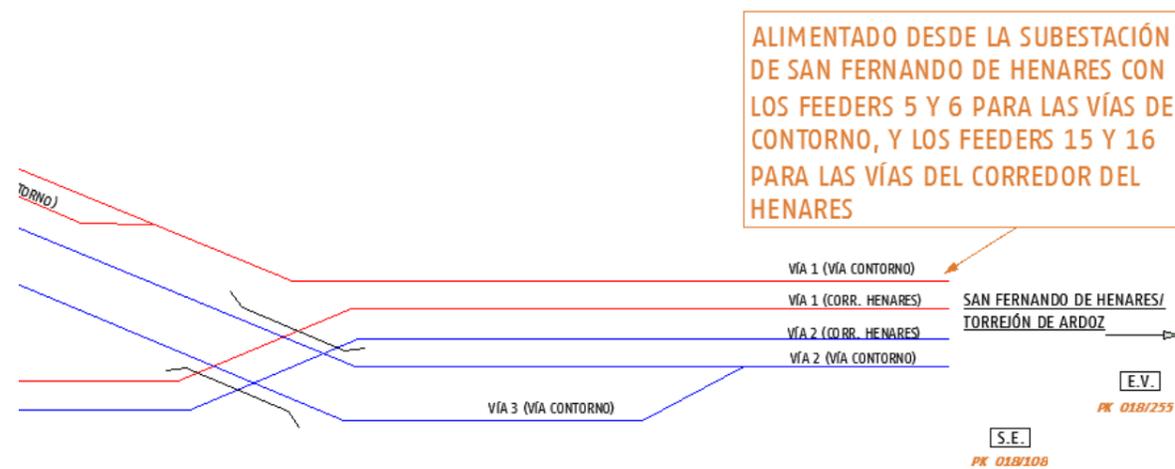


En detalle:

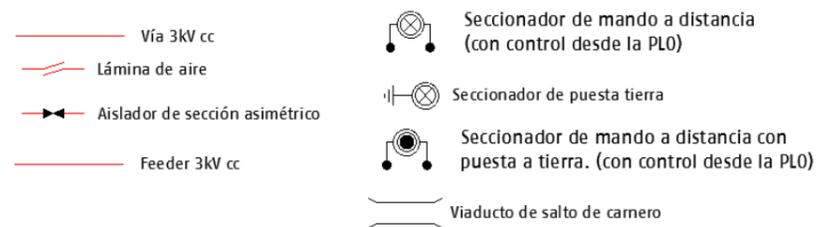


A continuación, se muestra una sección tipo:





LEYENDA



Las vías de contorno 1 y 2 a la salida de la estación como las del trayecto están alimentadas desde la subestación de San Fernando de Henares con los feeders 1, 5, 2 y 6.

Las vías del Corredor del Henares 1 y 2 a la salida de la estación y en el trayecto están alimentadas desde la subestación de San Fernando de Henares con los feeders 11, 15, 12 y 16.

Las actuaciones que afectan a electrificación para esta alternativa son las siguientes:

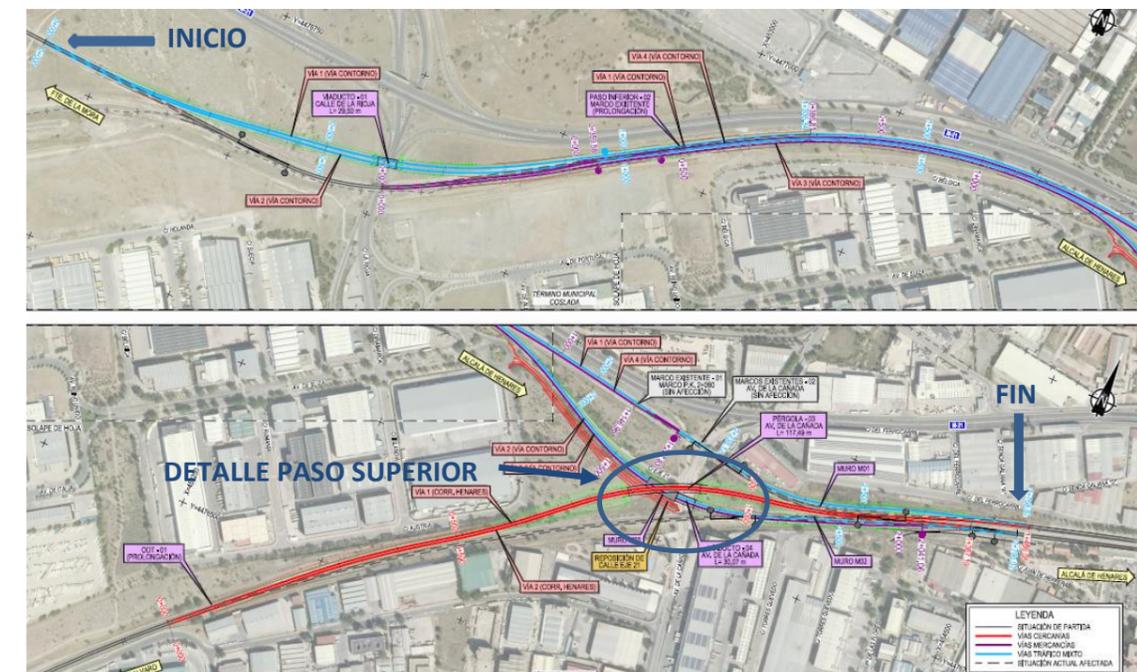
- Desmontaje de todos aquellos elementos que ya no sean necesarios o que interfieran con la nueva situación proyectada de las instalaciones.
- Excavación y construcción de nuevas cimentaciones.
- Montaje e izado de nuevos postes, para elementos de electrificación.
- Montaje de pórticos y semipórticos.
- Montaje de ménsulas y equipos de compensación.
- Tendido de conductores de catenaria.

- Montaje de agujas aéreas.
- Montaje de aisladores de sección
- Tendido de cables de tierra.
- Montaje y traslado de viseras de seguridad.
- Instalación de dispositivos limitadores de tensión
- Montaje de seccionadores

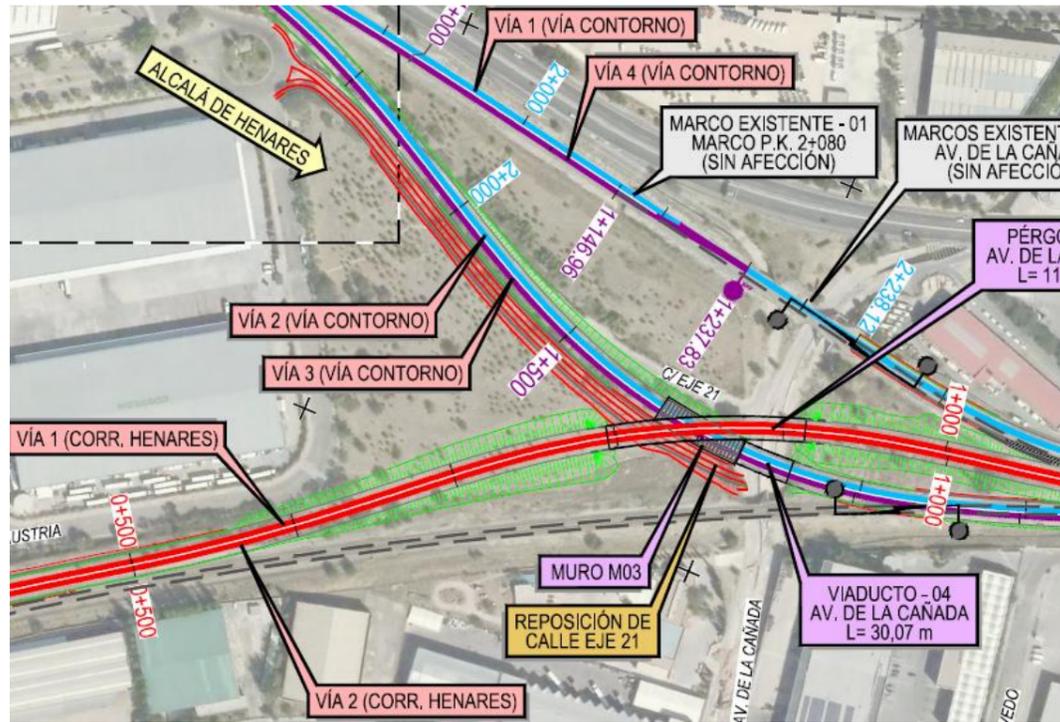
2.2.3.2. ALTERNATIVA 2

Igual que en la alternativa anterior, las vías actuales van a ser modificadas en su trazado a lo largo del tramo y en la estación de San Fernando.

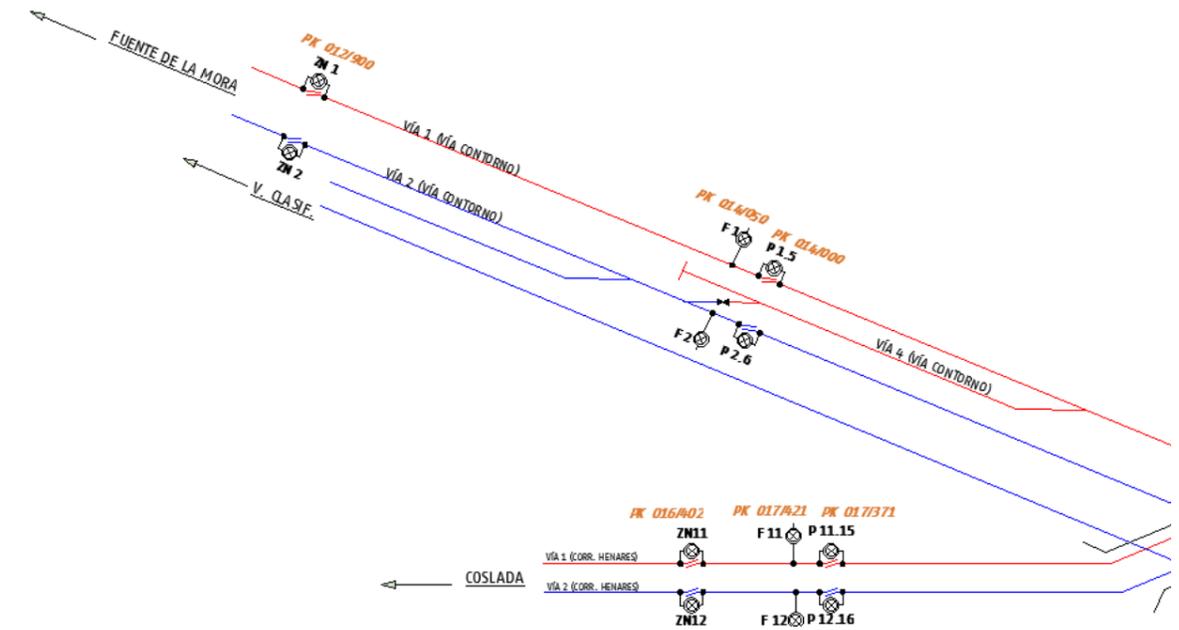
En este caso, la zona singular que hay a la salida de la estación en la que se cruzan las vías 1 y 3 de la Línea de contorno con las vías 1 y 2 de la Vía del Corredor del Henares, se resuelve tomando como Paso Superior la Vía del Corredor del Henares de forma que la Línea de contorno pasa por debajo de ella.



Detalle de Paso Superior:

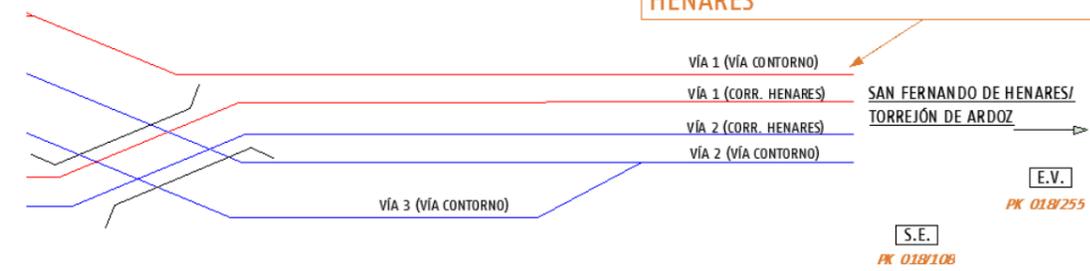
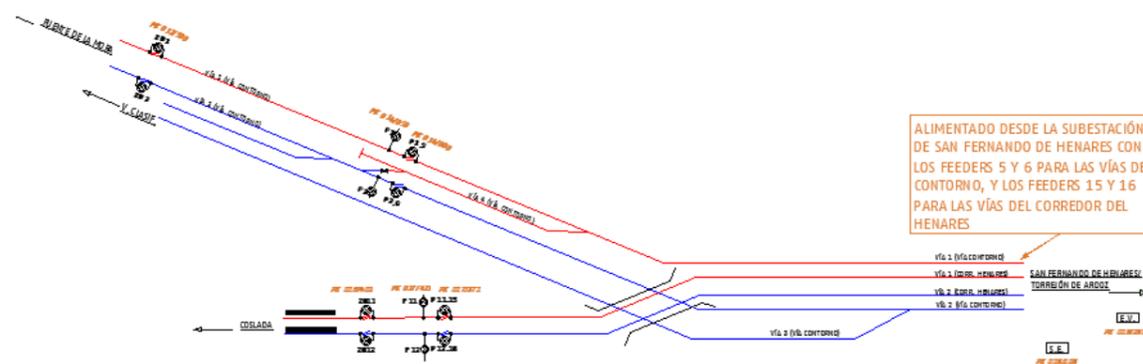


En detalle:



ALIMENTADO DESDE LA SUBESTACIÓN DE SAN FERNANDO DE HENARES CON LOS FEEDERS 5 Y 6 PARA LAS VÍAS DE CONTORNO, Y LOS FEEDERS 15 Y 16 PARA LAS VÍAS DEL CORREDOR DEL HENARES

El esquema eléctrico es el siguiente:



LEYENDA

- Vía 3kV cc
- Lámina de aire
- Aislador de sección asimétrica
- Feeder 3kV cc
- Seccionador de mando a distancia (con control desde la PLO)
- Seccionador de puesta tierra
- Seccionador de mando a distancia con puesta a tierra. (con control desde la PLO)
- Viaducto de salto de camero

Las actuaciones que afectan a la electrificación son las siguientes:

- Desmontaje de todos aquellos elementos que ya no sean necesarios o que interfieran con la nueva situación proyectada de las instalaciones.
- Excavación y construcción de nuevas cimentaciones.
- Montaje e izado de nuevos postes, para elementos de electrificación.
- Montaje de pórticos y semipórticos.
- Montaje de ménsulas y equipos de compensación.
- Tendido de conductores de catenaria.
- Montaje de agujas aéreas.
- Montaje de aisladores de sección
- Tendido de cables de tierra.
- Montaje y traslado de viseras de seguridad.
- Instalación de dispositivos limitadores de tensión
- Montaje de seccionadores

3. ESTUDIO DE POTENCIA

3.1. OBJETO

Se realiza el presente estudio con el fin de comprobar si es factible la alimentación de la malla de circulación propuesta para el tramo de la Línea de Contorno de la red de Cercanías de Madrid comprendido entre las estaciones de Fuente de la Mora y San Fernando de Henares, en el que se incluyen las nuevas estaciones de Campo de las Naciones y Rejas, en forma que la disponibilidad y calidad de la energía quede garantizada cuando ambas subestaciones se encuentran en correcto funcionamiento.

Para comprobar si es factible la alimentación de las mallas propuestas en este estudio, se procederá a comprobar que se cumple tanto con las condiciones de diseño propias del sistema, como con los apartados 4.2.3. Tensión y frecuencia y 4.2.4. Parámetros relacionados con el rendimiento del sistema de alimentación eléctrica del Reglamento (UE) No 1301/2014 de la comisión de 18 de noviembre de 2014 sobre las especificaciones técnicas de interoperabilidad del subsistema de energía del sistema ferroviario de la Unión (en adelante ETI de Energía de 2014).

El estudio de potencia consistente en la simulación mediante software de la circulación de trenes mediante el cálculo de:

- Los parámetros cinemáticos del material móvil
- Los parámetros eléctricos, tanto del material rodante como de las instalaciones de energía que alimentará a la línea.

Esta simulación se ha llevado a cabo empleando el programa informático SIMTREN, desarrollado por INECO, cuya fiabilidad está avalada por la gran cantidad de estudios similares realizados con éxito anteriormente.

3.2. CONDICIONES DE DISEÑO

Las condiciones de diseño para este estudio de potencia vienen impuestas por las normas:

- **UNE-EN 50163:2005 CORR:2010**, relativa a “Tensiones de alimentación de las Redes de Tracción”. En la que se especifican las tensiones nominales y sus límites permisibles en valor y duración.
- **UNE-EN 50388:2013** relativa a los “Criterios técnicos para la coordinación entre sistemas de alimentación y material rodante”.

- **UNE-EN 50329:2004/A1:2011** relativa a “Transformadores de tracción” en la que se especifican las condiciones de carga admisibles en función de la clase de servicio, siendo la clase IXB la correspondiente a los grupos del presente estudio, según ET 03.359.504.2.

Además, se verificará si la malla propuesta supone superar la potencia asignada por subestación, es decir, 6kW para los grupos transformador-rectificador de de la subestación de Hortaleza y 3kW para los de la subestación de San Fernando.

Esto implica que los parámetros principales a controlar en las simulaciones sean los siguientes:

- Valor mínimo instantáneo de tensión en la línea aérea de contacto (LAC). $U_{min} > 2.000 \text{ V}$.
- Valor máximo permanente de tensión en la línea aérea de contacto (LAC). $U_{max} \leq 3.600 \text{ V}$.
- Valor máximo de la tensión para el salto de las protecciones. $U_{max} \leq 3.900 \text{ V}$.
- Valor mínimo de la tensión media útil en pantógrafo del material rodante. $\bar{U}_{min} > 2.700 \text{ V}$.
- Potencia demandada de los transformadores de las subestaciones.
- Potencias asignadas a transformadores.

3.3. MÉTODO DE CÁLCULO

El estudio de potencia está realizado con ayuda de un programa de simulación de una línea ferroviaria alimentada en corriente continua llamado SIMTREN.

Este programa ha sido desarrollado con una serie de modelos que representan, de una forma muy aproximada, el sistema objeto del estudio.

Los modelos utilizados para la representación del sistema son los siguientes:

TRENES

El material rodante queda definido según los parámetros siguientes:

- Peso de locomotora.
- Peso de carga remolcada.
- Longitud de la circulación.
- Coeficiente de masas.

- Velocidad y aceleración máximas.
- Jerk (sobreceleración) máximo.
- Potencia de servicios auxiliares.
- Tensiones mínima, máxima y nominal de funcionamiento.
- Aceleración mínima en tracción.

A estos parámetros se le añaden los siguientes modelos:

- Modelo de conducción

Como modelos de conducción se han definido dos tipos:

1. Cumplimiento de horarios

El seguimiento del horario se efectúa ajustando la velocidad de forma que el tiempo de paso por estaciones y otros puntos de referencia especificados en los horarios, sean cumplidos por todos los trenes.

Para ello el programa define tres velocidades:

- Velocidad de tracción.
- Velocidad de deriva.
- Velocidad de freno.

que se introducen como porcentajes de la velocidad objetivo. Esta velocidad la fija el simulador cada cierto tiempo para cumplir el horario prefijado para cada tren.

El programa va chequeando periódicamente la posición del tren y ajustando su velocidad a la velocidad objetivo. Como resultado, los cumplimientos de horarios se llevan a cabo eficazmente.

La velocidad objetivo siempre es inferior a la máxima por las características del tren y a la máxima por limitación del trazado.

Para la etapa de frenado se considera un valor de deceleración nominal que determina la parábola de frenado del tren. El simulador verifica que el tren tiene capacidad de frenado suficiente analizando el valor de Peso-Freno introducido como dato de entrada.

2. Conducción rápida

En este modelo de conducción el tren intenta siempre ir a la máxima velocidad posible, únicamente limitada por las características de la vía y el material.

- Modelo de esfuerzo resistente

La fuerza resistente es del tipo: $F_r = a + b \cdot v + c \cdot v^2$ donde:

v = velocidad del tren

a , b , c = coeficientes cuyos valores se especifica en la Norma Técnica “Determinación de las Cargas Máximas”, de la Dirección de Material de RENFE.

- Modelo de tracción eléctrica

Para cada locomotora se introducen las curvas de esfuerzo tractor-velocidad e intensidad-velocidad, a tensión nominal y para cada régimen de funcionamiento de las locomotoras (diferentes shuntados de campo y conexionado de motores). Se implementa un modelo de variación de las curvas con la tensión.

En cada caso se tiene en cuenta el tipo de control existente (típicamente chopper o reostático).

Cuando el tren está en régimen de tracción, el programa escoge la curva de esfuerzo e intensidad o el régimen de potencia más adecuada al tipo de marcha de forma que los movimientos de los trenes y sus consumos son los más cercanos a la realidad.

ESQUEMA Y CONEXIONADO ELÉCTRICO

El esquema eléctrico se elabora a través de los siguientes datos:

- Punto de conexión de feeders a catenaria y resistencia de feeders.
- Característica exterior (recta de carga) de los grupos rectificadores.
- Tensiones en vacío de los grupos.
- Resistividad del carril (circuito de retorno).
- Conexionado entre grupos, feeders y catenaria.

RESULTADOS

El simulador arroja resultados de dos tipos:

1. Variables cinemáticas
 - Velocidad de cada tren en cada instante de tiempo
 - Aceleración de cada tren en cada instante de tiempo
 - Posición de cada tren en cada instante de tiempo

2. Variables eléctricas

- Trenes
 - Intensidad instantánea
 - Potencia instantánea
 - Tensión pantógrafo – carril
- Subestaciones
 - Intensidad instantánea por feeder
 - Tensión de alimentación por feeder en el punto de conexión con la catenaria
 - Tensión en barras ómnibus del grupo
 - Potencia instantánea del grupo
 - Energía consumida

Para dimensionar la potencia de los grupos rectificadores en base a IEC-146-1.1 apartados 3.10.3.5 y 3.10.3.6 se da la potencia eficaz en períodos de 15 min por grupo, de forma que la potencia nominal de los grupos sea siempre superior a la eficaz en 15 min.

Según la UIC 798 la capacidad de carga nominal de un cable debe ser siempre superior a la intensidad eficaz entre 30 s y 20 min, recomendado 10 min. Por ello se incluye la intensidad máxima eficaz en períodos de 10 min por feeder.

De todos estos resultados se obtienen los correspondientes gráficos a lo largo del período de simulación.

En el programa de simulación utilizado, los cálculos de movimiento dinámico de los trenes se realizan a intervalos de 0,1 s.

Los cálculos eléctricos se realizan cada 1 s, con tres iteraciones por cálculo, con lo que se calcula con precisión el circuito eléctrico en un tiempo razonable.

3.4. DATOS DE PARTIDA

Los datos de partida para realizar la simulación comprenden:

- Perfil geométrico: características generales de la línea férrea: trazado (planta y alzado), puntos de arranque, parada y paso de circulaciones.
- Características del circuito eléctrico: parámetros que caracterizan las subestaciones, feeders y catenaria.
- Características del material móvil: descripción de los conjuntos que van a circular.

- Condiciones de explotación previstas.

3.4.1. PERFIL GEOMÉTRICO

A continuación, se adjuntan las tablas de las paradas o puntos de paso para las dos vías del tramo estudiado, así como las tablas en las que se describen los radios de curvatura del trazado y rampas y las de limitación de velocidad.

3.4.1.1. PARADAS Y PUNTOS DE PASO

Las paradas y puntos de paso que se han considerado son los siguientes. Para las nuevas estaciones de Campo de las Naciones y Rejas se muestran las dos opciones contempladas.

DEPENDENCIA	P.K. FINAL
Fuente de la Mora	2+600
Hortaleza	3+780
Campo de las Naciones – Op.1	7+080
Campo de las Naciones – Op.2	7+500
Rejas – Op.1	10+140
Rejas – Op.2	11+000
San Fernando	15+950

3.4.1.2. CURVAS

P.K. INICIAL	P.K. FINAL	RADIO (m)	DISTANCIA (km)
VIA 1			
0+000	0+560	0,00	0,56
0+560	0+810	357,00	0,25
0+810	1+080	-291,00	0,27
1+080	1+450	0,00	0,37
1+450	1+970	300,00	0,52
1+970	2+410	0,00	0,44
2+410	2+610	-1.000,00	0,20
2+610	4+380	0,00	1,78
4+380	5+630	1.500,00	1,25
5+630	7+070	0,00	1,44
7+070	7+430	-1.000,00	0,36
7+430	8+030	0,00	0,60
8+030	8+260	-1.000,00	0,23
8+260	8+760	0,00	0,50
8+760	9+280	450,00	0,52
9+280	9+430	0,00	0,16

P.K. INICIAL	P.K. FINAL	RADIO (m)	DISTANCIA (km)
9+430	9+880	-450,00	0,44
9+880	10+330	0,00	0,45
10+330	10+650	-450,00	0,32
10+650	11+700	0,00	1,05
11+700	11+990	400,00	0,29
11+990	12+120	0,00	0,13
12+120	12+510	-400,00	0,38
12+510	13+320	0,00	0,82
13+320	13+740	-400,00	0,42
13+740	14+120	0,00	0,38
14+120	14+960	1.000,00	0,84
14+960	15+180	0,00	0,22
15+180	15+470	-400,00	0,29
15+470	17+000	0,00	1,53
VIA 2			
0+000	0+560	0,00	0,56
0+560	0+810	357,00	0,25
0+810	1+080	-291,00	0,27
1+080	1+450	0,00	0,37
1+450	1+970	300,00	0,52
1+970	2+410	0,00	0,44
2+410	2+610	-1.000,00	0,20
2+610	4+380	0,00	1,78
4+380	5+630	1.500,00	1,25
5+630	7+070	0,00	1,44
7+070	7+430	-1.000,00	0,36
7+430	8+030	0,00	0,60
8+030	8+260	-1.000,00	0,23
8+260	8+760	0,00	0,50
8+760	9+280	450,00	0,52
9+280	9+430	0,00	0,16
9+430	9+880	-450,00	0,44
9+880	10+330	0,00	0,45
10+330	10+650	-450,00	0,32
10+650	11+700	0,00	1,05
11+700	11+990	400,00	0,29
11+990	12+120	0,00	0,13
12+120	12+510	-400,00	0,38
12+510	13+320	0,00	0,82
13+320	13+740	-400,00	0,42
13+740	14+120	0,00	0,38
14+120	14+960	1.000,00	0,84
14+960	15+180	0,00	0,22

P.K. INICIAL	P.K. FINAL	RADIO (m)	DISTANCIA (km)
15+180	15+470	-400,00	0,29
15+470	17+000	0,00	1,53

3.4.1.3. RAMPAS

PK INICIAL	PK FINAL	PENDIENTE (‰)	DISTANCIA (km)
VIA1			
0+000	1+160	0,00	1,16
1+160	1+450	-11,80	0,29
1+450	1+820	-13,50	0,37
1+820	2+610	-13,30	0,79
2+610	3+170	-12,60	0,56
3+170	3+910	0,00	0,74
3+910	4+430	-0,70	0,52
4+430	4+740	-12,30	0,32
4+740	6+960	-12,60	2,22
6+960	7+280	-11,20	0,32
7+280	7+940	-12,80	0,66
7+940	8+240	-11,30	0,30
8+240	8+520	-12,40	0,28
8+520	8+820	-12,10	0,30
8+820	9+100	-0,20	0,28
9+100	9+630	0,00	0,53
9+630	10+390	-12,20	0,76
10+390	10+650	-10,60	0,26
10+650	11+790	0,00	1,14
11+790	14+960	-15,20	3,17
14+960	15+760	-10,40	0,80
15+760	17+000	0,00	1,24
VIA2			
0+000	1+160	0,00	1,16
1+160	1+450	-11,80	0,29
1+450	1+820	-13,50	0,37
1+820	2+610	-13,30	0,79
2+610	3+170	-12,60	0,56
3+170	3+910	0,00	0,74
3+910	4+430	-0,70	0,52
4+430	4+740	-12,30	0,32
4+740	6+960	-12,60	2,22
6+960	7+280	-11,20	0,32
7+280	7+940	-12,80	0,66
7+940	8+240	-11,30	0,30
8+240	8+520	-12,40	0,28

PK INICIAL	PK FINAL	PENDIENTE (‰)	DISTANCIA (km)
8+520	8+820	-12,10	0,30
8+820	9+100	-0,20	0,28
9+100	9+630	0,00	0,53
9+630	10+390	-12,20	0,76
10+390	10+650	-10,60	0,26
10+650	11+790	0,00	1,14
11+790	14+960	-15,20	3,17
14+960	15+760	-10,40	0,80
15+760	17+000	0,00	1,24

3.4.1.4. LÍMITES DE VELOCIDAD

PK INICIAL	PK FINAL	DISTANCIA (km)	V límite Normal (km/h)	V límite Tipo A (km/h)	V límite Tipo B (km/h)
VIAS 1 y 2					
0+000	1+000	1,00	45,00	45,00	45,00
1+000	2+600	1,60	65,00	65,00	65,00
2+600	3+800	1,20	85,00	85,00	85,00
3+800	8+700	4,90	110,00	120,00	120,00
8+700	11+000	2,30	80,00	90,00	90,00
11+000	13+700	2,70	85,00	90,00	90,00
13+700	15+200	1,50	100,00	100,00	100,00
15+200	15+900	0,70	70,00	70,00	70,00
15+900	17+000	1,10	100,00	100,00	100,00

3.4.2. MATERIAL MÓVIL**3.4.2.1. CIRCULACIONES**

Conforme a lo recogido en el Estudio Funcional de la línea de contorno, realizado por la Subdirección General de Planificación Ferroviaria del Ministerio de Fomento en el año 2021, incluido como anexo en el Anejo 2 del Estudio Informativo, en las simulaciones realizadas se ha considerado la circulación en hora punta de un total de 6 trenes de cercanías y 2 trenes de mercancías por sentido, de las características reseñadas en el apartado a continuación.

3.4.2.2. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL RODANTE

A continuación, se resumen las principales características del material móvil utilizado. Para simular las circulaciones de cercanías se han considerado trenes Civia 465. Para las de mercancías locomotoras S253 arrastrando 1.000 toneladas.

CIVIA 465				
	Pot. en llanta (kW)	2200	Pot. Servicios Aux (kW)	212
	A [daN]	406	Longitud (m)	98,05
	B [daN/(km/h)]	0,74417	Velocidad máxima (km/h)	120
	C [daN/(km/h) ²]	0,17207	Aceleración máxima (m/s ²)	1,1
	Peso tren cargado (t)	248,2	Tara (t)	157,3
253 - 1000 t				
	Pot. en llanta (kW)	5600	Pot. Servicios Aux (kW)	360
	A [daN]	1250,05	Longitud (m)	620
	B [daN/(km/h)]	10,598	Velocidad máxima (km/h)	140
	C [daN/(km/h) ²]	0,31251	Aceleración máxima (m/s ²)	0,45
	Peso tren cargado (t)	1087	Tara (t)	832

El material rodante cumple con lo especificado acerca del factor de potencia y la limitación de corriente absorbida en los apartados 6 y 7 de la norma EN 50388:2013. Por tanto, dado que estos trenes son todos de potencia superior a 2 MW y pueden circular sin limitación de potencia y/o corriente (como se demuestra más adelante), se cumple tanto lo establecido en el apartado 4.2.4.1 de la ETI de Energía en relación a la corriente máxima de tren, como lo establecido en el apartado 4.2.4.2 acerca del factor de potencia.

Se considera que el material rodante cumple con lo especificado acerca del frenado de recuperación y la tensión de la línea aérea de contacto en el apartado 12.1.1 de la norma EN 50388:2013. Con lo que se respeta el valor máximo de tensión no permanente U_{max,2} establecido en el apartado 4.1 de la norma EN 50163:2004.

3.4.2.3. MALLA DE EXPLOTACIÓN

Dado que la explotación detallada en el apartado 4.2.1. se corresponde con el actual límite superior de capacidad de la línea, se ha considerado que las unidades circulantes se distribuyen uniformemente a lo largo de la hora en estudio, con lo que el intervalo entre dos trenes consecutivos, cualquiera que sea su tipología, cercanías o mercancías, es de 7 minutos y 30 segundos (7,5 minutos).

3.4.3. PERFIL ELÉCTRICO

3.4.3.1. SUBESTACIONES

La tensión de vacío de las subestaciones es 3400 V conforme a UNE EN 50163.

Las subestaciones que alimentan el tramo estudiado y sus características se muestran en la siguiente tabla.

SUBESTACIÓN	PK SIMULACIÓN	POTENCIA GRUPOS (kVA)
Hortaleza	3+780	2 x 3.000
San Fernando	15+860	2 x 6.000

3.4.3.2. FEEDERS

Las características de los feeders de alimentación se muestran en la siguiente tabla. Se han considerado únicamente los feeders que participan en la simulación.

SUBESTACIÓN	Nº	P.K.	MATERIAL	S (mm ²)	R a 80°C (ohm)	I MÁX ADM (A)
Hortaleza	1	4+380	Cu aislado	2x300	0,05788	1.653
	2	4+430	Cu aislado	2x300	0,05607	1.653
	3	4+580	Cu aislado	2x300	0,05065	1.653
	4	4+930	Cu aislado	2x300	0,03799	1.653
San Fernando	1	14+910	Cu	2x240	0,04461	1.474,8
	2	14+910	Cu	2x240	0,04461	1.474,8
	5	15+800	Cu	2x150	0,00724	1.039,5
	6	15+800	Cu	2x150	0,00724	1.039,5

3.4.3.3. LÍNEA AÉREA DE CONTACTO

La catenaria instalada a lo largo de todo el trayecto es del tipo CA-160/3 kV tipo A, según NAE 300_E de Adif.

A continuación, se detallan los conductores de la catenaria.

Sustentador	Hilo de contacto	Péndolas	Cable de tierra	R a 80°C (ohm/km)
Cu 1x150 mm ²	Cu 2x107 mm ²	Cu (extraflexible) 25 mm ²	LA 110	0,06281

3.5. RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados obtenidos mediante simulación para los parámetros de diseño de los escenarios simulados.

Para realizar el estudio de la línea, se han planteado cuatro escenarios diferentes correspondientes a las diversas combinaciones entre las opciones de ubicación de las estaciones de Campo de las Naciones y Rejas:

- Escenario 1-1. Estaciones de Campo de las Naciones y Rejas en sus alternativas de ubicación 1, puntos kilométricos 7+080 y 10+140 respectivamente.
- Escenario 1-2. Estación de Campo de las Naciones en su alternativa de ubicación 1, PK 7+080, y estación de Rejas en su alternativa de ubicación 2, PK 11+000.
- Escenario 2-1. Estación de Campo de las Naciones en su alternativa de ubicación 2, PK 7+500, y estación de Rejas en su alternativa de ubicación 1, PK 10+140.
- Escenario 2-2. Estaciones de Campo de las Naciones y Rejas en sus alternativas de ubicación 2, puntos kilométricos 7+500 y 11+000 respectivamente.

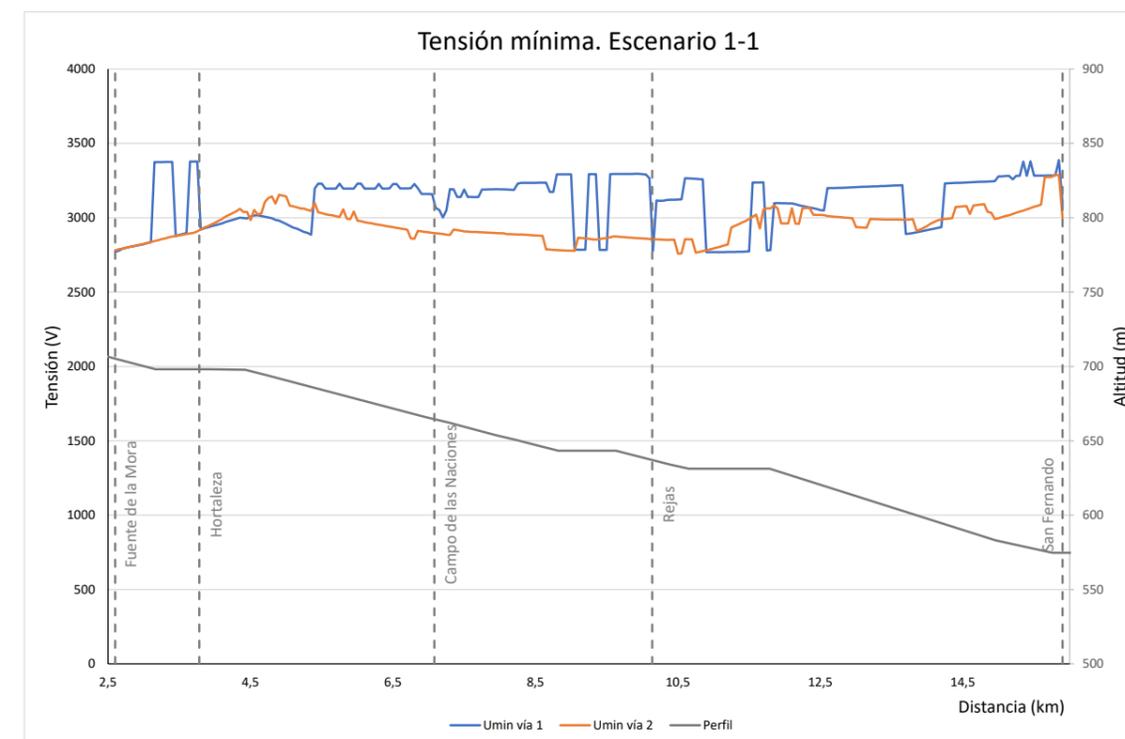
3.5.1. ESCENARIO 1-1

3.5.1.1. TENSIONES

3.5.1.1.1. TENSIÓN MÍNIMA

En la siguiente figura se resumen las tensiones mínimas en catenaria.

Como se puede observar en la misma, durante todo el trayecto, la tensión está por encima del mínimo de 2.000 V permitido por la normativa, siendo la mínima tensión obtenida 2.758,64 V.



3.5.1.1.2. TENSIÓN MEDIA ÚTIL DE TREN

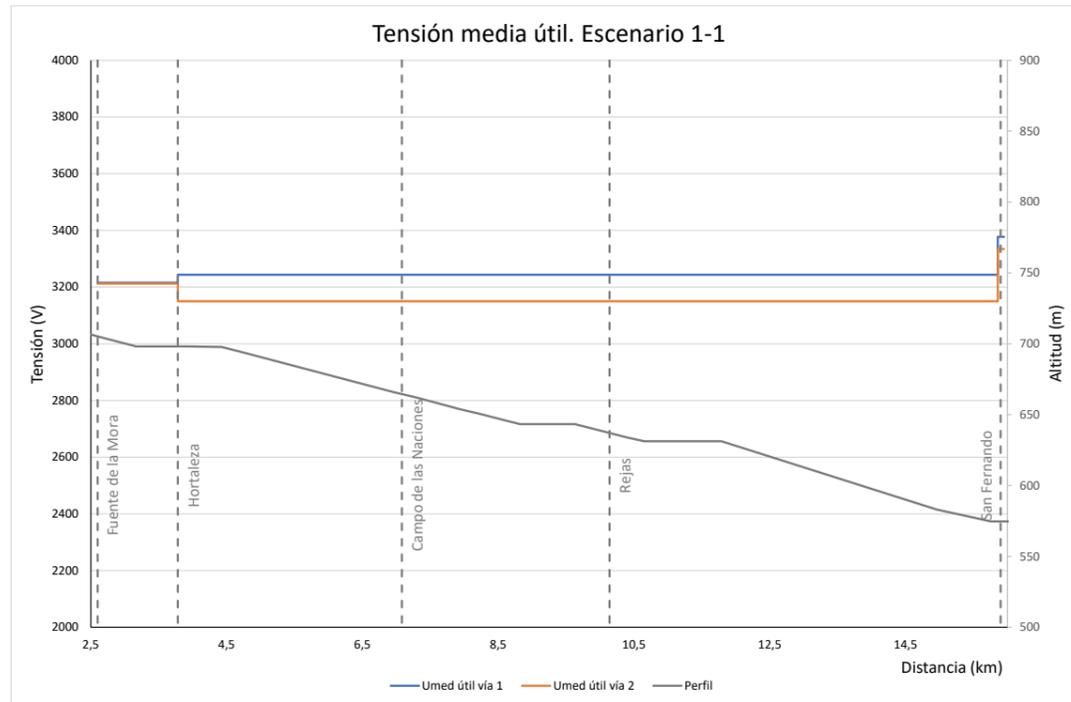
A continuación, se presenta la mínima tensión media útil de tren obtenida, con indicación del tipo de tren al que corresponde, así como su sentido de circulación.

TREN	U MED ÚTIL MIN TREN (V)	SENTIDO
Mercancías	2.894,44	Fuente la Mora – San Fernando

Según la normativa vigente, los valores mínimos para la tensión media útil en el pantógrafo en condiciones de funcionamiento normales deben ser mayores a 2.700 V. Como se puede comprobar, en las condiciones de funcionamiento estudiadas las tensiones medias útiles mínimas en pantógrafo se encuentran dentro del rango permitido.

3.5.1.1.3. TENSIÓN MEDIA ÚTIL DE ZONA

A continuación, se muestran las tensiones medias útiles de cada zona estudiada.



Según la normativa vigente, los valores mínimos para la tensión media útil de zona en condiciones de funcionamiento normales deben ser mayores a 2.700 V. Como se puede comprobar, en las condiciones de funcionamiento estudiadas las tensiones medias útiles mínimas se encuentran dentro del rango permitido, siendo sus valores los mostrados en la siguiente tabla.

TRAMO	VÍA	U MEDIA ÚTIL MÍNIMA (V)
Fuente de la Mora - SE Hortaleza	2	3.212,43
SE Hortaleza – SE San Fernando	2	3.150,23
SE San Fernando – San Fernando	2	3.334,52

Teniendo en cuenta los resultados de tensión media útil mostrados, las unidades pueden circular sin limitación de la potencia que demandan de la catenaria y se cumple lo establecido en la UNE-EN 50388 y el apéndice C de la ETI de Energía de 2014 al respecto de la tensión en catenaria y la tensión media útil en pantógrafo.

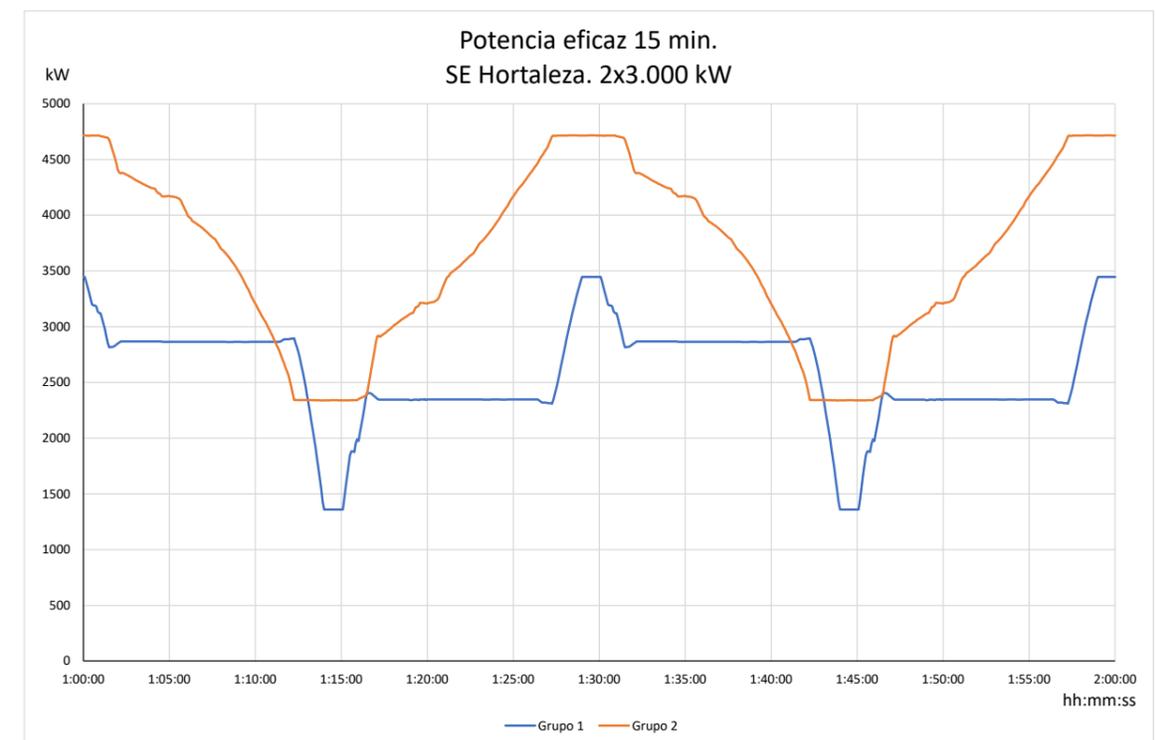
3.5.1.2. POTENCIAS

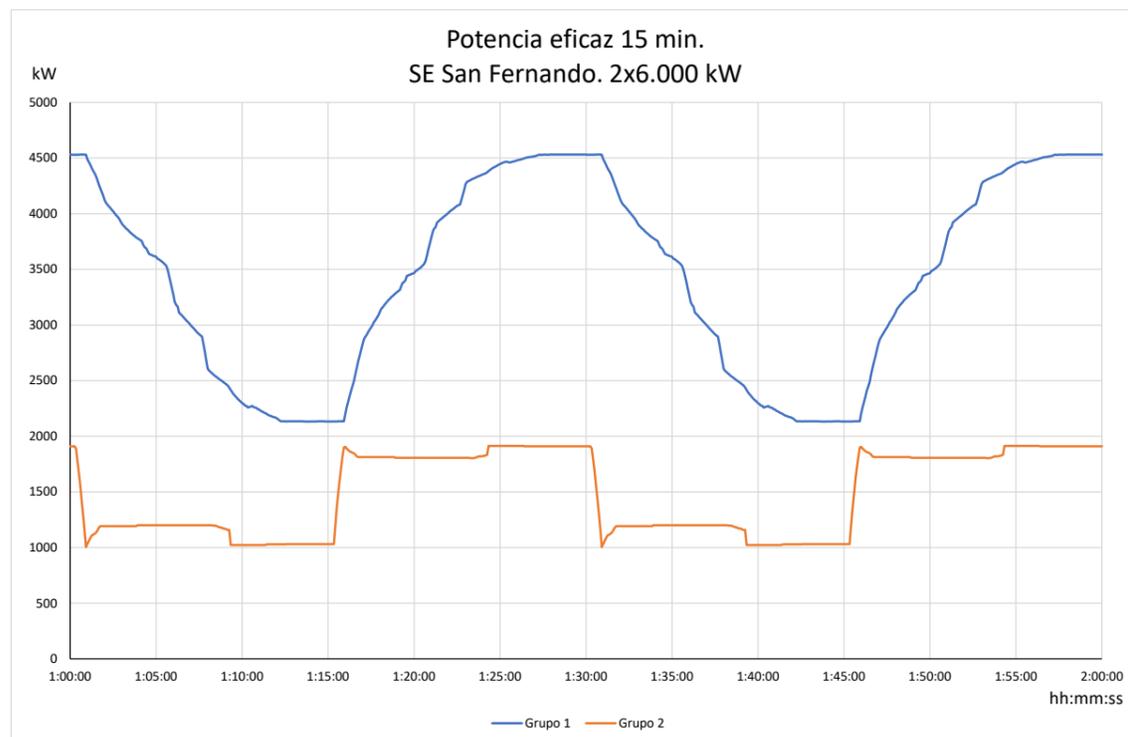
La siguiente tabla resume las potencias máximas demandadas a cada transformador de tracción de cada subestación.

SUBESTACIÓN	GRUPO	POTENCIA INSTANTÁNEA MÁXIMA (kW)	POTENCIA EFICAZ MÁXIMA PERIODO 1 MIN (kW)	POTENCIA EFICAZ MÁXIMA PERIODO 15 MIN (kW)	POTENCIA INSTALADA (kW)
SE Hortaleza	1	8.106,10	7.830,15	3.445,27	3.000
	2	9.945,28	7.218,79	4.715,58	3.000
SE San Fernando	1	9.011,25	7.148,47	4.531,60	6.000
	2	8.290,34	6.404,62	1.917,17	6.000

Como puede observarse en esta tabla, la potencia demandada por grupo en la subestación de Hortaleza supera a la potencia instalada, con lo que en esta subestación sería necesaria la sustitución de los grupos de 3.000 kW existentes por otros de 6.000 kW.

A continuación, se aportan sendas representaciones gráficas de la potencia media cuadrática integrada a 15 minutos demandada de las subestaciones. En ambos casos se muestra la potencia eficaz correspondiente a cada uno de los grupos, pese a que en el caso de la subestación de Hortaleza los grupos estén actualmente funcionando en paralelo, ya que como ya se ha explicado sería necesario sustituirlos por grupos de 6.000 kW que no funcionarían en paralelo.





3.5.1.3. INTENSIDADES

En la siguiente tabla se resumen las intensidades máximas que circulan por los feeders de cada subestación.

SUBESTACIÓN	Nº FEEDER	INTENSIDAD INSTANTÁNEA MÁXIMA (A)	INTENSIDAD EFICAZ MÁXIMA PERIODO 10 MIN (A)	INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE (A)
Hortaleza	1	2.360,15	802,65	1.653
	2	2.383,83	945,52	1.653
	3	2.358,41	620,37	1.653
	4	2.095,97	1.400,67	1.653
San Fernando	1	1.918,68	534,83	1.474,8
	2	2.088,88	1.290,10	1.474,8
	5	2.416,17	205,38	1.039,5
	6	2.438,02	648,95	1.039,5

Tal como se refleja en la tabla, la intensidad eficaz máxima en diez (10) minutos que circula por los feeders de alimentación de las subestaciones no supera en ningún instante la intensidad máxima admisible.

3.5.1.4. CONCLUSIÓN

Como se ha podido comprobar, se puede asegurar el correcto funcionamiento del sistema para la explotación prevista, pero sería necesario sustituir los grupos de 3.000 kW instalados en la subestación de Hortaleza por grupos de 6.000 kW.

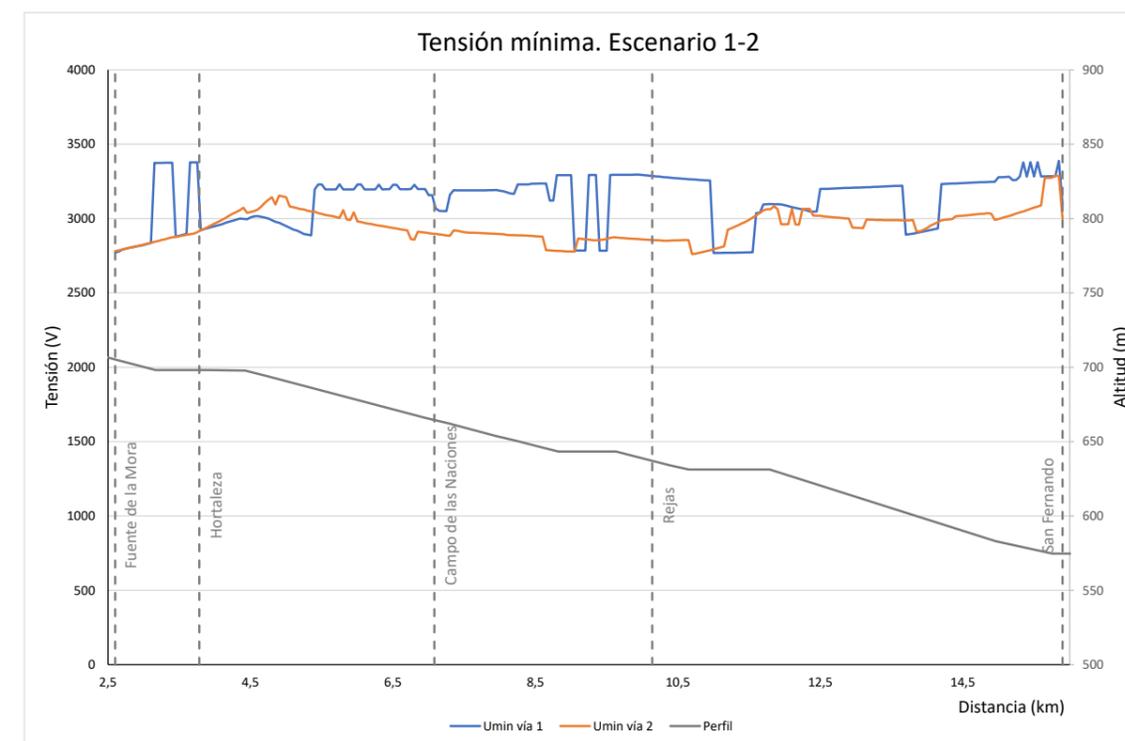
3.5.2. ESCENARIO 1-2

3.5.2.1. TENSIONES

3.5.2.1.1. TENSIÓN MÍNIMA

En la siguiente figura se resumen las tensiones mínimas en catenaria.

Como se puede observar, durante todo el trayecto, la tensión está por encima del mínimo de 2.000 V permitido por la normativa, siendo la mínima tensión obtenida 2.760,65 V.



3.5.2.1.2. TENSIÓN MEDIA ÚTIL DE TREN

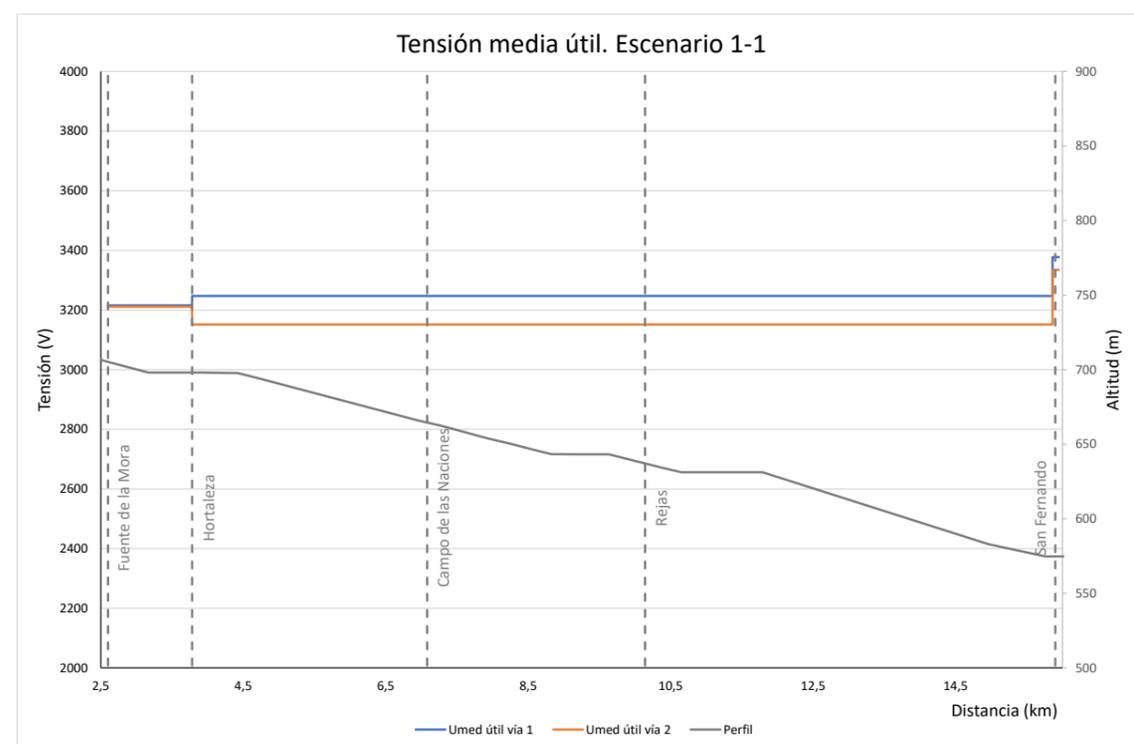
A continuación, se presenta la mínima tensión media útil de tren obtenida, con indicación del tren a que corresponde.

TREN	U MED ÚTIL MIN TREN (V)	SENTIDO
Mercancías	2.891,66	Fuente la Mora – San Fernando

Según la normativa vigente, los valores mínimos para la tensión media útil en el pantógrafo en condiciones de funcionamiento normales deben ser mayores a 2.700 V. Como se puede comprobar, en las condiciones de funcionamiento estudiadas las tensiones medias útiles mínimas en el pantógrafo se encuentran fuera del rango permitido.

3.5.2.1.3. TENSIÓN MEDIA ÚTIL DE ZONA

A continuación, se muestran las tensiones medias útiles de cada zona estudiada.



Según la normativa vigente, los valores mínimos para la tensión media útil de zona en condiciones de funcionamiento normales deben ser mayores a 2.700 V. Como se puede comprobar, en las condiciones de funcionamiento estudiadas las tensiones medias útiles mínimas de zona se encuentran dentro del rango permitido, siendo sus valores los mostrados en la siguiente tabla.

TRAMO	VÍA	U MEDIA ÚTIL MÍNIMA (V)
Fuente de la Mora - SE Hortaleza	2	3.211,52
SE Hortaleza – SE San Fernando	2	3.151,94
SE San Fernando – San Fernando	2	3.334,52

Teniendo en cuenta los resultados mostrados, las unidades pueden circular sin limitación de la potencia que demandan de la catenaria y no se cumple lo establecido en la UNE-EN 50388 y el apéndice C de la ETI de Energía de 2104 al respecto de la tensión en catenaria y la tensión media útil en pantógrafo.

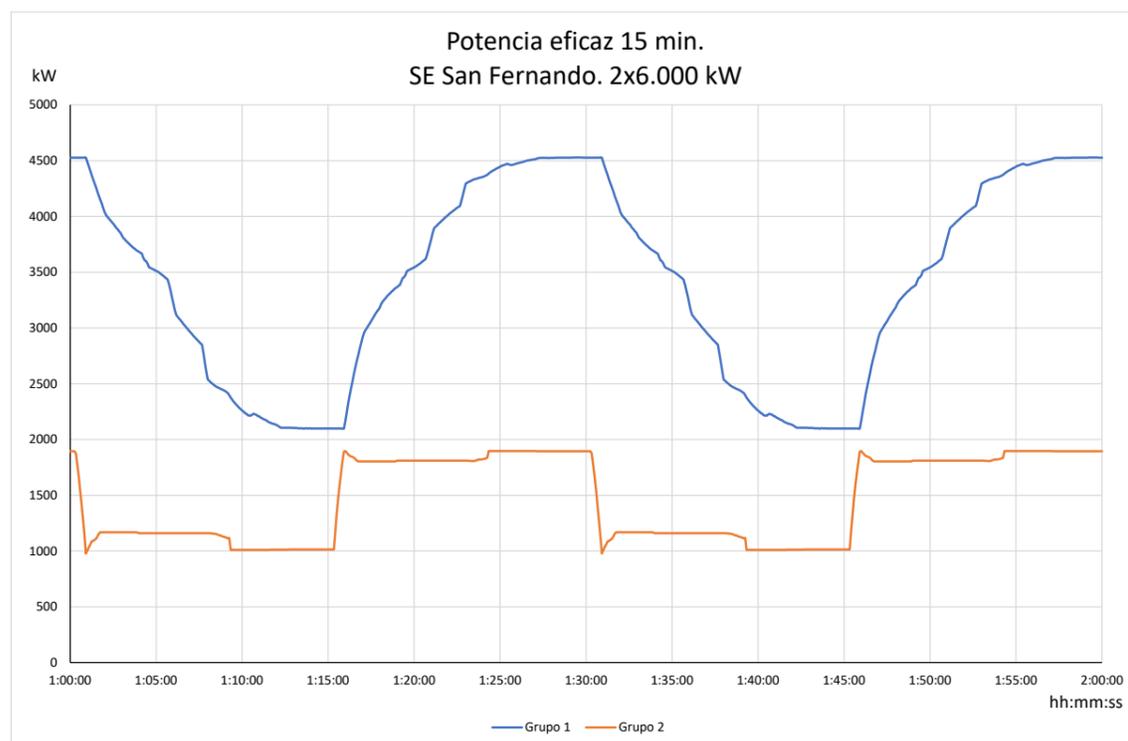
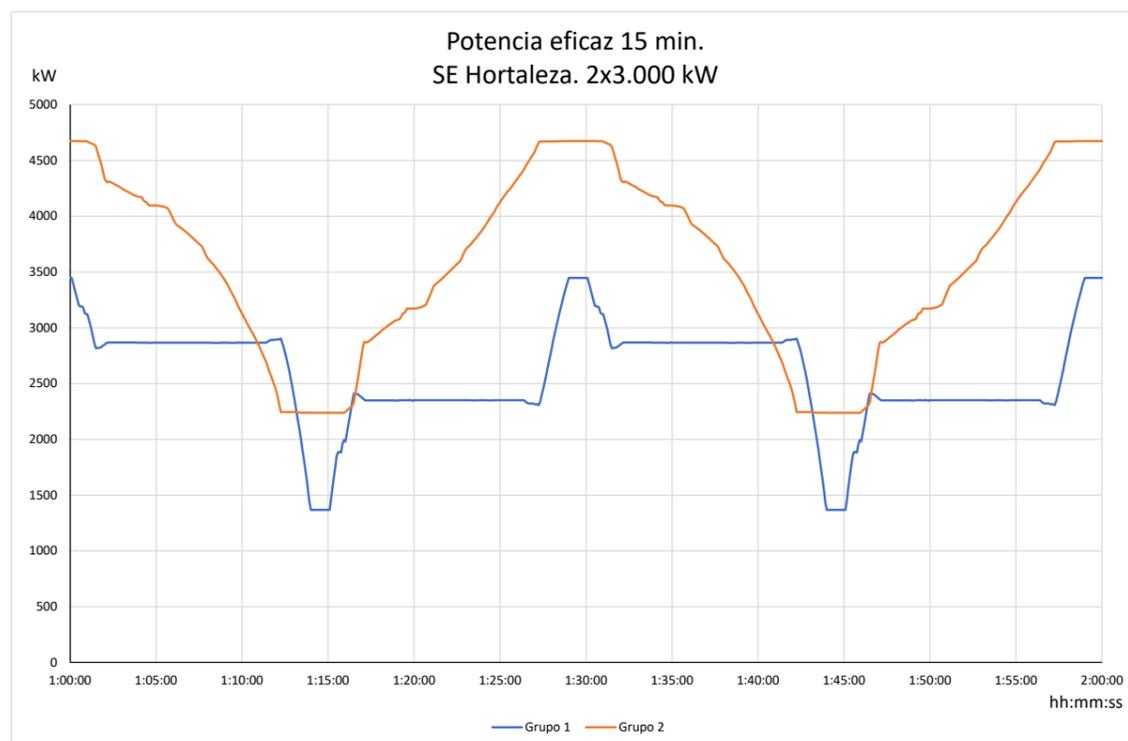
3.5.2.2. POTENCIAS

La siguiente tabla resume las potencias máximas demandadas a cada transformador de tracción de cada subestación.

SUBESTACIÓN	GRUPO	POTENCIA INSTANTÁNEA MÁXIMA (kW)	POTENCIA EFICAZ MÁXIMA PERIODO 1 MIN (kW)	POTENCIA EFICAZ MÁXIMA PERIODO 15 MIN (kW)	POTENCIA INSTALADA (kW)
SE Hortaleza	1	8.104,62	7.829,90	3.446,59	3.000
	2	9.961,03	7.322,67	4.674,62	3.000
SE San Fernando	1	9.004,93	7.880,16	4.527,66	6.000
	2	8.290,34	6.404,62	1.908,51	6.000

Como puede observarse en esta tabla, la potencia demandada por grupo en la subestación de Hortaleza supera a la potencia instalada, con lo que en esta subestación sería necesaria la sustitución de los grupos de 3.000 kW existentes por otros de 6.000 kW.

A continuación, se aportan sendas representaciones gráficas de la potencia media cuadrática integrada a 15 minutos demandada de las subestaciones. En ambos casos se muestra la potencia eficaz correspondiente a cada uno de los grupos, pese a que en el caso de la subestación de Hortaleza los grupos estén actualmente funcionando en paralelo, ya que como ya se ha explicado sería necesario sustituirlos por grupos de 6.000 kW que no funcionarían en paralelo.



3.5.2.3. INTENSIDADES

En la siguiente tabla se resumen las intensidades máximas que circulan por los feeders de cada subestación.

SUBESTACIÓN	Nº FEEDER	INTENSIDAD INSTANTÁNEA MÁXIMA (A)	INTENSIDAD EFICAZ MÁXIMA PERIODO 10 MIN (A)	INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE (A)
Hortaleza	1	2.360,15	802,65	1.653
	2	2.383,40	946,22	1.653
	3	2.357,13	613,43	1.653
	4	2.095,21	1.394,01	1.653
San Fernando	1	1.908,58	498,00	1.474,8
	2	2.087,12	1.290,18	1.474,8
	5	2.412,05	182,84	1.039,5
	6	2.438,02	648,95	1.039,5

Tal como se refleja en la tabla, la intensidad eficaz máxima en diez (10) minutos que circula por los feeders de alimentación de las subestaciones no supera en ningún instante la intensidad máxima admisible.

3.5.2.4. CONCLUSIÓN

Como se ha podido comprobar, se puede asegurar el correcto funcionamiento del sistema para la explotación prevista, pero sería necesario sustituir los grupos de 3.000 kW instalados en la subestación de Hortaleza por grupos de 6.000 kW.

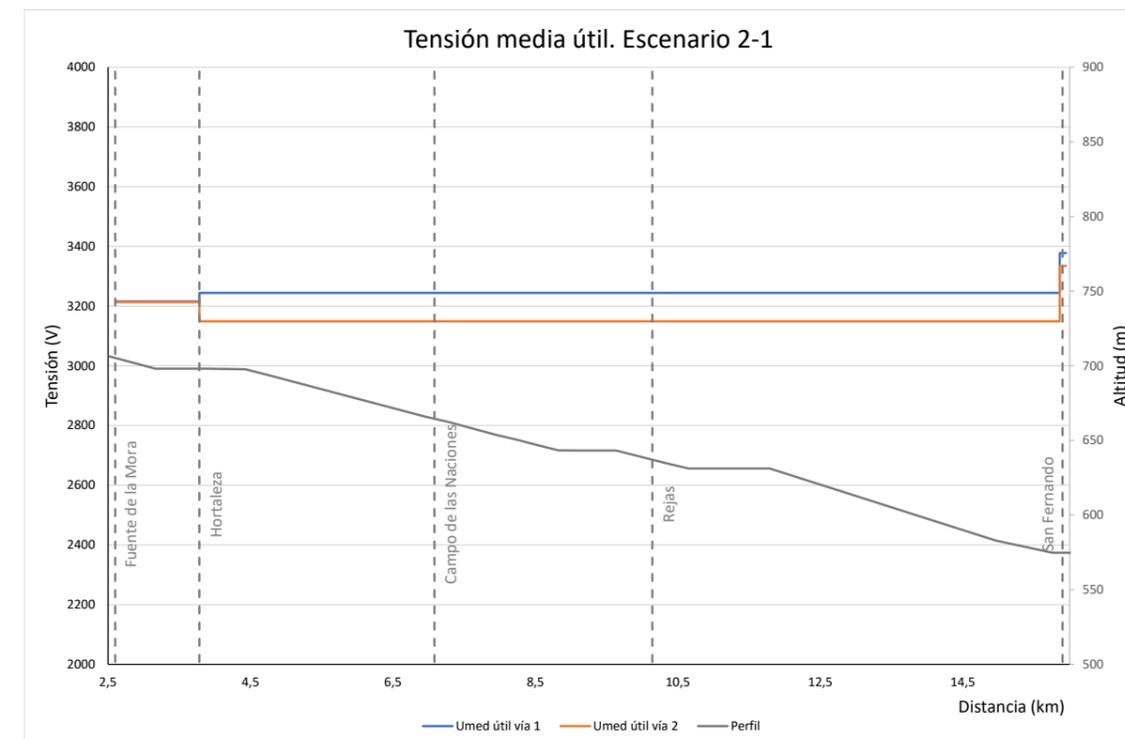
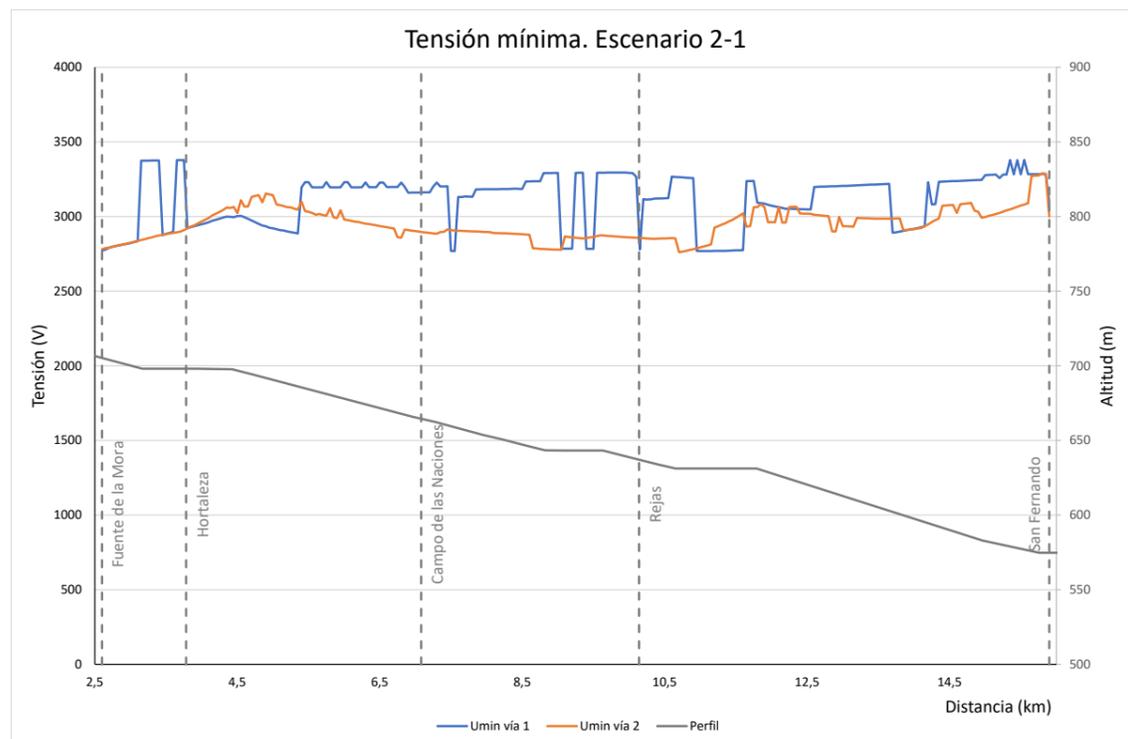
3.5.3. ESCENARIO 2-1

3.5.3.1. TENSIONES

3.5.3.1.1. TENSIÓN MÍNIMA

En la siguiente figura se resumen las tensiones mínimas que circulan por la catenaria.

Como se puede observar, la tensión mínima en catenaria en este escenario está por encima del mínimo de 2.000 V permitidos por la normativa, siendo la mínima tensión obtenida 2.761,39 V.



3.5.3.1.2. TENSIÓN MEDIA ÚTIL DE TREN

A continuación, se presenta la mínima tensión media útil de tren obtenida, con indicación del tren a que corresponde.

TREN	U MED ÚTIL MIN TREN (V)	SENTIDO
Mercancías	2.886,24	Fuente de la Mora – San Fernando

Según la normativa vigente, los valores mínimos para la tensión media útil en el pantógrafo en condiciones de funcionamiento normales deben ser mayores a 2.700 V. Como se puede comprobar, en las condiciones de funcionamiento estudiadas las tensiones medias útiles mínimas en el pantógrafo se encuentran dentro del rango permitido.

3.5.3.1.3. TENSIÓN MEDIA ÚTIL DE ZONA

A continuación, se muestran las tensiones medias útiles de cada zona estudiada.

Según la normativa vigente, los valores mínimos para la tensión media útil de zona en condiciones de funcionamiento normales deben ser mayores a 2.700 V. Como se puede comprobar, en las condiciones de funcionamiento estudiadas las tensiones medias útiles mínimas de zona se encuentran dentro del rango permitido, siendo sus valores los mostrados en la siguiente tabla.

TRAMO	VÍA	U MEDIA ÚTIL MÍNIMA (V)
Fuente de la Mora - SE Hortaleza	2	3.213,21
SE Hortaleza – SE San Fernando	2	3.149,31
SE San Fernando – San Fernando	2	3.334,52

Teniendo en cuenta los resultados mostrados en cuanto a tensiones medias útiles, las unidades pueden circular sin limitación de la potencia que demandan de la catenaria y se cumple lo establecido en la UNE-EN 50388 y el apéndice C de la ETI de Energía de 2104 al respecto de la tensión en catenaria y la tensión media útil en pantógrafo.

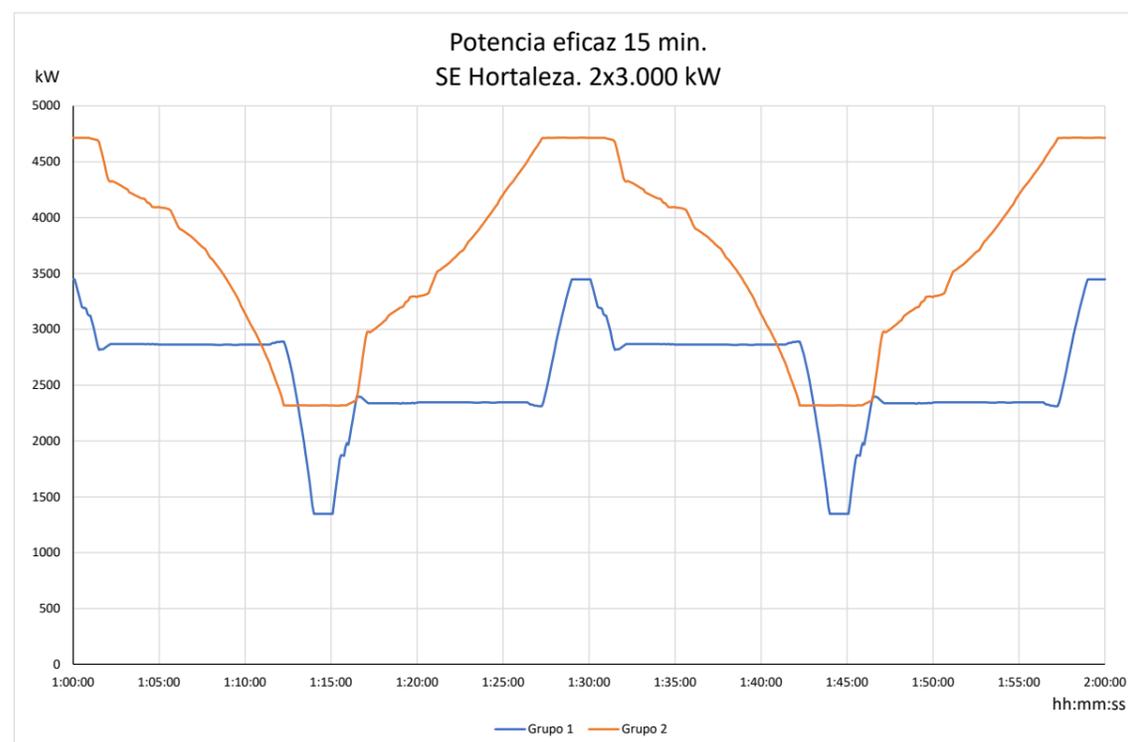
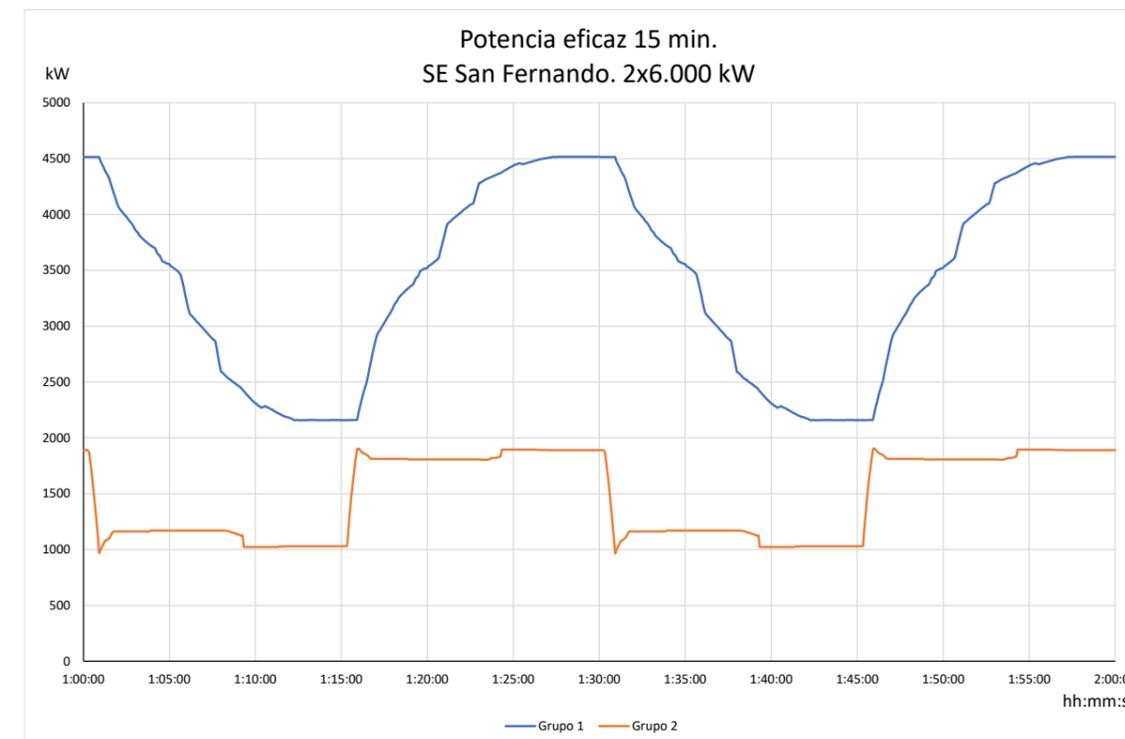
3.5.3.2. POTENCIAS

La siguiente tabla resume las potencias máximas demandadas a cada transformador de tracción de cada subestación

SUBESTACIÓN	GRUPO	POTENCIA INSTANTÁNEA MÁXIMA (kW)	POTENCIA EFICAZ MÁXIMA PERIODO 1 MIN (kW)	POTENCIA EFICAZ MÁXIMA PERIODO 15 MIN (kW)	POTENCIA INSTALADA (kW)
SE Hortaleza	1	8.105,34	7.829,93	3.446,91	3.000
	2	10.025,59	7.776,77	4.715,59	3.000
SE San Fernando	1	9.006,81	7.448,69	4.516,93	6.000
	2	8.290,34	6.404,62	1.917,17	6.000

Como puede observarse en esta tabla, la potencia demandada por grupo en la subestación de Hortaleza supera a la potencia instalada, con lo que en esta subestación sería necesaria la sustitución de los grupos de 3.000 kW existentes por otros de 6.000 kW.

A continuación, se aportan sendas representaciones gráficas de la potencia media cuadrática integrada a 15 minutos demandada de las subestaciones. En ambos casos se muestra la potencia eficaz correspondiente a cada uno de los grupos, pese a que en el caso de la subestación de Hortaleza los grupos estén actualmente funcionando en paralelo, ya que como ya se ha explicado sería necesario sustituirlos por grupos de 6.000 kW que no funcionarían en paralelo.



3.5.3.3. INTENSIDADES

En la siguiente tabla se resumen las intensidades máximas que circulan por los feeders de cada subestación.

SUBESTACIÓN	Nº FEEDER	INTENSIDAD INSTANTÁNEA MÁXIMA (A)	INTENSIDAD EFICAZ MÁXIMA PERIODO 10 MIN (A)	INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE (A)
Hortaleza	1	2.360,15	802,65	1.653
	2	2.383,61	945,69	1.653
	3	2.357,16	611,86	1.653
	4	2.102,88	1.399,34	1.653
San Fernando	1	1.909,72	512,48	1.474,8
	2	2.148,77	1.303,78	1.474,8
	5	2.148,77	180,32	1.039,5
	6	2.438,02	648,96	1.039,5

Tal como se refleja en la tabla, la intensidad eficaz máxima en diez (10) minutos que circula por los feeders de alimentación de las subestaciones no supera en ningún instante la intensidad máxima admisible.

3.5.3.4. CONCLUSIÓN

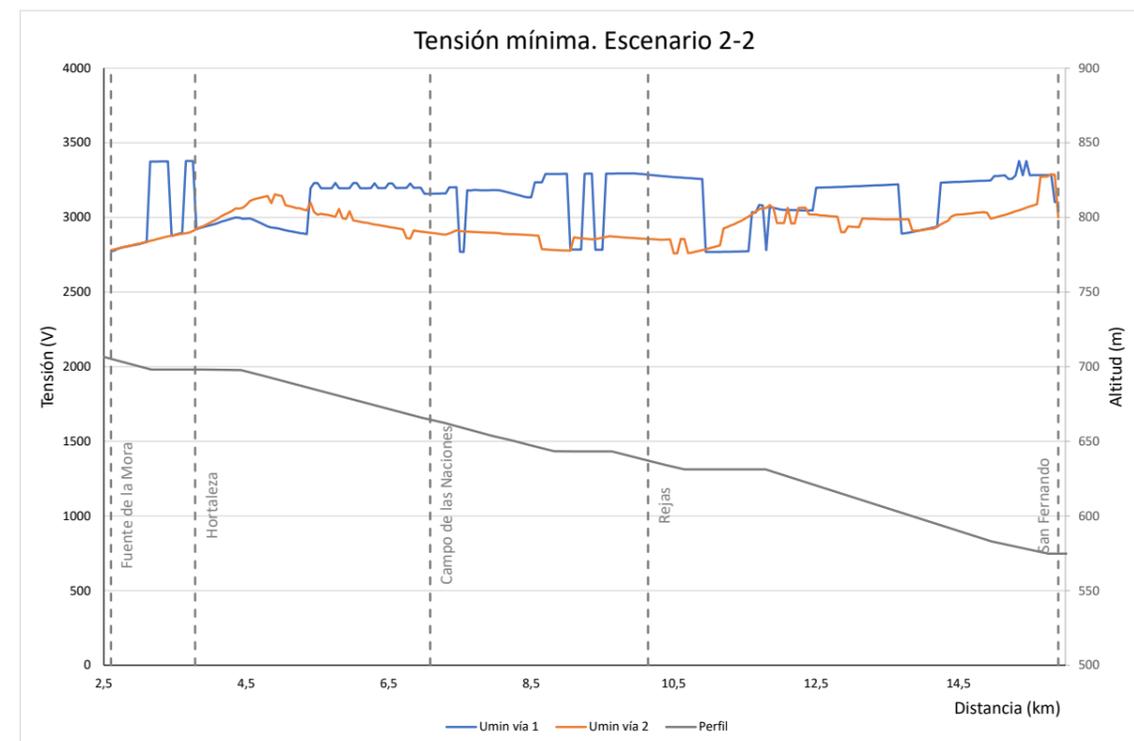
Como se ha podido comprobar, se puede asegurar el correcto funcionamiento del sistema para la explotación prevista, pero sería necesario sustituir los grupos de 3.000 kW instalados en la subestación de Hortaleza por grupos de 6.000 kW.

3.5.4. ESCENARIO 2-2

3.5.4.1. TENSIONES

3.5.4.1.1. TENSIÓN MÍNIMA

En la siguiente figura se resumen las tensiones mínimas en catenaria.



Como se puede observar, la tensión mínima en catenaria en este escenario está por encima del mínimo de 2.000 V permitidos por la normativa, siendo la mínima tensión obtenida 2.758,94 V.

3.5.4.1.2. TENSIÓN MEDIA ÚTIL DE TREN

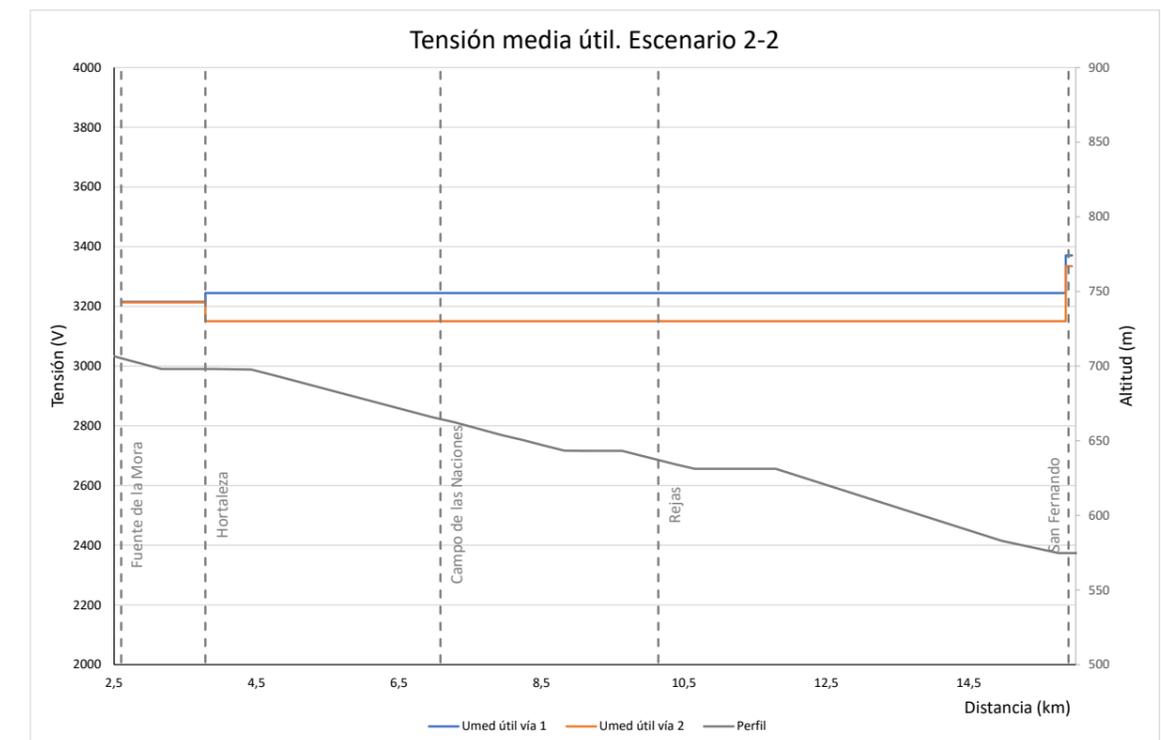
A continuación, se presenta la mínima tensión media útil de tren obtenida, con indicación del tren a que corresponde.

TREN	U MED ÚTIL MIN TREN (V)	SENTIDO
Mercancías	2.886,94	Fuente de la Mora – San Fernando

Según la normativa vigente, los valores mínimos para la tensión media útil en el pantógrafo en condiciones de funcionamiento normales deben ser mayores a 2.700 V. Como se puede comprobar, en las condiciones de funcionamiento estudiadas las tensiones medias útiles mínimas en el pantógrafo se encuentran dentro del rango permitido.

3.5.4.1.3. TENSIÓN MEDIA ÚTIL DE ZONA

A continuación, se muestran las tensiones medias útiles de cada zona estudiada.



Según la normativa vigente, los valores mínimos para la tensión media útil de zona en condiciones de funcionamiento normales deben ser mayores a 2.700 V. Como se puede comprobar, en las condiciones de funcionamiento estudiadas las tensiones medias útiles mínimas de zona se encuentran dentro del rango permitido, siendo sus valores los mostrados en la siguiente tabla.

TRAMO	VÍA	U MEDIA ÚTIL MÍNIMA (V)
Fuente de la Mora - SE Hortaleza	2	3.213,40
SE Hortaleza – SE San Fernando	2	3.150,28
SE San Fernando – San Fernando	2	3.334,52

Teniendo en cuenta los resultados mostrados en cuanto a tensiones medias útiles, las unidades pueden circular sin limitación de la potencia que demandan de la catenaria y se cumple lo establecido en la UNE-EN 50388 y el apéndice C de la ETI de Energía de 2104 al respecto de la tensión en catenaria y la tensión media útil en pantógrafo.

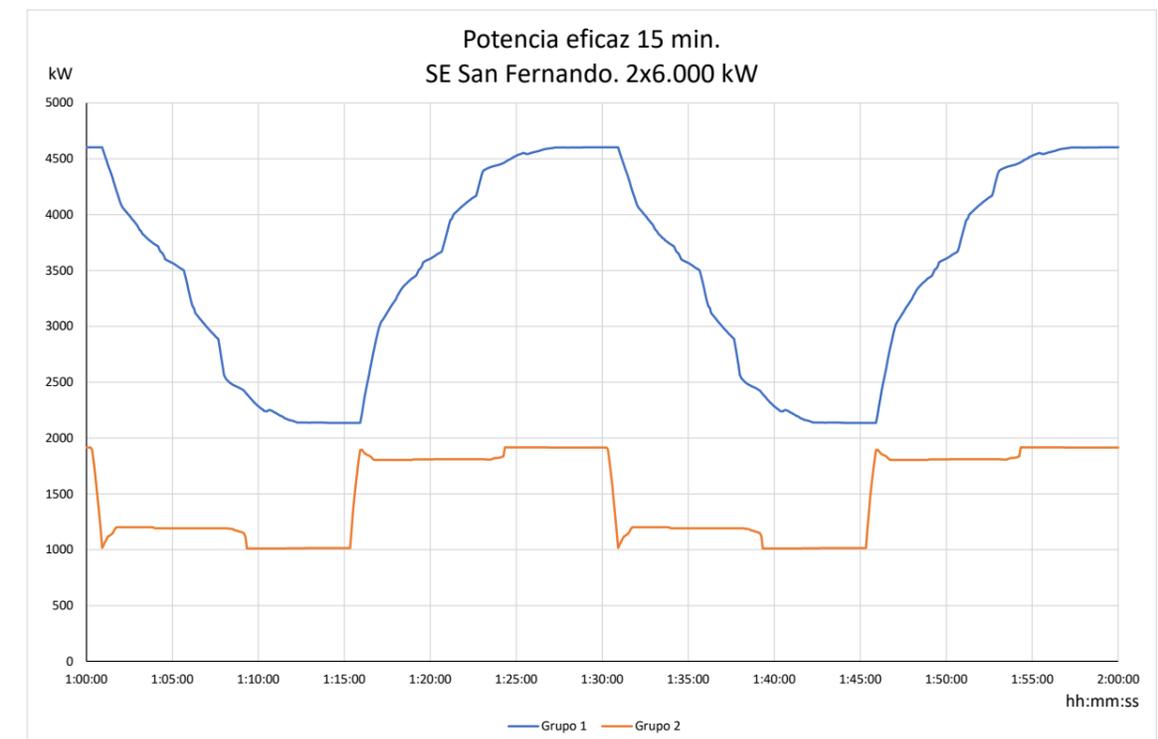
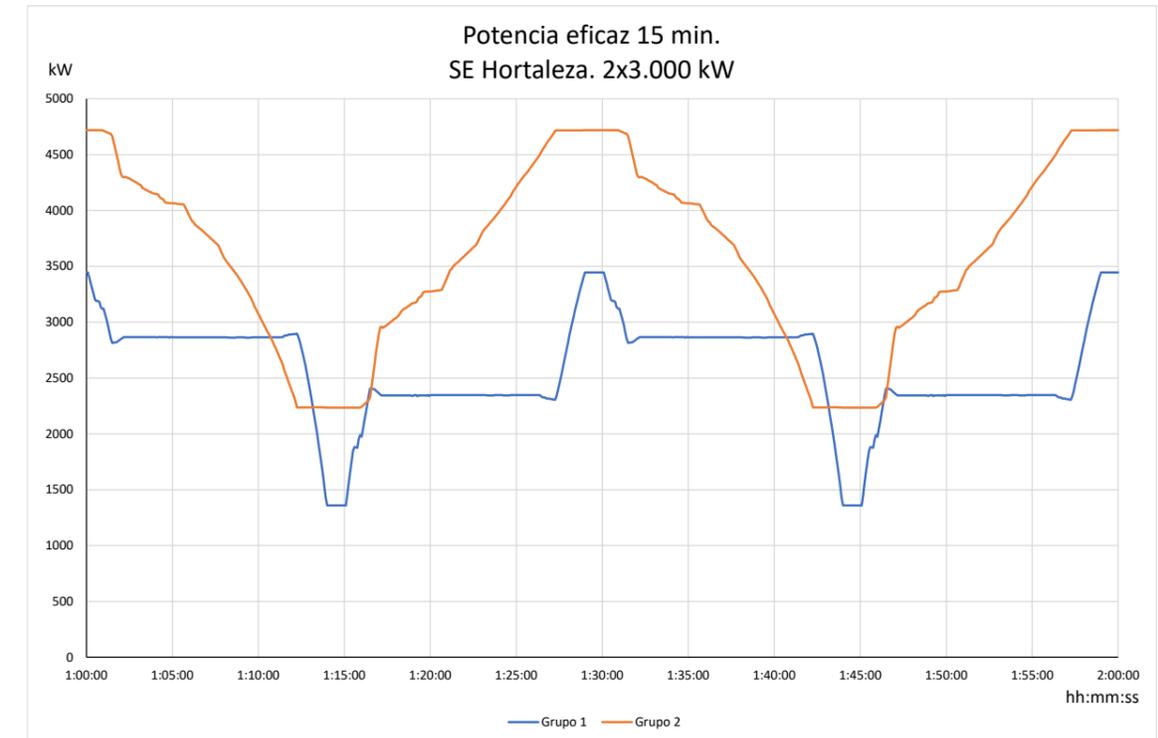
3.5.4.2. POTENCIAS

La siguiente tabla resume las potencias máximas demandadas a cada transformador de tracción de cada subestación

SUBESTACIÓN	GRUPO	POTENCIA INSTANTÁNEA MÁXIMA (kW)	POTENCIA EFICAZ MÁXIMA PERIODO 1 MIN (kW)	POTENCIA EFICAZ MÁXIMA PERIODO 15 MIN (kW)	POTENCIA INSTALADA (kW)
SE Hortaleza	1	8.105,62	7.829,83	3.445,06	3.000
	2	10.009,98	7.905,01	4.719,24	3.000
SE San Fernando	1	9.014,66	8.166,47	4.602,91	6.000
	2	8.290,34	6.404,62	1.916,42	6.000

Como puede observarse en esta tabla, la potencia demandada por grupo en la subestación de Hortaleza supera a la potencia instalada, con lo que en esta subestación sería necesaria la sustitución de los grupos de 3.000 kW existentes por otros de 6.000 kW.

A continuación, se aportan sendas representaciones gráficas de la potencia media cuadrática integrada a 15 minutos demandada de las subestaciones. En ambos casos se muestra la potencia eficaz correspondiente a cada uno de los grupos, pese a que en el caso de la subestación de Hortaleza los grupos estén actualmente funcionando en paralelo, ya que como ya se ha explicado sería necesario sustituirlos por grupos de 6.000 kW que no funcionarían en paralelo.



3.5.4.3. INTENSIDADES

En la siguiente tabla se resumen las intensidades máximas que circulan por los feeders de cada subestación.

SUBESTACIÓN	Nº FEEDER	INTENSIDAD INSTANTÁNEA MÁXIMA (A)	INTENSIDAD EFICAZ MÁXIMA PERIODO 10 MIN (A)	INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE (A)
Hortaleza	1	2.360,15	802,65	1.653
	2	2.383,40	945,43	1.653
	3	2.349,04	613,06	1.653
	4	2.095,67	1.393,98	1.653
San Fernando	1	1.919,48	523,53	1.474,8
	2	2.180,21	1.302,19	1.474,8
	5	2.416,56	207,79	1.039,5
	6	2.438,02	648,95	1.039,5

Tal como se refleja en la tabla, la intensidad eficaz máxima en diez (10) minutos que circula por los feeders de alimentación de las subestaciones no supera en ningún instante la intensidad máxima admisible.

3.6. RESUMEN

Tras analizar los diferentes escenarios resultantes de la combinación de las alternativas de ubicación de las nuevas estaciones de Campo de las Naciones y Rejas, se puede concluir que:

- En lo que a la electrificación de la línea se refiere, la ubicación de las nuevas estaciones en una u otra alternativa de ubicación no afecta a la explotación de la línea de contorno de los Cercanías de Madrid.
- En cualquiera de los casos, con los tráficos considerados resulta necesario aumentar la potencia instalada en la subestación de Hortaleza, ya que los grupos actualmente instalados de 3.000 kW resultan insuficientes. Se hace, por tanto, necesario sustituir dichos grupos por grupos de 6.000 kW.

4. SUBESTACIONES DE TRACCIÓN

4.1. ACTUACIONES

Según se desprende de los resultados arrojados por el estudio de potencia, es recomendable la ampliación de potencia de la subestación de tracción de Hortaleza.

Básicamente, la ampliación de potencia consistirá en la sustitución de los grupos de tracción actuales de 3 MW por otros de 6 MW. 3 y 6 MW son los posibles escalones de potencia de los grupos de tracción de acuerdo con lo establecido por las Especificaciones Técnicas de ADIF aplicables relativas a transformadores y rectificadores de tracción:

- ET 03.359.121.5. E.T. Transformadores de potencia de tipo seco para subestaciones de tracción de 3,3, kV de corriente continua. Según esta E.T., las posibles potencias aparentes asignadas son 3,3 y 6,6 MVA.
- ET 03.359.104.1. E.T. Grupos rectificadores de 3000 y 6000 kW para subestaciones de tracción convencionales. Según esta E.T., las posibles potencias asignadas son 3 y 6 MW.

En los apartados a continuación se describe con más detalle las actuaciones a realizar.

4.2. ESTADO ACTUAL DE LA SUBESTACIÓN DE HORTALEZA

El equipamiento principal de la subestación, así como sus características técnicas principales del mismo se indican a continuación:

- 2. Acometidas aisladas, líneas L-1 y L-2, RHZ1 12/20 kV 3x(1x240) Cu mm², de tensión nominal 15 kV, longitud 1274 m, con origen la red de distribución de Unión Fenosa:
- Conjunto de cabinas de corriente alterna, de tensión e intensidad asignadas 24 kV y 630 A respectivamente:
 - 2. Cabinas de llegada de línea de acometida.
 - 1. Cabina de medida.
 - 2. Cabinas de protección de grupo transformador-rectificador de 3.300 kVA
 - 1. Cabina de protección de transformador de servicios auxiliares de 250 kVA.

- 2. Transformadores de potencia de tipo seco. Potencia nominal 3.300 kVA, potencias secundaria y terciaria 1.650 kVA, tensión primaria 15 kV, tensión secundaria y terciaria 1.300 V, conexión Yy0-Yd11 y refrigeración ONAN.
- 2. Rectificadores de potencia de diodos de silicio constituido por 2 puentes GRAETZ trifásicos en serie. Potencia nominal 3.000 kW, intensidad nominal de 910 A y tensión 3.300 V.
- 2. Bobinas de aplanamiento del rizado de la tensión continua de inductancia 0,6 mH, corriente continua permanente asignada 909 A
- 2. Filtros de armónicos. Constituido por impedancias sintonizadas para el filtrado de armónicos de las frecuencias 600 y 1.200 Hz;
- Conjunto de cabinas de corriente continua, de tensión asignada 3,6 kV:
 - 2. Cabinas para seccionamiento de grupos 1 y 2. Cada cabina contiene un seccionador monopolar de tensión de aislamiento frecuencia industrial 15 kV e intensidad nominal 3.300 A, accionamiento manual con motor alimentado a 110 Vcc.
 - 1. Cabina para acoplamiento de barra ómnibus. Contiene un seccionador monopolar de tensión de aislamiento 12 kV e intensidad nominal 3.300 A, accionamiento manual con motor alimentado a 110 Vcc.
 - 4. Cabinas de salida de feeder. Su equipo principal es el disyuntor extrarrápido con tensión nominal 4.000 Vcc e intensidad 3.000 A.
- Pórtico de "feeder" tiene 4 salidas de feeder equipadas. Cada salida está dotada de un seccionador unipolar de salida de feeder y un unipolar seccionador de conexión con la barra de "BYPASS". Ambos seccionadores disponen de accionamiento eléctrico, son de tensión de aislamiento 12 kV e intensidad nominal 3.150 A.
- Los servicios auxiliares de la subestación están constituidos por:
 - 1. Cabina de acometida a transformador de servicios auxiliares. (Antes mencionada).
 - 1. Transformador de servicios auxiliares. Potencia asignada 250 KVA, grupo de conexión Dyn11 y relación de transformación 15 kV / 240 V, refrigeración AN.
 - 1. Cuadro de distribución y protección en BT de SSAA.
 - 1. Cuadro de servicios auxiliares de corriente alterna, 230 Vca.
 - 1. Cuadro de servicios auxiliares de corriente continua, 110 Vcc.
 - 1. Armario de cargador de batería y batería 110 Vcc.

4.3. ESTADO REFORMADO DE LA SUBESTACIÓN DE HORTALEZA

La ampliación de potencia indicada va a suponer principalmente la sustitución de parte del equipamiento de la subestación, por otro capaz de transportar la nueva potencia, y la realización de otras pequeñas actuaciones necesarias para la instalación y puesta en servicio del nuevo equipamiento.

4.3.1. EQUIPAMIENTO A SUSTITUIR POR LA AMPLIACIÓN DE POTENCIA

El equipamiento que habrá de sustituirse por la ampliación de potencia antes descrita es:

- 2. Transformadores de potencia 3,3 MVA. Se sustituirán por otros de 6,6 MVA.
- 2. Rectificadores de potencia 3 MW. Serán sustituidos por rectificadores de 6 MW.
- 2. Bobinas de aplanamiento del rizado de la tensión continua de inductancia 0,6 mH para grupos de tracción de 3000 KW, corriente continua permanente asignada 909 A. Se instalarán en su lugar otras de características similares, pero para grupos de tracción de 6000 KW y corriente continua permanente asignada 1.818 A.
- 2. Filtros de armónicos. Constituido por impedancias sintonizadas para el filtrado de armónicos de las frecuencias 600 y 1.200 Hz. Los filtros actuales, dadas sus características técnicas, serían válidos para la futura situación de ampliación de potencia, no obstante, se recomienda su instalación por las posibles afecciones durante el desmontaje y montaje del equipamiento existente, y los posibles requerimientos de espacio dado el mayor volumen de los nuevos equipos a instalar en las salas de los rectificadores.
- Líneas eléctricas afectadas por la ampliación de potencia:
 - Líneas entre transformadores de potencia y rectificadores.
 - Líneas entre rectificadores y cabinas de corriente continua.

En los apartados a continuación se describen las características técnicas del nuevo equipamiento a instalar.

4.3.1.1. TRANSFORMADORES DE POTENCIA 6,6 MVA

Las características técnicas de los 2 nuevos transformadores a instalar son:

- | | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| • Potencia asignada | 6.600 kVA. |
| • Potencia secundaria y terciaria | 3.300 - 3.300 kVA. |
| • Tensión primaria | 15 (-7%-3,5% / +3,5%+7%) kV. |
| • Tensión secundaria y terciaria | 1.300-1.300 V. |

- Conexión Yy0-Yd11.
- Tensión de cortocircuito:
 - Entre primario y secundario en triángulo: 8,5%.
 - Entre primario y secundario en estrella: 8,5%.
 - Entre primario y ambos secundarios: 10%.
- Refrigeración AN.
- Regulación En vacío.

El transformador deberá cumplir la Especificación Técnica: ET 03.359.121.5 "Transformadores de potencia de tipo seco para subestaciones de tracción de 3,3 kV de corriente continua" en vigor.

4.3.1.2. RECTIFICADORES DE TRACCIÓN 6 MW

Las características técnicas de los 2 nuevos transformadores a instalar son:

- Potencia asignada 6 MW.
- Tensión nominal: 3,3 kV.
- Intensidad nominal: 1818 A.
- Tensión de salida media: 3510 V.
- Tensión de salida máxima: 3549 V.
- Tensión de salida mínima: 3432 V.
- Conexión Dos puentes trifásicos Graetz (Montaje nº12 de la Tabla 4 de la Norma UNE-EN 50328).

Estará de acuerdo con la especificación técnica de ADIF E.T. 03.359.104.1 "Grupos Rectificadores de 3.000 y 6.000 kW para Subestaciones de Tracción Eléctrica de Líneas Convencionales".

4.3.1.3. BOBINA DE APLANAMIENTO

Las características técnicas de las 2 nuevas bobinas de aplanamiento (o alisamiento) a instalar son las indicadas a continuación:

- Tensión asignada 3,3 kV.
- Tensión asignada de aislamiento 4,8 kV.
- Corriente continua permanente asignada (Id): 1.818 A (potencia del rectificador asociado 6.000 kW)

- Clase de servicio: IXA (Tabla A.1 de la norma UNE-EN 50329 tomando IBd = IN)
- Inductancia incremental asignada 0,6 mH.
- Conexión Yy0-Yd11
- Tensión de cortocircuito:

Las bobinas de aplanamiento estarán formadas por pletinas de aluminio o cobre de 80 x 10 mm pintadas con aislamiento para 15 kV y autoinducción del orden de 0,6 mH, si bien su valor definitivo se obtendrá con el acoplamiento de los filtros.

La bobina será de ejecución al aire con una intensidad de 1.818 A. Las sobrecargas previstas que pueden soportar son las mismas que las del rectificador.

Habrán de cumplir la Especificación Técnica ET 03.359.115.7 "Bobina de Alisamiento para Subestaciones de Tracción de Corriente Continua" en vigor.

4.3.1.4. FILTROS DE ARMÓNICOS

Los filtros de armónicos a instalar estarán constituidos por una bobina de autoinducción con núcleo de aire y un conjunto de circuitos sintonizados para el filtrado de armónicos correspondientes a las frecuencias de 600 - 1.200 Hz, con la bobina conectada en el positivo. Las normas de construcción, proyecto y ensayo serán las CEI 233.

Las bobinas de los circuitos sintonizados serán de núcleo de aire, y una resistencia de valor adecuado, configurarán la característica de amortiguamiento, para tener en cuenta las variaciones admisibles, que tienen lugar en la frecuencia de la tensión de alimentación en alterna de la subestación. Las normas de construcción, proyecto y ensayo serán las CEI 76, 2ª edición. La tensión perturbadora será inferior al 0,5 % de la tensión en vacío del grupo rectificador.

El filtro de 1.200 Hz se compondrá de una bobina de 1,76 mH, 20 A y un condensador en serie de 10 µF. El filtro de 600 Hz se compondrá de una bobina de 1,76 mH, 60 A en serie con el paralelo de 2 condensadores de 20 µF cada uno.

4.3.1.5. LÍNEAS ELÉCTRICAS AFECTADAS POR LA AMPLIACIÓN DE POTENCIA

Dados los resultados de potencia demandada por la subestación arrojados por el estudio de potencia realizado, se considera que no es necesaria la sustitución de las actuales acometidas a la subestación, y que en todo caso esta circunstancia habrá de ser revisada a futuro en el supuesto de ampliaciones del tráfico ferroviario.

No obstante, sí habrán de reforzarse las siguientes líneas:

Líneas entre transformadores y rectificadores

Las dos líneas que conectan en la actualidad cada transformadores con el rectificador en serie son: RZ1 6/10 kV 6x(2(1x300)) mm² Cu y habrán de reforzarse para duplicar la sección al deberse de transportar también el doble de potencia, de tal forma que se añadirán 2 conductores de 300 mm² en cada una de las 6 fases, resultando una línea final RZ1 6/10 kV 6x(4x(1x300)) mm² Cu.

Líneas entre rectificadores y cabinas de corriente continua

Las líneas que forman el positivo, que conectan en la actualidad cada rectificador con las cabinas de corriente continua es RZ1 6/10 kV 3(1x300) mm² Cu y habrán de reforzarse para duplicar la sección al deberse de transportar también el doble de potencia, de tal forma que se añadirán 3 conductores de 300 mm², resultando una línea final RZ1 6/10 kV 6x(1x300) mm² Cu.

Igualmente se duplicará la sección del negativo del rectificador, línea que conecta el negativo del rectificador con el armario de negativos de la subestación. Por tanto, partiéndose de una línea RZ1 0,6/1 kV 3(1x300) mm² Cu, se añadirán conductores unipolares aislados para disponer en el estado final de mayor potencia de 2 líneas, una por rectificador: RZ1 0,6/1 kV 6x(1x300) mm² Cu

4.3.2. ACTUACIONES NECESARIAS PARA LA INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO DEL NUEVO EQUIPAMIENTO

Tal y como se adelantaba, se requieren una serie de actuaciones para la instalación y puesta en servicio del nuevo equipamiento a instalar, éstas son:

- Modificación del software, reprogramación, del gestor de protecciones. Debido a que, en la situación futura, instalados 2 grupos transformador – rectificador de 6 MW, éstos no podrán ponerse en paralelo.
- Reajuste de las protecciones existentes a la nueva potencia instalada.

- Adecuación de las redes de masas de las salas de los rectificadores.
- Desmontaje y posterior montaje de los relés de cuba de los transformadores de potencia.

4.3.2.1. MODIFICACIÓN DEL SOFTWARE, REPROGRAMACIÓN, DEL GESTOR DE PROTECCIONES

Habrán de modificarse el software actual del gestor de protecciones instalado en la subestación para tener en cuenta la instalación de 2 grupos transformador – rectificador de 6 MW, e impida la posibilidad de su puesta en paralelo.

4.3.2.2. REAJUSTE DE LAS PROTECCIONES EXISTENTES A LA NUEVA POTENCIA INSTALADA

Dada la nueva potencia de los grupos transformador – rectificador, habrán de ajustarse las protecciones de intensidad de modo que éstas permitan el transporte de la mayor potencia futura, no actuando frente a funcionamientos diferentes a fallos, y contemplen una mayor intensidad de cortocircuito aguas debajo de cada grupo transformador – rectificador.

4.3.2.3. ADECUACIÓN DE LAS REDES DE MASAS DE LAS SALAS DE LOS RECTIFICADORES

Habrán de realizarse pequeños desmontajes, y montajes posteriores para adaptar la red de masas instalada en ambas salas de los rectificadores a los nuevos equipos de mayor potencia

4.3.2.4. DESMONTAJE Y POSTERIOR MONTAJE DE LOS RELÉS DE CUBA DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA

Los relés de cuba de los transformadores de potencia habrán de desmontarse y reinstalarse en los nuevos transformadores.