

---

**ESTUDIO DE POTENCIA**

**ANEJO 07**

**1. Introducción y objeto ..... 1**

**2. Descripción del tramo ferroviario objeto del estudio ..... 1**

2.1. Estaciones y apeaderos .....1

2.2. Sistema de electrificación.....2

2.3. Alimentación de tramo inicial.....2

2.4. Subestaciones de Tracción y Centros de Autotransformación .....3

**3. Normativa Aplicable ..... 5**

**4. Software de simulación utilizado ..... 6**

4.1. Datos de entrada.....6

4.2. Resultados obtenidos .....6

4.3. Características generales de cálculo.....7

4.3.1. Módulo de trazado de vías.....7

4.3.2. Módulo de tracción .....7

4.3.4. Análisis de la velocidad a lo largo del trazado .....8

4.3.5. Mallas de trenes .....8

4.3.6. Cálculos eléctricos.....8

4.3.7. Gráficas .....9

**5. Características eléctricas de la instalación ..... 10**

5.1. Línea de alimentación en alta tensión .....10

5.2. Resistencia óhmica de la catenaria .....10

5.3. Resistencia óhmica de los carriles .....10

**6. Situaciones a simular..... 11**

6.1. Situación normal.....11

6.2.	Situación degradada 1. Fallo SE Ronda Tramo Bobadilla-Ronda .....	11	11.1.	Situación normal de funcionamiento .....	21
6.3.	Situación degradada 2. Fallo SE Cártama LAV Córdoba-Málaga .....	12	11.1.1.	Tensión en el pantógrafo .....	21
6.4.	Situación degradada 3. Fallo SE La Roda LAV Córdoba-Málaga.....	12	11.1.2.	Tensión accesible .....	21
<b>7.</b>	<b>Trazado .....</b>	<b>13</b>	11.1.3.	Potencia subestaciones .....	22
7.1.	Limitaciones de velocidad.....	13	11.1.4.	Distribución de corriente en conductores.....	23
<b>8.</b>	<b>Material Móvil.....</b>	<b>14</b>	11.2.	Situación degradada 1. Fallo en SE Ronda. Tramo Bobadilla-Ronda.....	23
8.1.	Tren de mercancías Locomotora Serie 253.....	14	11.2.1.	Tensión en el pantógrafo .....	23
8.1.1.	Curva de tracción locomotora Serie 253 RENFE .....	15	11.2.2.	Tensión accesible .....	24
8.1.2.	Consumo Locomotora Serie 253 RENFE .....	15	11.2.3.	Potencia subestaciones .....	25
8.2.	Tren de pasajeros Serie S-130. Línea Bobadilla-Algeciras .....	16	11.2.4.	Distribución de corriente en conductores.....	25
8.2.1.	Curva de tracción locomotora S-130.....	16	11.3.	Situación degradada 2. Fallo en SE Cartama. Tramo Bobadilla-Ronda.....	26
8.2.2.	Consumo Locomotora S-130 RENFE .....	16	11.3.1.	Tensión en el pantógrafo .....	26
8.3.	Tren de pasajeros Serie S-130 en doble composición. LAV Córdoba-Málaga .....	17	11.3.2.	Tensión accesible .....	27
8.3.1.	Curva de tracción locomotora S-130 Doble composición.....	17	11.3.3.	Potencia subestaciones .....	28
8.3.2.	Consumo Locomotora S-130. Doble composición RENFE .....	17	11.3.4.	Distribución de corriente en conductores.....	28
<b>9.</b>	<b>Análisis de resultados de circulación.....</b>	<b>18</b>	11.4.	Situación degradada 3. Fallo en SE La Roda. Tramo Bobadilla-Ronda.....	29
9.1.	Malla de circulación Sector La Roda LAV Córdoba-Málaga .....	18	11.4.1.	Tensión en el pantógrafo .....	29
9.2.	Malla de circulación Tramo Bobadilla-Ronda.....	19	11.4.2.	Tensión accesible .....	30
9.3.	Funcionamiento subestaciones .....	19	11.4.3.	Potencia subestaciones .....	30
<b>10.</b>	<b>Resultados eléctricos .....</b>	<b>20</b>	11.4.4.	Distribución de corriente en conductores.....	31
<b>11.</b>	<b>Análisis simulaciones .....</b>	<b>21</b>	<b>12.</b>	<b>Intensidad de Cortocircuito .....</b>	<b>32</b>
			<b>13.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>33</b>

## 1. Introducción y objeto

El objeto del presente estudio consiste en presentar los resultados obtenidos de la simulación para el dimensionamiento eléctrico para el tramo comprendido entre Bobadilla-Ronda, perteneciente a la línea Bobadilla-Algeciras.

La línea Bobadilla-Algeciras es de vía única a lo largo de todo su recorrido, iniciándose en el cambio de sistema de alimentación en corriente continua que presenta la estación de Bobadilla y finaliza en la estación de Algeciras, con un total de 176,2 km. El tramo a estudio tiene una longitud total de 73,6 km y cinco estaciones (Bobadilla, Campillos, Almargen/Cañete la Real, Setenil y Ronda) y tres apeaderos (Teba, Atalaya y Parchite).

El sistema de electrificación del tramo Bobadilla-Ronda se realizará en corriente alterna con tensión nominal de 25 kV mediante catenaria tipo CA-200.

El análisis pretende reflejar tanto la descripción del modo de funcionamiento normal, como el modo degradado del sistema de alimentación de energía.

El estudio comprueba que se cumplen los requisitos, incluyendo cálculos y graficas de todas las magnitudes eléctricas:

- Tensión y frecuencia.
- Parámetros relacionados con el rendimiento del sistema de alimentación.
  - Corriente máxima de los trenes que forman la malla de explotación.
  - Factor de potencia y tensión útil media de los trenes que forman la malla de explotación.

## 2. Descripción del tramo ferroviario objeto del estudio

La línea Bobadilla-Algeciras forma parte del Corredor Atlántico y Mediterráneo de la Red Básica Transeuropea y actualmente consta de un trazado de 176,2 km en vía única en ancho ibérico.

### 2.1. Estaciones y apeaderos

A continuación, se presentan las paradas y ubicaciones de cada una de ellas:

- Estación de Bobadilla. P.K. 0+000.
- Estación de Campillos. P.K. 13+500.
- Apeadero de Teba. P.K. 21+300.
- Estación de Almargen/Cañete la Real. P.K. 30+300.
- Estación Setenil. P.K. 53+700.
- Apeadero Parchite. P.K. 60+000.
- Estación Ronda. P.K. 70+400.



Imagen 1. Esquema Tramo Bobadilla-Ronda.

## 2.2. Sistema de electrificación

El sistema de electrificación planteado en el tramo Bobadilla-Ronda se realiza en corriente alterna con tensión nominal de 25 kV, mediante catenaria tipo CA-200, con velocidad máxima de diseño de 200 km/h, que se define por las siguientes características generales:

- Es un sistema de catenaria simple poligonal atirantado en todos los perfiles, vertical, con flecha en el hilo de contacto y formada por un sustentador, un hilo de contacto y péndolas equipotenciales, compensada mecánicamente y apta para circular a 200 km/h.
- Dispone de un sistema de compensación mecánica de forma independiente para el sustentador y el hilo de contacto.
- Está diseñada para sistemas de alimentación en 25 kV, 50 Hz, tanto en 1x25 kV como en 2x25 kV.

- Utiliza como sistema de retorno de tracción un cable de retorno aéreo y un carril principal de retorno. El cable de retorno utilizado es un cable de Aluminio – Acero LA 110 mm<sup>2</sup> (94AL1/22ST1A), acorde a la norma UNE-EN 50182.
- Cumple con las dimensiones de gálibo de acuerdo con la Orden FOM/1630/2015, de 14 de julio, por la que se aprueba la «Instrucción ferroviaria de gálibos».

La tipología de los conductores adoptada para la línea aérea de contacto CA-200/25 kV es la siguiente:

- Sustentador: Cable de Cobre de 95 mm<sup>2</sup>. C95 UNE-EN 207015:2013.
- Hilo de contacto: Cu Ag 0,1 BC-120 mm<sup>2</sup> UNE-EN 50149.
- Péndolas de bronce II de 16 mm<sup>2</sup>.

En los casos en los que se utilice el sistema de alimentación de 2x25 kV, como en el caso que nos ocupa, en la sección de feeder negativo se utilizará el conductor de Aluminio – Acero LA 280 (242AL1/39ST1A) UNE-EN 50182.

## 2.3. Alimentación de tramo inicial

Para realizar la alimentación en 2x25kV del tramo entre Bobadilla y el ATF 411.1 se proyecta el tendido de un feeder de alimentación proveniente del ATI 2.5 de la LAV Córdoba-Málaga.

Por lo tanto, se tendrán en cuenta para la presente simulación las cargas eléctricas producidas por la circulación de los trenes en la LAV Córdoba-Málaga entre la subestación de tracción de La Roda y el ATF 3.1.

CA-200 / 25kV		
Velocidad máxima de diseño	200	Km/h
Tensión de alimentación	25	kV
Pantógrafos admisibles	1600/1950	mm
<b>Hilo de Contacto</b>		
Tipo hilo contacto	BC-120 Cu Ag 0,1	
Sección	120	mm <sup>2</sup>
Número de hilos de contacto	1	
Tensión mecánica	1575	kgf
	1545	daN
<b>Cable sustentador</b>		
Tipo sustentador	Cu ETP	
Sección	95	mm <sup>2</sup>
Tensión mecánica	1575	Kgf
	1543	daN
<b>Falso sustentador / Péndola en Y</b>		
[ninguno]	-	
<b>Péndolas</b>		
Tipo de péndola	Bronce Flexible	
Sección	16	mm <sup>2</sup>
Número de péndolas (vano máximo)	7	
Distancia de la primera péndola al apoyo	6,0	m
Separación entre péndolas	8,0	m
Separación interior pareja	-	m
<b>Conjunto de atirantado</b>		
Longitud brazo atirantado (recta)	1000	mm
Aislador de atirantado	-	
<b>Ménsula y suspensión</b>		
Tipo de ménsula	Tubular aluminio	
Aislador de suspensión sustentador	-	
Aislador de ménsula y tirante	25kV	
<b>Postes</b>		
Tipo de poste	X-AV	
Gálibo del poste (recta)	dist. poste-carril	2,15 m
	dist. eje poste-eje vía IB	3,25 m
<b>Parámetros Geométricos</b>		
Vano máximo	60	m
Altura del sistema	1400	mm
Descentramiento	±20	cm
Flecha hilo contacto en centro del vano	0,4	‰
Altura del hilo de contacto	nominal	5300 mm
	máxima	6000 mm
	mínima	Variable según gálibo (UNE EN 50119:2010 apdo. 5.10.5)
<b>Seccionamientos</b>		
Separación	secc. compensación	250 mm
	sec. lamina aire fase-tierra	300 mm
	sec. lamina aire fase-fase	400 mm

Tabla 1. Parámetros geométricos de la catenaria CA-200/ 25kV.

## 2.4. Subestaciones de Tracción y Centros de Autotransformación

El modelo de subestación de tracción que se utilizará durante la simulación en tramo Bobadilla-Ronda estará compuesto por dos grupos transformadores de 30 MVA, donde uno actuará como grupo de reserva y el otro será el que alimente al sistema de catenaria, con la clase normalizada IXB, tal como se define ésta en el anexo A de la Norma UNE-EN 50329 (ET\_03.359.504.2.

Transformadores de potencia para subestaciones de tracción de líneas de alta Velocidad. Sistema 2 x 25 kV), considerando los siguientes niveles de sobrecarga admisibles:

- 100% de forma continuada.
- 200% durante 2 horas.
- 300% durante 5 minutos.

Por otro lado, los centros de autotransformación finales estarán formados por dos grupos transformadores de 10 MVA alimentado cada uno a un sector de tracción diferente, y los centros de autotransformación intermedios solo contarán con un grupo transformador de 10 MVA.

Las subestaciones de tracción y los centros de autotransformación estarán repartidos a lo largo de la línea Bobadilla-Algeciras según la ubicación que se muestra a continuación para cada una de ellas.

Centro	P.K.	Potencia Instalada
ATI 402.6	2+040	10 MVA
ATF 411.1	16+950	2X10 MVA
ATI 411.2	32+100	10 MVA
ATI 411.3	53+400	10 MVA
SE RONDA	66+650	2X30 MVA
ATI 411.4	76+180	10 MVA
ATI 411.5	87+310	10 MVA
ATF 412.1	100+200	2X10 MVA
ATI 412.2	118+900	10 MVA
ATI 412.3	134+820	10 MVA
SE MARCHENILLA	150+340	2X30 MVA
ATI 412.4	167+200	10 MVA
ATI 412.5	175+900	10 MVA

Tabla 2. Ubicación de las subestaciones de tracción y centros de autotransformación Bobadilla-Algeciras.

El ATF 412.1 supone una zona neutra y dividirá la línea en dos sectores de tracción: por un lado, el sector SE1. Ronda, que estará alimentado por la subestación de Ronda y que incluye desde el p.k. 16+950 hasta el p.k. 100+200; por otro lado, se encuentra el sector SE2. Marchenilla que estará alimentado por la subestación de Marchenilla y que incluye desde el p.k. 100+200 hasta el p.k. 175+900. Aunque este sector se encuentre fuera del trazado objeto del estudio ha de

tenerse en consideración para el estudio de las situaciones degradadas ya que en caso de fallo de una subestación el trazado es alimentado por las subestaciones colaterales.

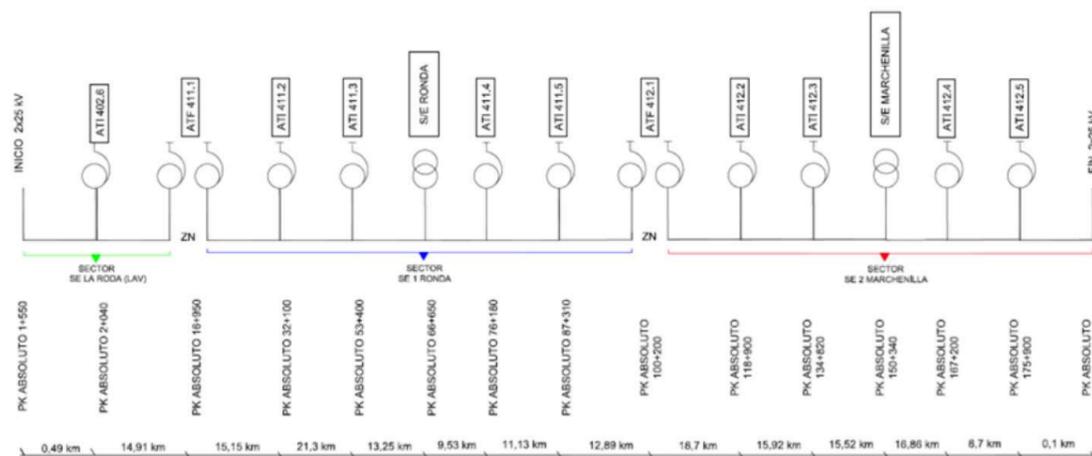


Imagen 2. Esquema ubicaciones elementos línea Bobadilla-Algeciras.

El primer tramo de la línea Bobadilla-Algeciras, desde su comienzo alimentado en 25 kV hasta el primer ATF 411.1 situado en el p.k. 16+950, estará alimentado desde la Línea de Alta Velocidad Córdoba-Málaga, en concreto a través del ATI 2.5. La Línea de Alta Velocidad presenta los siguientes autotransformadores y subestaciones:

Centro	P.K.	Potencia Instalada
ATI 1.1	3+700	10 MVA
SE ALMODÓVAR	10+600	2X60 MVA
ATI 1.2	20+591	10 MVA
ATI 1.3	31+891	10 MVA
ATF 2.1	40+705	2X60 MVA
ATI 2.2	52+055	10 MVA
ATI 2.3	63+139	10 MVA
SE LA RODA	74+739	2X60 MVA
ATI 2.4	84+702	10 MVA
ATI 2.5	96+492	10 MVA
ATF 3.1	105+246	2X10 MVA
ATI 3.2	116+550	10 MVA
ATI 3.3	127+577	10 MVA
SE CÁRTAMA	139+966	2X60 MVA
ATI 3.4	149+166	10 MVA

Tabla 3. Ubicación de las subestaciones de tracción y centros de autotransformación LAV CO-MA.

La zona que se va a utilizar en el estudio es la comprendida entre la zona neutra que supone la SE de La Roda, situada en el p.k. 74+739, y la zona neutra que supone la SE de Cártama, situada en el p.k. 139+966. En la siguiente ilustración se puede observar la disposición de los elementos en la línea de alta velocidad.

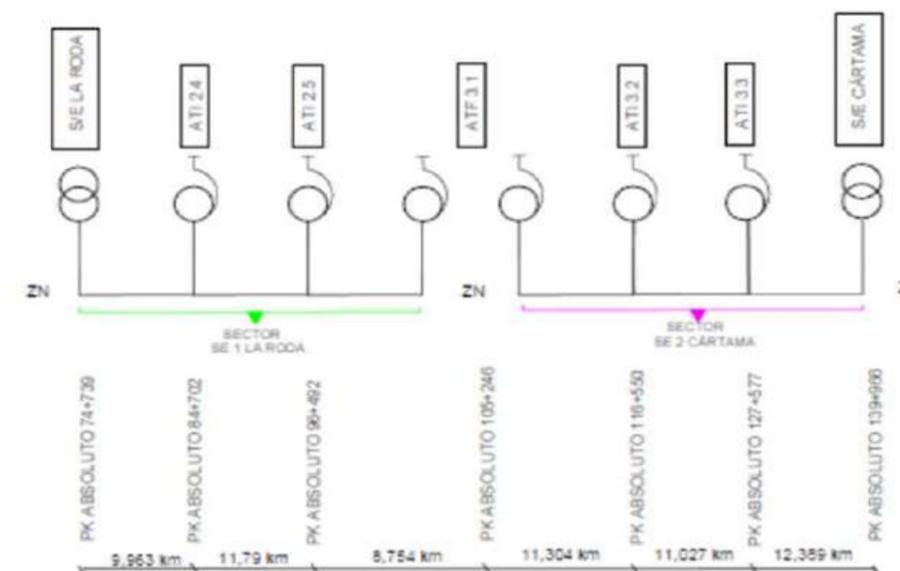


Imagen 3. Esquema ubicaciones elementos LAV Córdoba-Málaga.

Al igual que ocurría en el tramo Bobadilla-Ronda, se debe tener en cuenta las subestaciones colaterales para las situaciones degradadas, aunque éstas estén situadas fuera del ámbito de estudio.

El modelo de subestación de tracción que se utilizará durante la simulación en la Línea de Alta Velocidad Córdoba-Málaga estará compuesto por dos grupos transformadores de 60 MVA, funcionando los dos en paralelo alimentando cada uno un sector eléctrico diferente, con la clase normalizada IXB, tal como se define ésta en el anexo A de la Norma UNE-EN 50329 (ET\_03.359.504.2. Transformadores de potencia para subestaciones de tracción de líneas de Alta Velocidad. Sistema 2 x 25 kV), considerando los siguientes niveles de sobrecarga admisibles:

- 100% de forma continua.

- 200% durante 2 horas.
- 300% durante 5 minutos.

Por otro lado, los centros de autotransformación finales estarán formados por dos grupos transformadores de 10 MVA alimentando cada uno a un sector de tracción diferente, y los centros de autotransformación diferente, y los centros de autotransformación intermedios sólo contarán con un grupo transformador de 10 MVA.

### 3. Normativa Aplicable

Este estudio se ha realizado teniendo en cuenta la siguiente normativa y recomendaciones técnicas:

- Norma EN 50.163:2005/AC:2013 fija los valores límite para la tensión de alimentación a pantógrafo. Esta norma indica que, para la tensión nominal de 25 kV en corriente alterna, el valor de la tensión mínima de forma permanente es de 17.500 V y el valor de la tensión máxima es de 27.500 V. (ficha 600 OR de la UIC, 3ª edición de 1981).

Tensión mínima no permanente	Tensión mínima permanente	Tensión nominal	Tensión máxima permanente	Tensión máxima no permanente
$U_{min2}$	$U_{min1}$	$U_n$	$U_{max1}$	$U_{max2}$
17.500 <sup>(1)</sup>	19.000	25.000	27.500	29.000 <sup>(2)</sup>

Tabla 4. Rango de tensiones permitidas por normativa.

(1) Las tensiones entre  $U_{min1}$  y  $U_{min2}$  no durarán más de dos minutos.

(2) Las tensiones entre  $U_{max1}$  y  $U_{max2}$  no durarán más de cinco minutos.

La tensión del carril de conexiones (barra ómnibus) en la subestación con todos los disyuntores abiertos será igual o menor que  $U_{max1}$ .

Los condicionantes para el estudio de potencia vienen impuestos por la normativa aplicable a las instalaciones. En resumen, la normativa aplicable a las instalaciones indica:

- UNE EN 50329:2004. Aplicaciones ferroviarias. Subestaciones de tracción. Indica que los grupos de las subestaciones de tracción pesada (clase VI) deberán ser capaces de soportar la carga nominal continuamente, 1,5 veces la carga nominal durante 2 h y 3 veces la carga nominal durante 1 min.
  - Para dimensionar la potencia de los grupos rectificadores en base a esta norma se da la potencia eficaz en períodos de 15 min, de forma que la potencia nominal de los grupos sea siempre superior a la eficaz en 15 min.

- La recomendación UIC 798 indica que la capacidad de carga nominal de un cable debe ser siempre superior a la intensidad eficaz entre 30 s y 20 min, recomendando 10 min. Por ello se incluye la intensidad máxima eficaz en períodos de 10 min por feeder, la cual debe ser siempre inferior a la intensidad máxima admisible.
- Norma EN 50122-1. Aplicaciones al ferrocarril. Instalaciones Fijas. Medidas de protección relativas a seguridad eléctrica y puestas a tierra.

Para los estudios de simulación de cargas, se utilizará como valor de tensión en vacío 27.500 V. Este valor significa que cuando no exista ningún consumo, la tensión de catenaria será de 27.500 V, adoptándose dicho valor como máximo permanente para los cálculos.

Este valor permite reducir las pérdidas en la catenaria obteniendo el máximo aprovechamiento de la potencia suministrada por la subestación de tracción.

## 4. Software de simulación utilizado



**CECAT®** es un software diseñado y realizado por la empresa española **e2f** (Electrificación y Estudios Ferroviarios S.L.) para la realización de Estudios de Dimensionamiento Eléctrico de instalaciones ferroviarias en corriente continua (750V, 1500V, y 3000V) y en corriente alterna (1x25 kV y 2x25 kV). Las simulaciones son posibles para todo tipo de catenaria, flexible, rígida y tercer carril, empezando a utilizarse la primera versión operativa en 2010. **CECAT®** está sujeto al sistema de calidad propio de e2f, con la realización de continuos chequeos sobre sus resultados, así como en algunas situaciones reales de montaje.

Los parámetros de entrada y resultados obtenidos por **CECAT®** en los estudios de dimensionamiento eléctrico son los siguientes:

### 4.1. Datos de entrada

- Tramo ferroviario (rampas, pendientes, peraltes, limitaciones de velocidad, rectas, curvas de transición, etc).
- Material rodante (curva de tracción y frenado, capacidad de regeneración, ecuación de resistencia al avance, masa del tren, peso, tara, rendimiento, potencia eléctrica, etc).
- Malla de circulación, frecuencia, tipos de trenes, paradas, velocidad máxima, etc.
- Características eléctricas de las instalaciones: Potencia de las subestaciones de tracción, tipos de conductores utilizados, temperatura de funcionamiento, impedancias, etc.

### 4.2. Resultados obtenidos

- Corriente de cortocircuito y tensiones asociadas.
- Tensiones pantógrafo.

- Intensidad de corriente por cada uno de los conductores de la catenaria (instantáneo y eficaz).
- Potencia instantánea y eficaz de las subestaciones de tracción.
- Situaciones degradadas, etc.

El software **CECAT®** realiza cada segundo de tiempo, la resolución del circuito eléctrico equivalente formado por las catenarias, las vías (consideradas estas como circuito de retorno por sí solas o reforzadas mediante conductores), las subestaciones de tracción y los trenes, considerados estos como cargas conforme se van desplazando a lo largo de la vía y teniendo en cuenta la temperatura de los conductores. Este software ha sido utilizado en multitud de simulaciones desde hace más de diez años, estando en un proceso de mejora y ampliación de prestaciones continuo, agregando nuevas funcionalidades en función de las necesidades.

#### 4.3. Características generales de cálculo

El software para el control de marcha de los trenes denominado CECAT® es propiedad de Electrificación y Estudios Ferroviarios S.L., y está protegido por la patente con número de asiento registral 00/2012/813.

Este software dispone de los siguientes módulos de cálculo:

- Módulo de trazado de vías.
- Módulo de tracción.
- Módulo de catenarias.
- Módulo de vías.
- Módulo de subestaciones.
- Módulo de frecuencia y horarios.

Estos Módulos sirven para recoger los datos de entrada, que después sern procesados en los módulos de:

- Módulo de cálculo de dinámica de trenes.
- Módulo de cálculo eléctrico.

##### 4.3.1. Módulo de trazado de vías

Este módulo recoge los datos necesarios para el trazado y características de las vías entre los que se destacan los siguientes:

- P.K. de inicio y fin de trazado.
- P.K. de inicio y fin de curva de transición con indicación de parámetro de curva.
- P.K. de inicio y final de curva circular con indicación de radio y peralte.
- P.K. de inicio y final de rampa pendiente con parámetros de curva.
- P.K. de las estaciones, paradas y puntos singulares.
- Limitaciones de velocidad permanentes o temporales del trazado.
- P.K. de inicio y final de los túneles.
- Velocidad máxima del trazado.

Los cálculos que realiza el programa **CECAT®**, parten de los datos del trazado de la línea, con sus curvas, peraltes, pendientes, rampas, etc., datos que son introducidos en el programa mediante los formatos comerciales como pueden ser a partir de ISSPOL, mediante una tabla Excel, o incluso manualmente, con la precisión necesaria que puede ser cada 5, 10, 20 m o cualquier otro intervalo de espacio que se considere.

##### 4.3.2. Módulo de tracción

Mediante el módulo de tracción, se introducen los trenes con sus características de peso, potencia de tracción, potencia de servicios auxiliares, aceleraciones y curvas de esfuerzo tractor y resistencia. Disponiendo este módulo de las facilidades adecuadas para la introducción de estos datos. CECAT®, dispone de una base de datos acumulada a través de las simulaciones realizadas de las curvas de tracción y frenado de muchos de los trenes o tranvías que se encuentran actualmente en circulación, así como facilidad para incorporar nuevas curvas de

trenes o modificación de las existentes. Todo ello tanto para composiciones fijas como deformables (maquina con vagones).

A partir de los datos, de la vía, y de los trenes, y de las frecuencias de circulación, se establece la malla de circulación de trenes, en los que se puede establecer por frecuencias, o trenes con horario determinado, con indicación de las paradas en su caso. Así como la posible existencia de ramales intermedios de bifurcación.

El número de propiedades necesarias para simular la dinámica de los trenes, se obtiene a partir de la fuerza que puede ser ejercida de acuerdo con la potencia de la locomotora (o del tren automotor), la curva de tracción y freno, los coeficientes específicos de resistencia al avance, el peralte, la pendiente y la curva de la vía, las aceleraciones, etc., Toda esta serie de factores nos permite realizar una recreación fiel a la realidad de la dinámica del movimiento y física de los trenes así como la potencia necesaria en cada momento por el motor de tracción.

#### 4.3.3. Módulo de cálculo de la dinámica de los trenes

Para cada instante analizo con este módulo se obtienen los datos de posición y potencia mecánica demanda para cada uno de los trenes que están circulando por el trayecto. Estos datos del tren en cada uno de los momentos considerados (intervalos de tiempo) son los de entrada para el módulo siguiente, en caso de tratarse de instalaciones electrificadas.

#### 4.3.4. Análisis de la velocidad a lo largo del trazado

Este primer apartado determina cual es la velocidad máxima permitida en cada uno de los puntos de la línea, en función del radio, y el peralte de las curvas circulares, así como de las de transición.

Estos datos de velocidad máxima nos servirán para que el programa vaya chequeando en todo momento, que el tren no supera la velocidad máxima permitida en cada punto de la línea, y que las aceleraciones y desaceleraciones en las paradas o limitaciones de velocidad se hacen de acuerdo con el valor de consigna establecido, que a su vez estos valores serán iguales o menores que lo sindicados en las características del tren.

#### 4.3.5. Mallas de trenes

A partir del fichero de trenes, que contiene tanto los trenes de mercancías definidos con indicación de su locomotora, toneladas remolcadas, número de ejes, longitud, velocidad máxima del tren, etc., se genera la malla de circulación de trenes. Para ello se van eligiendo los trenes del fichero de trenes y asignándoles los horarios de salida, y tiempo de parada en su caso por las estaciones. Los trenes se podrán asignar por horario de forma individual o bien por frecuencia (caso de trenes de cercanías).

Una vez introducidos los datos de los trenes, el programa se encuentra en condiciones de simular la marcha de los mismos, y obtener en cada uno de los puntos, la potencia necesaria para la tracción, incluida con los servicios auxiliares en su caso.

#### 4.3.6. Cálculos eléctricos

Tenemos entonces cada uno de los trenes que conforman la malla de circulación distribuidos en el espacio del tramo que estamos analizando y que necesitan de una determinada potencia mecánica para su desplazamiento.

Asociamos ahora la potencia mecánica necesaria para mover el tren a una carga eléctrica, con su correspondiente factor de rendimiento, y el sistema se transforma en un circuito eléctrico formado por:

- Las subestaciones de tracción que actúan como fuentes de corriente con una determinada impedancia interna asociada (previamente calculada).
- Las catenarias de cada una de las vías, formadas por sus respectivos conductores con sus impedancias correspondiente en función de la distribución espacial, de la frecuencia y de la resistividad de los terrenos.
- Y por otra parte las cargas que en cada momento se encuentran ubicadas en una determinada posición.

Por lo que se establece el circuito eléctrico correspondiente teniendo en cuenta todo el tramo objeto del análisis.

Para la resolución del circuito eléctrico formado por las n-mallas que lo componen se recurre al cálculo matricial, considerando las n-mallas que aparecen en el circuito eléctrico, y las uniones entre nodos, con sus valores asociados y los valores de intensidad de corriente (desconocidos) que circulan entre los nodos.

Los únicos datos conocidos son los valores de impedancia de los distintos conductores que conforman las mallas, las impedancias de los rieles, los valores de las mallas de tierras y los valores de potencia de las cargas que son los trenes, pero no se conoce ni el valor de tensión ni el valor de la intensidad de corriente que circula a través de los motores del tren.

La matriz de impedancias que se forma puede alcanzar valores muy elevados, como pueden ser en determinadas simulaciones del orden de 10.000 filas y 10.000 columnas, dependiendo del número de trenes que existan en la red en cada momento, el número de subestaciones, y las interconexiones que puedan existir entre ellos (número de vías, existencia de puestas en paralelo, etc., y su resolución puede llevar un tiempo considerable, máxime cuando inicialmente hay que hacer una estimación del valor inicial de tensión en el pantógrafo de cada uno de los trenes, (recuérdese que se conoce la potencia, pero no la tensión ni la intensidad) y después ir repitiendo el cálculo mediante aproximaciones sucesivas hasta encontrar los valores de tensión e intensidad de corriente en todos y cada uno de los trenes que satisfacen las ecuaciones de los distintos circuitos con un error que, en nuestro caso, está determinado en menos del 0,1%. Cuanto más pequeño sea el margen de error mayor número de iteraciones es necesario realizar y más tiempo se emplea en realizar la simulación.

La operación antes descrita se repite cada intervalo de desplazamiento del tren que para la velocidad máxima de desplazamiento, de tal forma que para el caso de velocidad de desplazamiento de 120 km/h, el intervalo de cálculo sería de 33,3 m en cada intervalo de 1 segundo.

Para la resolución del cálculo matricial, el programa emplea subrutinas de cálculo (.dll) que permiten optimizar el tiempo de proceso y que permiten resolver las matrices correspondientes a los distintos circuitos en tiempos muy reducidos.

#### 4.3.7. Gráficas

El programa permite la obtención de multitud de gráficas, entre las que se pueden indicar las siguientes:

- Gráfica de malla de circulación de trenes, donde se representa la posición de los trenes en el tiempo.
- Gráfica de trazado: Representa la gráfica del trazado con indicación de las rampas y pendientes de la vía, así como las rampas y pendientes ficticias (rampas/pendientes reales afectadas de las curvas).
- Gráfica de consumos por cada uno de los trenes. Representa la potencia de tracción necesaria en la locomotora en cada momento.
- Gráfica de potencias consumidas en las subestaciones de tracción.
- Gráficas de tensión en el pantógrafo de cada uno de los trenes y tensiones accesibles de larga duración.
- Gráficas de corrientes de cortocircuito y tensiones accesibles de corta duración.
- Gráfica de temperatura en los distintos conductores.
- Etc.

## 5. Características eléctricas de la instalación

Se relacionan a continuación las características eléctricas de las instalaciones, como son la impedancia por kilómetro de la catenaria utilizada en cada tramo, la distribución espacial de los conductores, así como la impedancia de los carriles, impedancia del retorno por tierra y el valor de la recta de carga de los transformadores de la subestación y de los centros de autotransformación

### 5.1. Línea de alimentación en alta tensión

El sistema eléctrico utilizado para la alimentación a catenaria en el tramo Bobadilla-Ronda es en 2x25 kV, corriente alterna y 50 Hz. El suministro de energía es facilitado a las subestaciones de tracción por REE (Red Eléctrica Española) en 400 kV y 50 Hz, estando dicha red interconectada y sincronizada con el sistema eléctrico español, cumpliendo los estándares internacionales en cuanto a variación de frecuencia y tensión de suministro.

A partir de la potencia de los transformadores utilizados, de las características de los mismos y de la tensión de acometida de la línea se determina el valor de la impedancia interna del transformador principal y de los transformadores de los centros de autotransformación

Código	P.K.	Transformadores	Impedancia Interna [ $\Omega$ ]	Acometida
ATI 1.1	3+700	10 MVA	1,006	
SE ALMODÓVAR	10+600	2X60 MVA	0,067	400 kV
ATI 1.2	20+591	10 MVA	1,006	
ATI 1.3	31+891	10 MVA	1,006	
ATF 2.1	40+705	2X10 MVA	1,006	
ATI 2.2	52+055	10 MVA	1,006	
ATI 2.3	63+139	10 MVA	1,006	
SE LA RODA	74+739	2X60 MVA	0,067	400 kV
ATI 2.4	84+702	10 MVA	1,006	
ATI 2.5	96+492	10 MVA	1,006	
ATF 3.1	105+246	2X10 MVA	1,006	
ATI 3.2	116+550	10 MVA	1,006	
ATI 3.3	127+577	10 MVA	1,006	
SE CÁRTAMA	139+966	2X60 MVA	0,067	400 kV
ATI 3.4	149+166	10 MVA	1,006	

Tabla 5. Impedancia interna de las subestaciones de tracción y centros de autotransformación LAV CO-MA.

Código	P.K.	Transformadores	Impedancia Interna [ $\Omega$ ]	Acometida
ATI 402.6	2+040	10 MVA	1,006	
ATF 411.1	16+950	2X10 MVA	1,006	
ATI 411.2	32+100	10 MVA	1,006	
ATI 411.3	53+400	10 MVA	1,006	
SE RONDA	66+650	2X30 MVA	0,269	400 kV
ATI 411.4	76+180	10 MVA	1,006	
ATI 411.5	87+310	10 MVA	1,006	
ATF 412.1	100+200	2X10 MVA	1,006	
ATI 412.2	118+900	10 MVA	1,006	
ATI 412.3	134+820	10 MVA	1,006	
SE MARCHENILLA	150+340	2X30 MVA	0,269	400 kV
ATI 412.4	167+200	10 MVA	0,269	
ATI 412.5	175+900	10 MVA	0,269	

Tabla 6. Impedancia interna de las subestaciones de tracción y centros de autotransformación Bobadilla-Algeciras.

### 5.2. Resistencia óhmica de la catenaria

Para el cálculo de la resistencia óhmica de la catenaria se ha considerado la situación más restrictiva, tomándose como resistencia del hilo de contacto la que corresponde a la máxima temperatura permitida para este conductor, que es de 80°C.

Para los carriles se ha considerado la temperatura de 57°C, que la que corresponde a una temperatura ambiente de 45°C, con una radiación solar de 1 kW/m<sup>2</sup> y una velocidad de viento de 0,5 m/s<sup>2</sup>.

Se tienen así los diferentes valores de resistencia para cada uno de los tramos homogéneos:

Tipo de Conductor	Resistencia a 20°C [ohmios/km]
HC Cu Ag 0,1 1x120 mm <sup>2</sup>	0,153
Sustentador Cu ETP 95 mm <sup>2</sup>	0,193
Feeder de Acompañamiento LA280	0,122
Cable de Retorno LA 110	0,307

Tabla 7. Valores de resistencia en ohmios/km de los conductores utilizados.

### 5.3. Resistencia óhmica de los carriles

A efectos de cálculo se considera que el carril es de 60 kg/ml, con un valor de resistencia por km de 0,0247 ohmios/km.

## 6. Situaciones a simular

Para analizar el comportamiento dinámico de la catenaria, se estudiarán los siguientes casos:

- Situación normal de funcionamiento: Con todas las subestaciones operativas.
- Situación degradada 1. Fallo en la S/E de Ronda Línea Bobadilla-Ronda: El tramo objeto del estudio se alimentará a través del transformador nº 2 de la SE de La Roda y por el Transformador nº 1 de la SE de Marchenilla.
- Situación degradada 2. Fallo en la S/E de Cártama LAV Córdoba-Málaga: El tramo objeto de estudio se alimentará a través del transformador nº 2 de la SE de la Roda, el cual a su vez alimentará hasta la ZN de Cártama, y por la SE de Ronda.
- Situación degradada 3. Fallo en la S/E de La Roda LAV Córdoba-Málaga: El tramo objeto del estudio se alimentará a través del transformador nº 1 de la SE de Cártama y por la SE de Ronda.

### 6.1. Situación normal

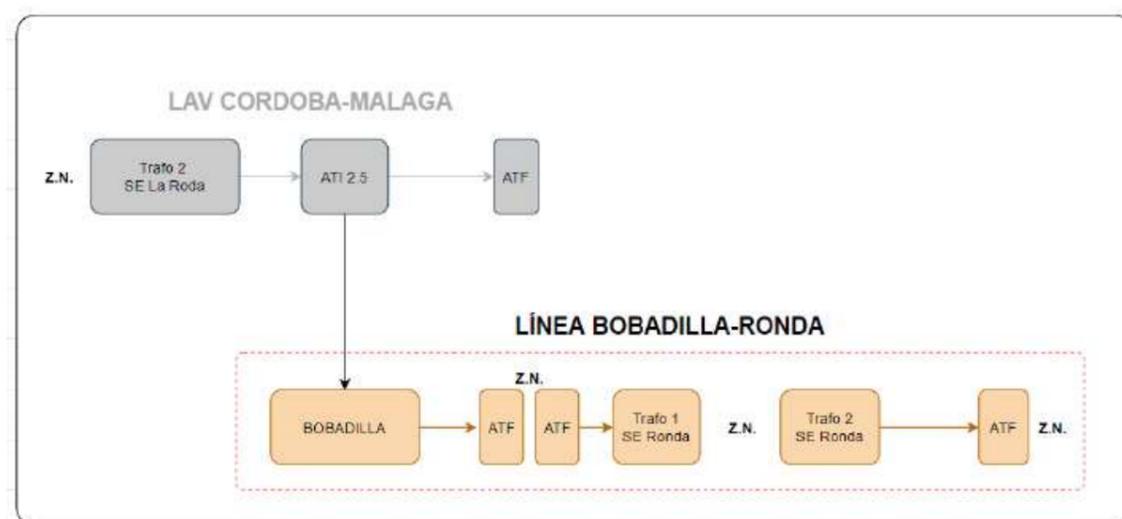


Imagen 4. Esquema alimentación eléctrica en situación normal.

Se llevarán a cabo las simulaciones relativas a:

- Potencias en transformadores (instantáneas y RMS).
- Intensidad de feeder.
- Tensiones en pantógrafo.
- Tensiones accesibles.

De las siguientes zonas eléctricas:

- Zona SE La Roda.
- Zona SE Ronda.

### 6.2. Situación degradada 1. Fallo SE Ronda Tramo Bobadilla-Ronda

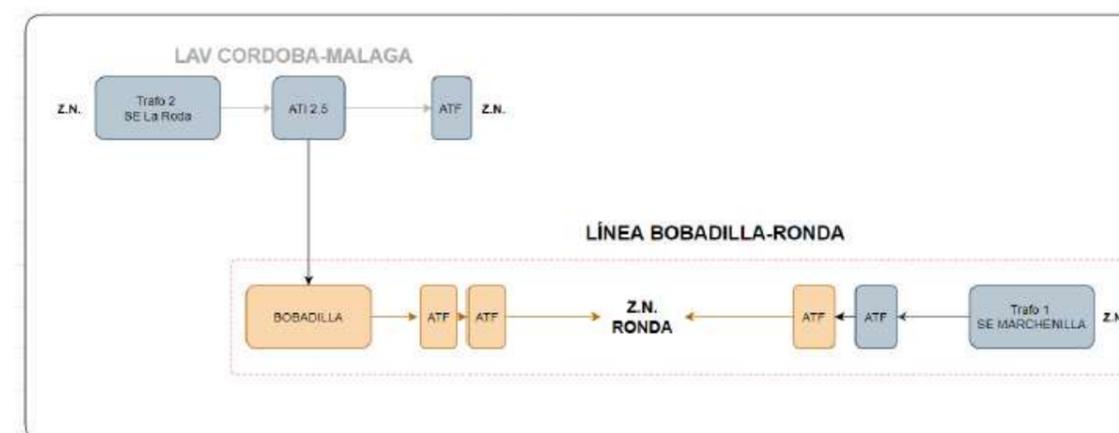


Imagen 5. Esquema alimentación eléctrica en situación degradada 1. Fallo SE Ronda.

Se llevarán a cabo las simulaciones relativas a:

- Potencias en transformadores (instantáneas y RMS).
- Intensidades de feeder.
- Tensiones en pantógrafo.
- Tensiones accesibles.

De las siguientes zonas eléctricas:

- Zona SE La Roda (ampliada hasta ZN Ronda).
- Zona SE Marchenilla (ampliada hasta ZN Ronda).

### 6.3. Situación degradada 2. Fallo SE Cártama LAV Córdoba-Málaga

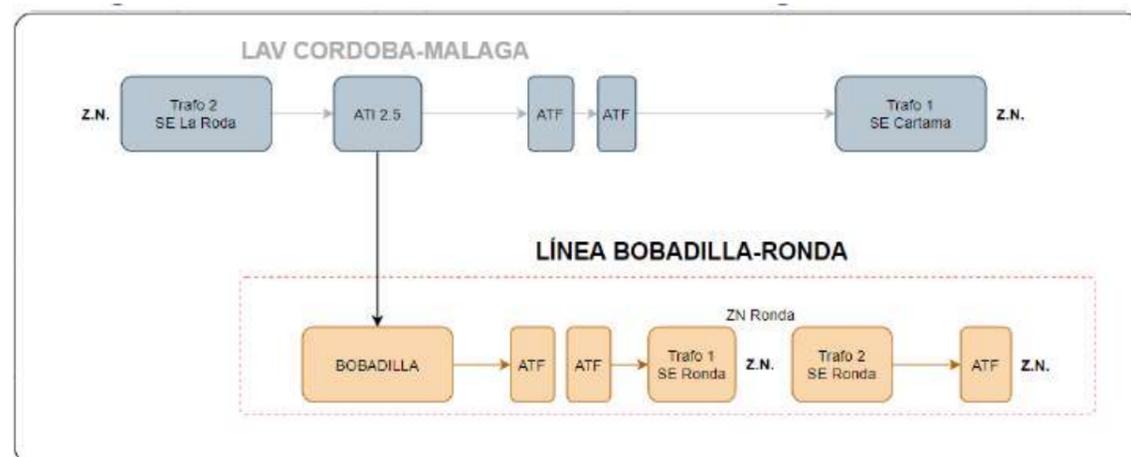


Imagen 6. Esquema alimentación eléctrica en situación degradada 2. Fallo SE Cártama LAV Córdoba-Málaga.

Se llevarán a cabo las simulaciones relativas a:

- Potencias en transformadores (Instantáneas y RMS).
- Intensidades de feeder.
- Tensiones en pantógrafo.
- Tensiones accesibles.

De las siguientes zonas eléctricas:

- Zona SE La Roda (Ampliada hasta ZN Cártama).
- Zona SE Ronda.

### 6.4. Situación degradada 3. Fallo SE La Roda LAV Córdoba-Málaga

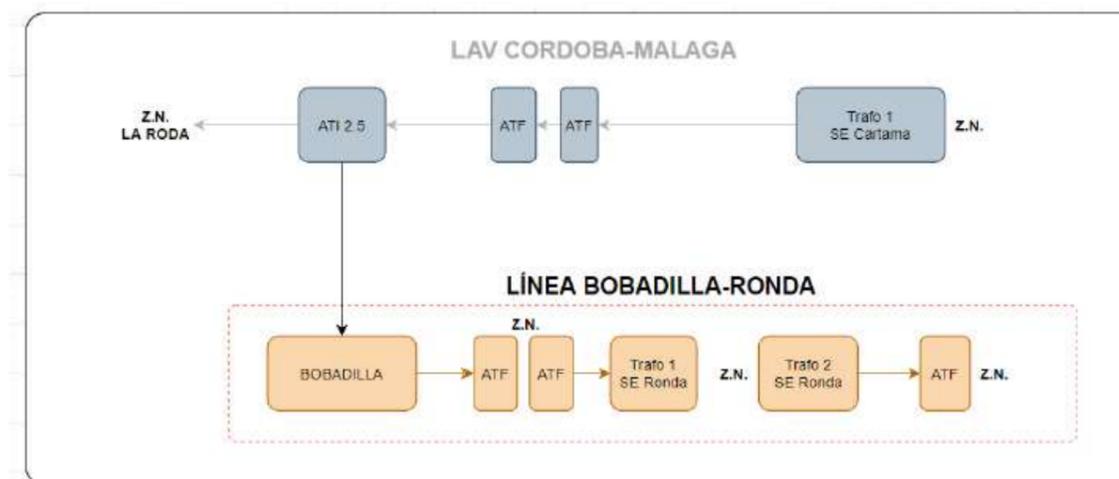


Imagen 7. Esquema alimentación eléctrica en situación degradada 3. Fallo SE La Roda LAV Córdoba-Málaga.

Se llevarán a cabo las simulaciones relativas a:

- Potencias en transformadores (Instantáneas y RMS).
- Intensidades de feeder.
- Tensiones en pantógrafo.
- Tensiones accesibles.

De las siguientes zonas eléctricas:

- Zona SE Cártama (ampliada hasta ZN La Roda).
- Zona SE Marchenilla (ampliada hasta ZN Ronda).

## 7. Trazado

Como se ha indicado en anteriores capítulos de este anejo, para el análisis se considera la situación de la vía con la ubicación de las curvas: radio de estas, inicio y final de las curvas de transición, rampas y pendientes.

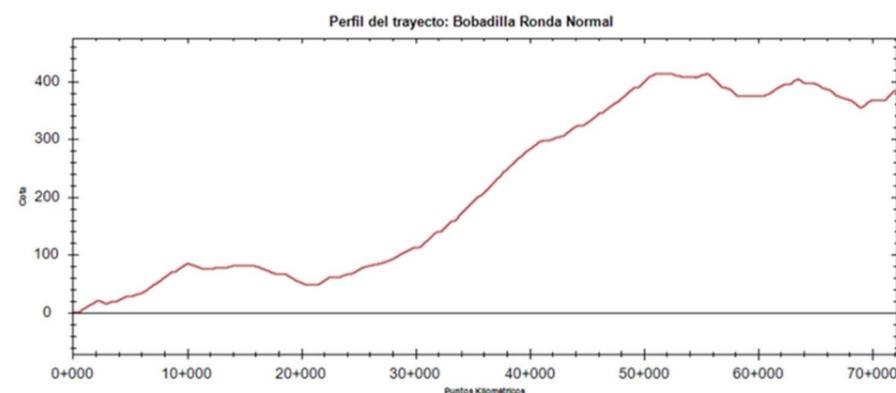


Gráfico 1. Cotas de línea. Trazado Bobadilla-Ronda.

En la zona en la que se presentaban 3 alternativas de trazado, ha sido considerada la más desfavorable de ellas, que es la que presenta menores radios de curva y mayor longitud de recorrido. De esta manera se garantiza que las otras 2 alternativas son viables por presentar requisitos menos exigentes.

Los resultados así obtenidos reflejarán la situación real de la línea, y, por tanto, los consumos y valores de tensión en cada uno de los puntos, no teniendo, por tanto, que ser exactamente iguales para los trenes ascendentes que para los descendentes.

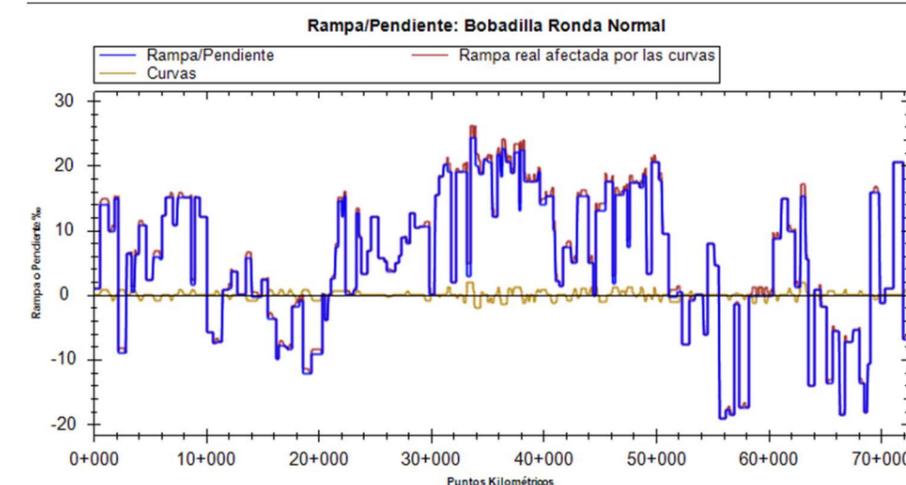


Gráfico 2. Rampa/pendiente equivalente, considerando el efecto de las curvas.

### 7.1. Limitaciones de velocidad

De acuerdo con el documento Líneas del 3er Grupo Cuadro de Velocidades Máximas e informaciones permanentes Actualizado Anejo 14 de ADIF, se establecen para el tramo objeto del estudio los siguientes perfiles de velocidad.

Dirección Bobadilla-Ronda:

- P.K. 0+000 – P.K. 29+300: 120 km/h.
- P.K. 29+300 – P.K. 33+100: 110 km/h.
- P.K. 33+100 – P.K. 34+500: 90 km/h.
- P.K. 34+500 – P.K. 36+100: 110 km/h.
- P.K. 36+100 – P.K. 36+900: 105 km/h.
- P.K. 36+900 – P.K. 41+700: 110 km/h.
- P.K. 41+700 – P.K. 60+400: 115 km/h.
- P.K. 60+400 – P.K. 62+700: 120 km/h.

- P.K. 62+700 – P.K. 63+500: 90 km/h.
- P.K. 63+500 – P.K. 69+300: 120 km/h.
- P.K. 69+300 – P.K. 69+900: 90 km/h.
- P.K. 69+900 – P.K. 70+400: 110 km/h.

Dirección Ronda-Bobadilla:

- P.K. 70+400 – P.K. 69+900: 75 km/h.
- P.K. 69+900 – P.K. 63+700: 120 km/h.
- P.K. 63+700 – P.K. 62+700: 90 km/h.
- P.K. 62+700 – P.K. 60+400: 120 km/h.
- P.K. 60+400 – P.K. 41+700: 115 km/h.
- P.K. 41+700 – P.K. 36+900: 110 km/h.
- P.K. 36+900 – P.K. 36+100: 105 km/h.
- P.K. 36+100 – P.K. 34+500: 110 km/h.
- P.K. 34+500 – P.K. 33+100: 90 km/h.
- P.K. 33+100 – P.K. 29+300: 110 km/h.
- P.K. 29+300 – P.K. 0+000: 120 km/h.

## 8. Material Móvil

Para realizar el dimensionamiento eléctrico de la línea es necesario determinar los consumos de los trenes que por ella van a circular.

### 8.1. Tren de mercancías Locomotora Serie 253

Para la malla de circulación de trenes para el trayecto considerado en el tramo objeto del estudio se analizará el tren de mercancías remolcado por una locomotora de la serie 253 de RENFE, con las siguientes características básicas:

Constructor	Bombardier Transportation
Construcción	2008/2010
Longitud entre topes	18,90 m
Ancho de vía	1668 mm
Nº de coches	-
Tensión nominal	25 kV
Tara	-
Mando Múltiple	SI
Peso total	87,0 t
Señalización	Asfa digital
Potencia	5400 kW / 7337 CV
Velocidad máxima	140 km/h
Aceleración (máx. / 0-10 / Med. / Res)	1,0 m /s <sup>2</sup>

Tabla 8. Características generales locomotora serie 253 RENFE.

En orden de calcular la situación más desfavorable para este tramo, se analizarán trenes de 750 m, por lo que la carga remolcable para dicha longitud es del orden 1000 Tn, siendo necesaria la doble tracción para locomotoras de la serie 253, por lo que sus características son:

Locomotora	2 locomotoras 253
Plataformas	47 Plataformas 24 71 443 7 XXX-X
Longitud del tren	747 metros
Carga habitual	80% de la carga máxima
Tara + carga habitual	1.793 Tn (174+47x34,44)
Carga transportada habitual	1.045 Tn (47x22,24)

Tabla 9. Características generales objeto de estudio locomotora serie 253 RENFE.

Para este tipo de tren y de acuerdo con sus características indicadas anteriormente, y la curva de tracción de la locomotora, se determinará la potencia necesaria para desplazar el tren a la velocidad máxima prevista, considerando que el tren llevará las cargas antes indicadas para cada tren y afectado de los coeficientes correspondientes a las curvas y rampas o pendientes.

En la determinación de la potencia máxima del tren, se considerará también que los servicios auxiliares del tren se encuentran siempre en funcionamiento. Así, aun cuando el tren se encuentre estacionado, tendrá un consumo de 100 kW.

### 8.1.1. Curva de tracción locomotora Serie 253 RENFE

Se representa a continuación la curva de tracción (esfuerzos) para la locomotora de la Serie 253 de RENFE, que representa el esfuerzo de tracción en función de la velocidad.

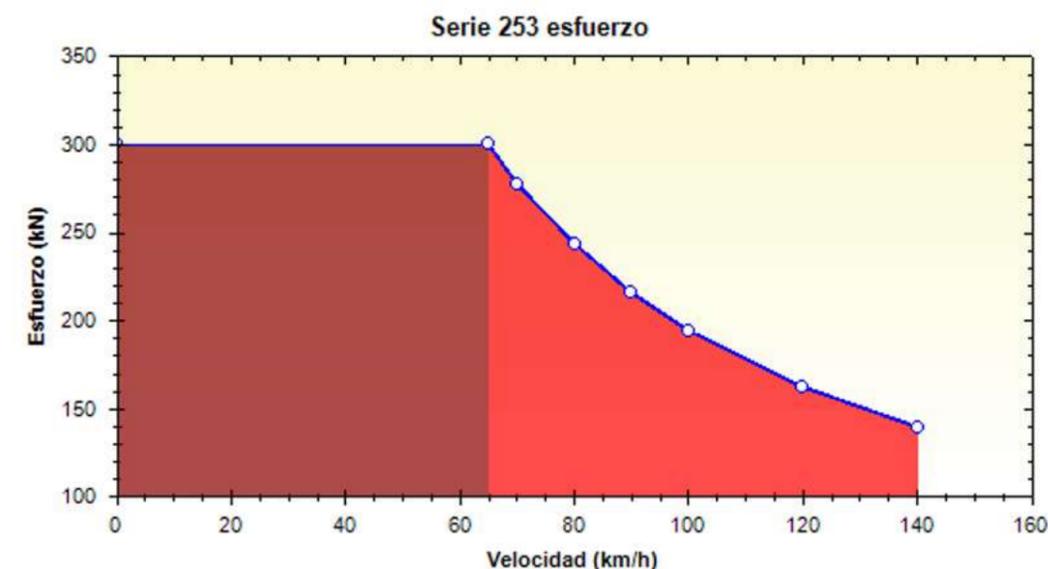


Gráfico 3. Representación curva esfuerzo de tracción/velocidad locomotora Serie 253 RENFE.

### 8.1.2. Consumo Locomotora Serie 253 RENFE

Se representa a continuación el gráfico de la velocidad indicando en cada momento el valor de su aceleración.

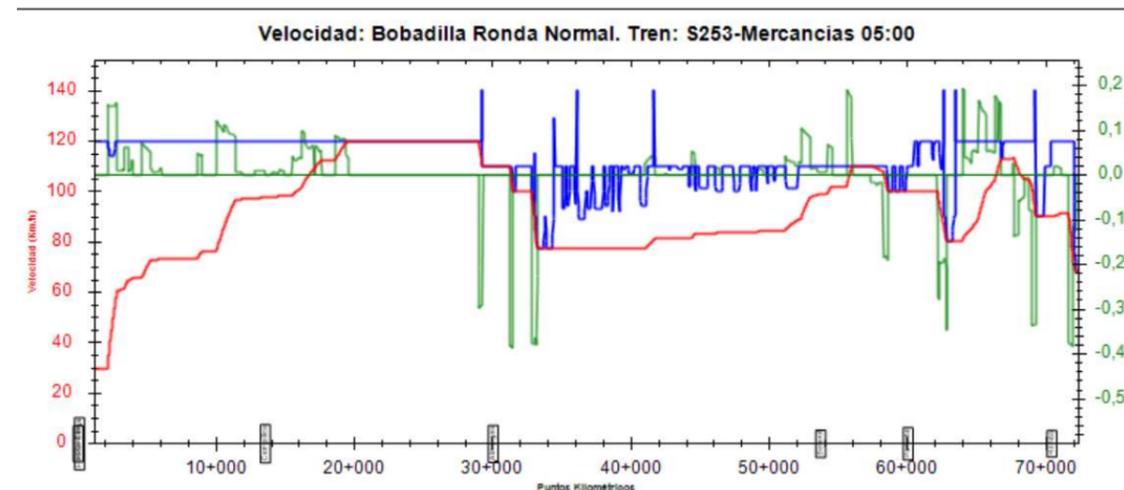


Gráfico 4. Valores de velocidad y aceleración locomotora Serie 253 RENFE.

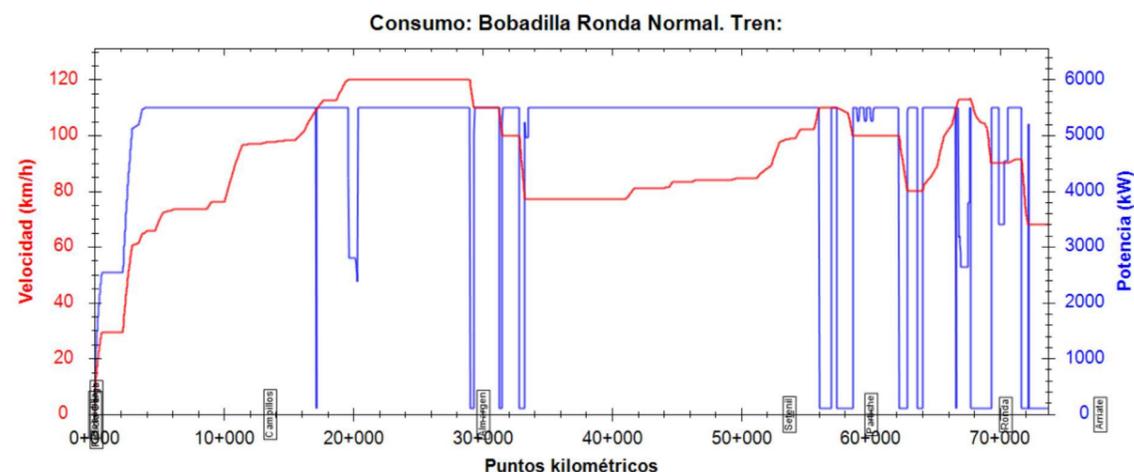


Gráfico 5. Valores de consumo locomotora Serie 253 RENFE.

## 8.2. Tren de pasajeros Serie S-130. Línea Bobadilla-Algeciras

Para la malla de circulación de trenes para el trayecto considerado en el tramo objeto del estudio se analizará el tren S-130 en composición simple, es decir una sola locomotora, con las siguientes características básicas:

Longitud	180 m
Nº de coches	13
Tensión de alimentación	25 kV
Peso Total	312 Tn
Potencia	4800 kW
Velocidad máxima	250 km/h
Aceleración	1,0 m/s <sup>2</sup>

Tabla 10. Características generales tren Serie 130.

Para este tipo de tren y de acuerdo con sus características indicadas anteriormente, y la curva de tracción y, a partir de ella, se determinará la potencia necesaria para desplazar el tren a la velocidad máxima prevista por el tramo a analizar, considerando que el tren lleva su carga máxima y afectado de los coeficientes correspondientes a las curvas y rampas o pendientes.

En la determinación de la potencia máxima del tren, se considerará también que los servicios auxiliares del tren se encuentran siempre en funcionamiento. Así, aun cuando el tren se encuentre estacionado, tendrá un consumo de 100 kW.

### 8.2.1. Curva de tracción locomotora S-130

Se representa a continuación la curva de tracción (esfuerzos) para trenes de alta velocidad S-130, que representa el esfuerzo de tracción en función de la velocidad.

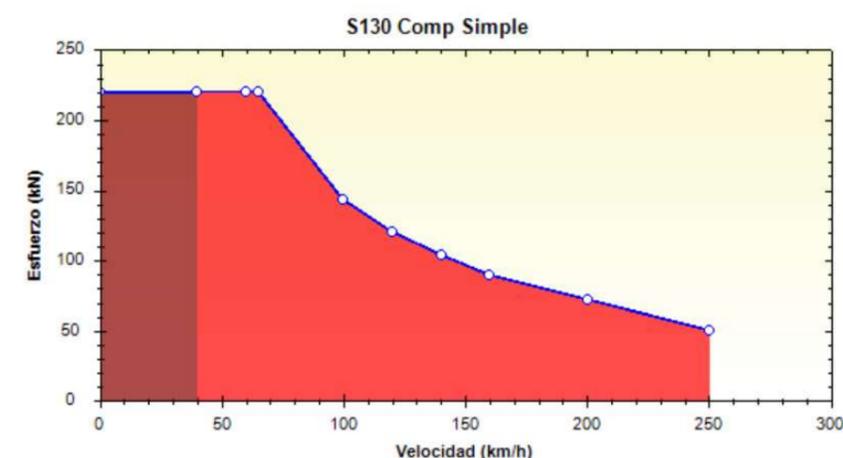


Gráfico 6. Representación curva esfuerzo de tracción/velocidad locomotora S-130 composición simple RENFE.

### 8.2.2. Consumo Locomotora S-130 RENFE

Se representa a continuación el grafico de la velocidad indicando en cada momento el valor de su aceleración.

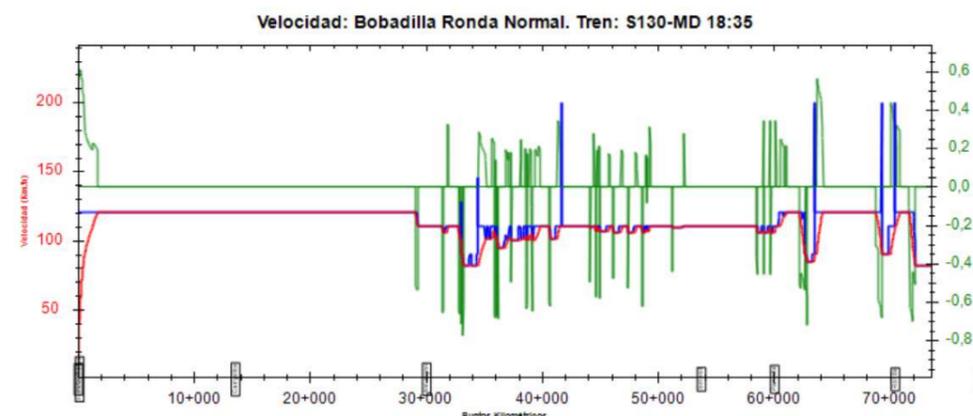


Gráfico 7. Valores de velocidad y aceleración locomotora S-130 RENFE.

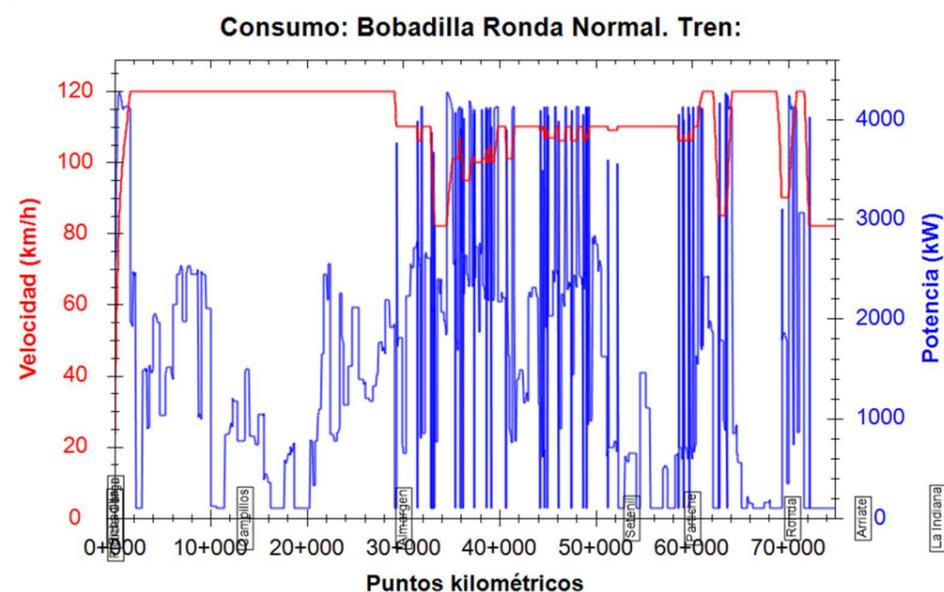


Gráfico 8. Valores de consumo locomotora S-130 RENFE.

### 8.3. Tren de pasajeros Serie S-130 en doble composición. LAV Córdoba-Málaga

Se ha de tener en cuenta el material móvil que circulara por el trazado de la LAV Córdoba-Málaga, ya que pese a no a formar parte del trazado objeto del estudio, debe tenerse en cuenta su consumo a su paso por la subestación de La Roda de Andalucía.

Por lo tanto, para este tramo se analizará el tren S-130 en doble composición, con las siguientes características básicas:

Longitud	360 m
Nº de coches	26
Tensión de alimentación	25 kV
Peso Total	624 Tn
Potencia	9600 kW
Velocidad máxima	250 km/h
Aceleración	1,0 m/s <sup>2</sup>

Tabla 11. Características generales tren Serie 130. Doble composición.

Para realizar el dimensionamiento eléctrico de la línea es necesario determinar los consumos de los trenes que van a circular.

Para este tipo de tren y de acuerdo con sus características indicadas anteriormente, y la curva de tracción y, a partir de ella, se determinará la potencia necesaria para desplazar el tren a la velocidad máxima prevista para el tramo a analizar, considerando que el tren lleva su carga máxima y afectando de los coeficientes correspondientes a las curvas y rampas o pendientes.

En la determinación de la potencia máxima del tren, se considera también que los servicios auxiliares del tren se encuentran siempre en funcionamiento. Así, aun cuando el tren se encuentre estacionado, tendrá un consumo de 200 kW.

#### 8.3.1. Curva de tracción locomotora S-130 Doble composición

Se representa a continuación la curva de tracción (esfuerzos) para trenes de alta velocidad S-130 en doble composición, que representa el esfuerzo de tracción en función de la velocidad.

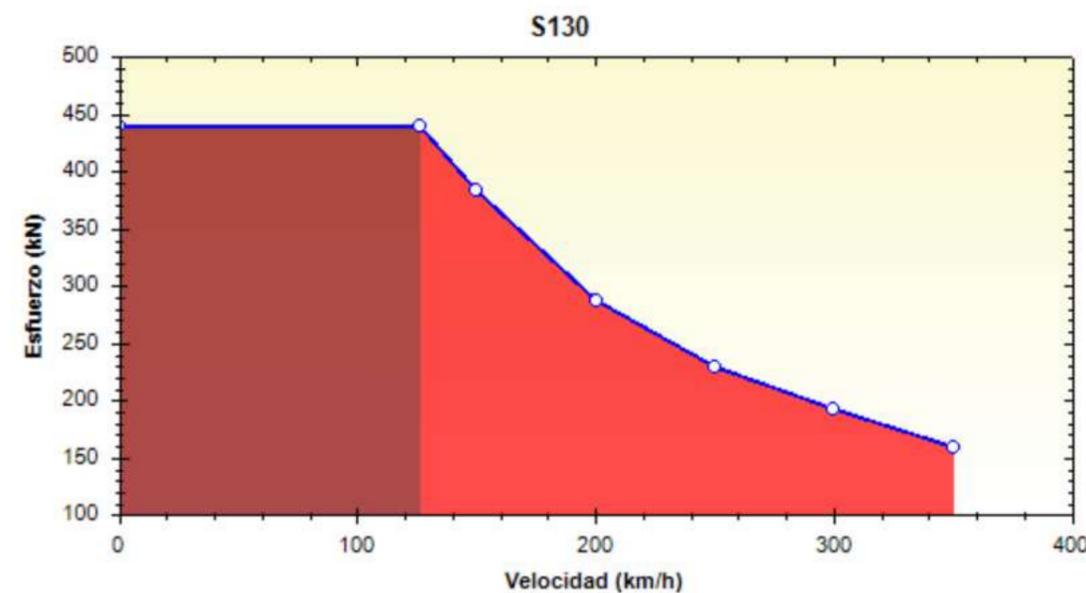


Gráfico 9. Representación curva esfuerzo de tracción/velocidad locomotora S-130 composición doble RENFE.

#### 8.3.2. Consumo Locomotora S-130. Doble composición RENFE

Se representa a continuación el gráfico de la velocidad indicando en cada momento el valor de su aceleración.

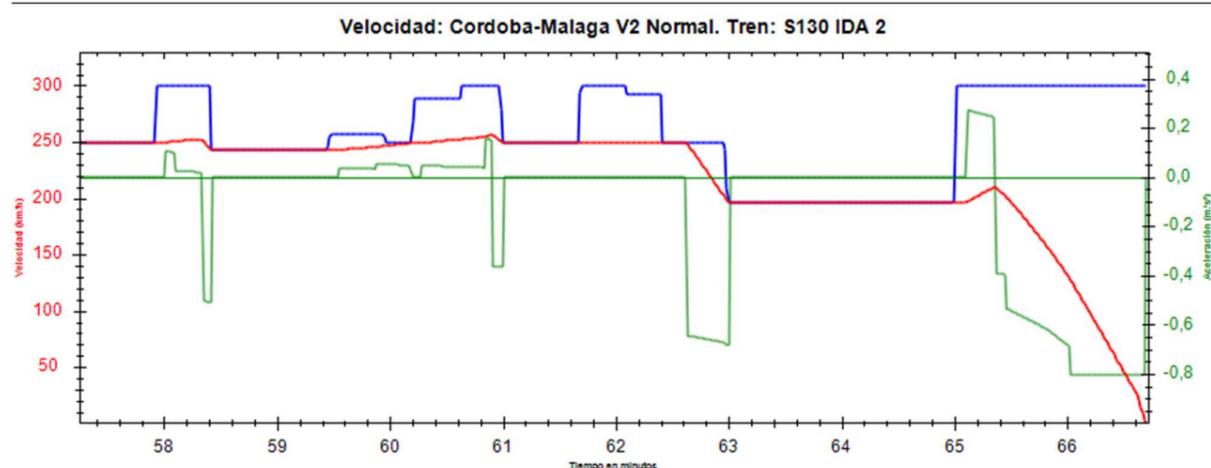


Gráfico 10. Valores de velocidad y aceleración locomotora S-130. Doble composición RENFE.

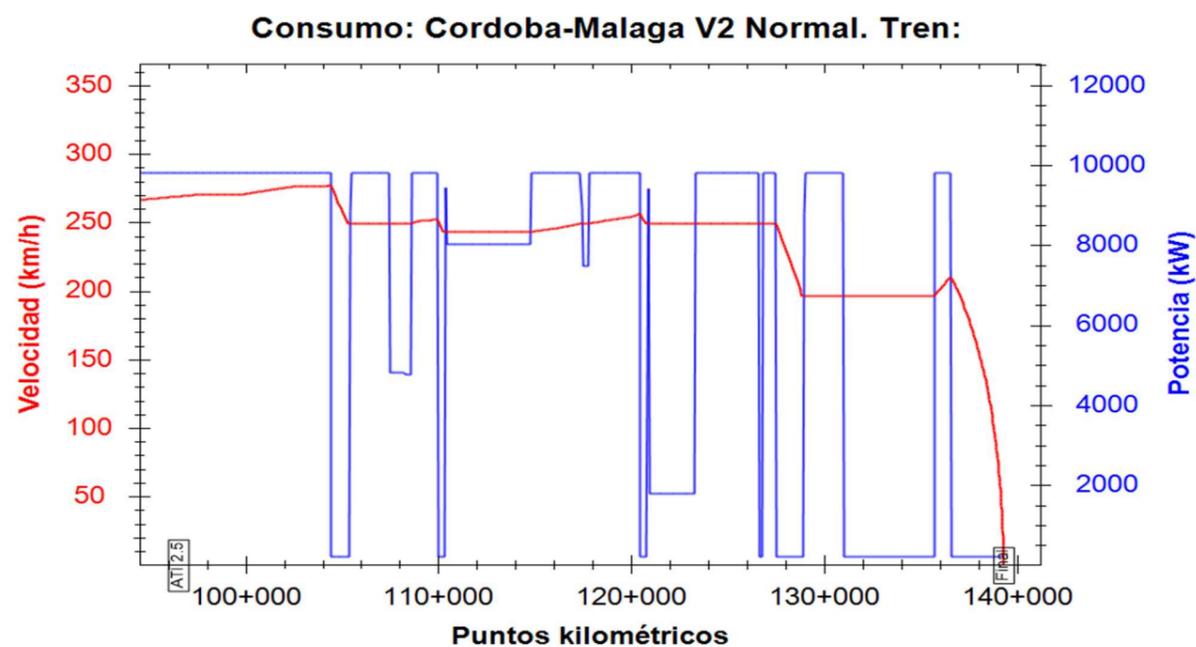


Gráfico 11. Valores de consumo locomotora S-130. Doble composición RENFE.

## 9. Análisis de resultados de circulación

### 9.1. Malla de circulación Sector La Roda LAV Córdoba-Málaga

Este sector está alimentado por la subestación de La Roda situada en la línea de alta velocidad Córdoba-Málaga.

Esta zona eléctrica comprendida entre la zona neutra que supone la subestación de La Roda (anteriormente denominada Puente Genil, situada en el p.k. 74+739) y el ATF 3.1 (situado en el p.k. 105+246) de la línea de alta velocidad Córdoba-Málaga. Además, dicha subestación también alimentará al primer tramo de la línea Bobadilla-Algeciras desde su inicio hasta el ATF 411.1 (situado en p.k. 16+950). Ambas líneas estarán conectadas a través de feeders de alimentación que partirán desde el ATI 2.5 de la LAV hasta desembocar el ATI 402.6 de la línea Bobadilla-Algeciras.

Para realizar el estudio de dimensionamiento eléctrico se han simulado trenes cada 20 minutos por ambas vías circulando a una velocidad máxima de 250 km/h. De esta forma la malla de circulaciones (en una ventana de tiempo representativa de 2 horas) quedaría según se muestra en la siguiente figura:

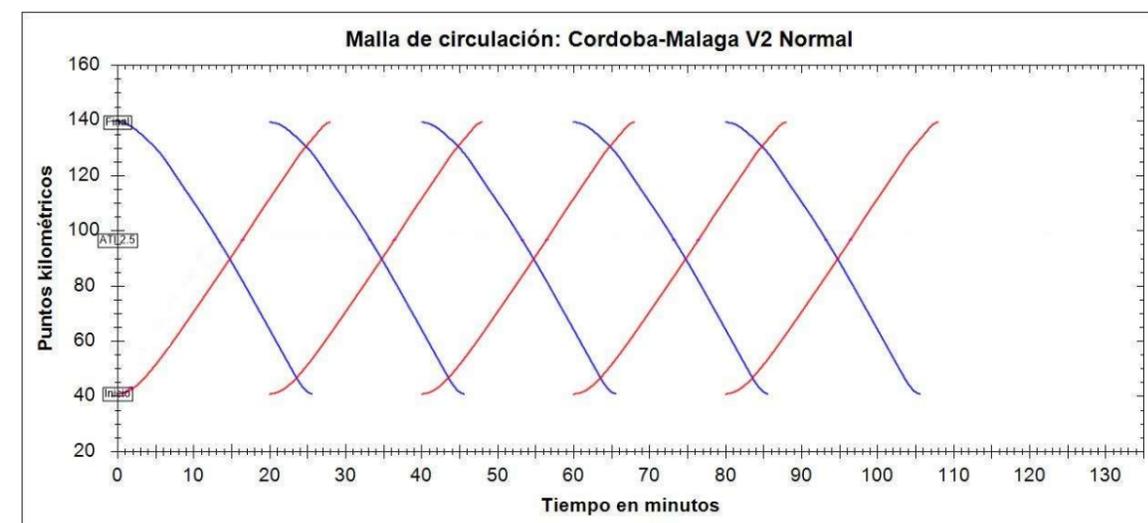


Gráfico 12. Malla de circulación. Sector La Roda. Córdoba-Málaga.

En la gráfica las líneas rojas representan los trenes de pasajeros S-130 en doble composición dirección Córdoba-Málaga y las líneas azules representan trenes de pasajeros S-130 en doble composición dirección Málaga-Córdoba.

### 9.2. Malla de circulación Tramo Bobadilla-Ronda

Para realizar el estudio de dimensionamiento eléctrico para el tramo de Bobadilla-Ronda se ha determinado la siguiente circulación de trenes (de acuerdo al Análisis funcional complementario del itinerario Algeciras-Córdoba, dentro del proyecto Análisis de Corredores Ferroviarios de Mercancías en la Red Ferroviaria de Interés General).

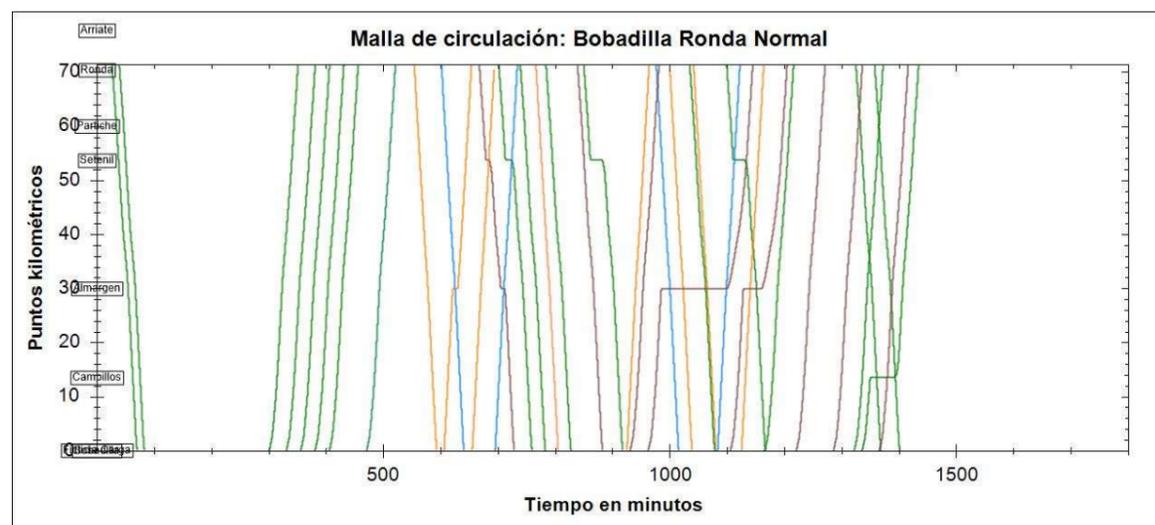


Gráfico 13. Malla de circulación. Línea Bobadilla-Ronda.

En la gráfica, las líneas de color verde representan los trenes de mercancías de la serie 253, así como las líneas de color marrón representan también trenes de mercancías de la Serie 253 que se incorporan a la malla vigente según el Análisis funcional complementario del itinerario Algeciras-Córdoba, dentro del proyecto Análisis de Corredores Ferroviarios de Mercancías en la Red Ferroviaria de Interés General, mientras que las líneas azules representan los trenes de Larga Distancia S-130 de composición simple, y en naranja los trenes de Media Distancia S-130 de composición simple.

### 9.3. Funcionamiento subestaciones

En los siguientes apartados se va a estudiar el comportamiento de las subestaciones en los diferentes casos planteados. Para ello se analiza el funcionamiento en situación normal, es decir, con todas las subestaciones en marcha, y la situación degradada para cada una de las subestaciones, es decir, el funcionamiento normal del resto de las subestaciones junto con el no funcionamiento de las subestaciones que se encuentran en fallo.

A modo resumen, se incluye la siguiente tabla indicando el funcionamiento de las subestaciones en situación normal y en situación degradada para los distintos casos:

Subestación	Situación normal	Fallo La Roda	Fallo Cártama	Fallo Ronda
La Roda (LAV)	✓	✗	✓	✓
Cártama (LAV)	✓	✓	✗	✓
Ronda	✓	✓	✓	✗
Marchenilla	✓	✓	✓	✓

Tabla 12. Funcionamiento de las subestaciones en las distintas situaciones estudiadas.

## 10. Resultados eléctricos

En todas las simulaciones realizadas se deben cumplir las especificaciones que se van a exponer a continuación.

El 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 marca en su apartado 4.2.2.1 (alimentación eléctrica) los condicionantes que se han de cumplir en relación a tensiones y frecuencia del sistema, rendimientos del sistema de alimentación, frenado de recuperación, capacidad de transporte de corriente de los conductores, entre otros.

En primer lugar, se deben cumplir los límites de tensión en la catenaria establecidos en el punto 4.2.3 de la ETI del subsistema de energía a través de la norma EN 50163.

El cálculo de la tensión media útil se realiza a partir de los resultados de tensión de la simulación, teniendo en cuenta, el paso de los trenes programados por cada zona estudiada, establecidos en el punto 4.2.4 de la ETI del subsistema de energía a través de la norma EN 50388.

Por otro lado, la capacidad de transporte de corriente en régimen permanente de las líneas aéreas de contacto viene regida por la norma EN 50119.

Los siguientes parámetros afectan a la capacidad de transporte de corriente de un conductor:

- Coeficiente de transmisión de calor.
- Velocidad del viento.
- Temperatura final admisible.
- Calor aplicado exteriormente.

En la siguiente tabla del anexo A de la norma EN 50119 se muestra la capacidad de transporte de corriente para diferentes temperaturas ambientales con una velocidad del viento de 1m/s y un calentamiento por radiación solar de 1000 W/m<sup>2</sup>.

Tipo de hilo de contacto y de conductor	Temperatura del conductor °C	Capacidad de transporte de corriente en función de la temperatura ambiente							
		A							
		-30 °C	-20 °C	-10 °C	0 °C	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C
CuMg AC-100	80	624	593	561	527	490	450	407	358
Cu AC-100	70	751	711	666	619	569	513	451	378
CuAg AC-100	80	778	740	700	657	611	562	507	446
Cu AC-107	70	782	739	693	645	592	534	469	393
CuMg AC-120	80	702	668	631	593	551	507	457	402
Cu AC-120	70	845	798	749	697	640	577	506	424
CuAg AC-120	80	876	833	787	739	688	632	570	501
Cu AC-150	70	976	922	865	803	738	665	583	487
BzII 50	80	404	385	364	342	318	293	265	233
BzII 70	80	487	463	438	411	383	352	318	280
BzII 120	80	704	670	633	594	553	508	458	402
Cu 95	70	734	693	651	605	556	501	440	369
Cu 120	70	848	801	752	699	642	579	508	425
Al 185	80	910	865	817	767	713	654	590	517
Al 240	80	1 098	1 043	986	925	859	788	710	621

Tabla 13. Capacidad de transporte de corriente EN 50119.

## 11. Análisis simulaciones

Como se ha especificado en anteriores puntos de este estudio, se van a analizar varios casos de estudio tanto en situaciones de explotación normal de la línea como en situaciones degradadas de explotación.

### 11.1. Situación normal de funcionamiento

Se analiza a continuación el funcionamiento de las instalaciones, para una situación normal de funcionamiento, determinándose los valores de tensión en cada uno de los trenes en cada momento, así como los valores de potencia en las subestaciones de tracción.

#### 11.1.1. Tensión en el pantógrafo

En la siguiente grafica se puede observar la evolución de la tensión en el pantógrafo para cada momento de circulación, en el sector alimentado por la SE de La Roda.

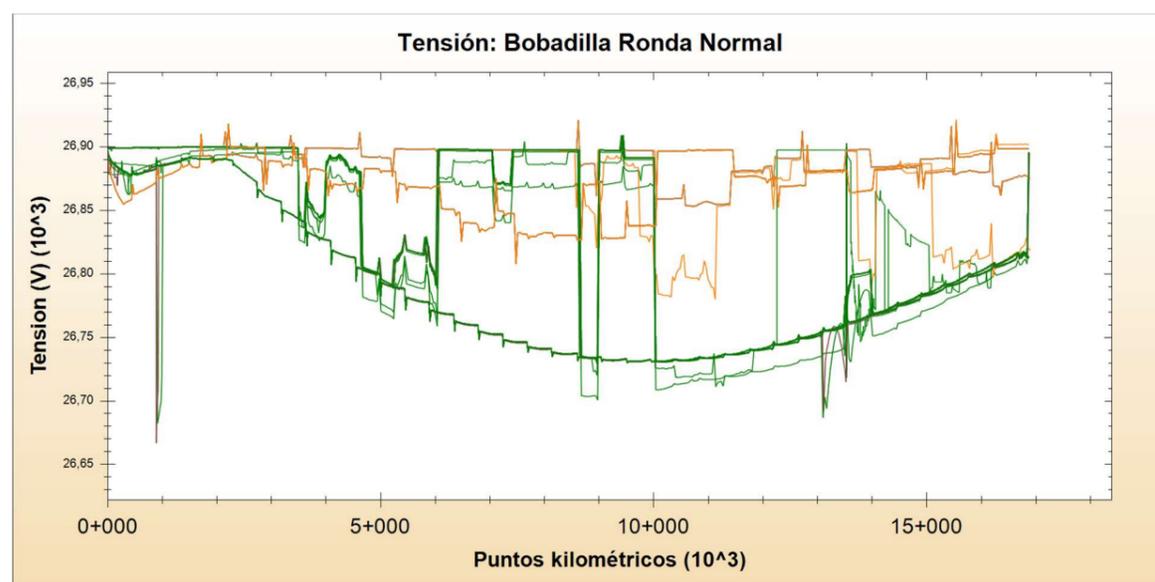


Gráfico 14. Tensiones máximas y mínimas no permanentes en catenaria. Situación normal. Sector alimentado por SE de La Roda.

En la siguiente ilustración se observa la evolución de la tensión en el pantógrafo para cada momento de circulación, en el sector alimentando por la SE de Ronda.

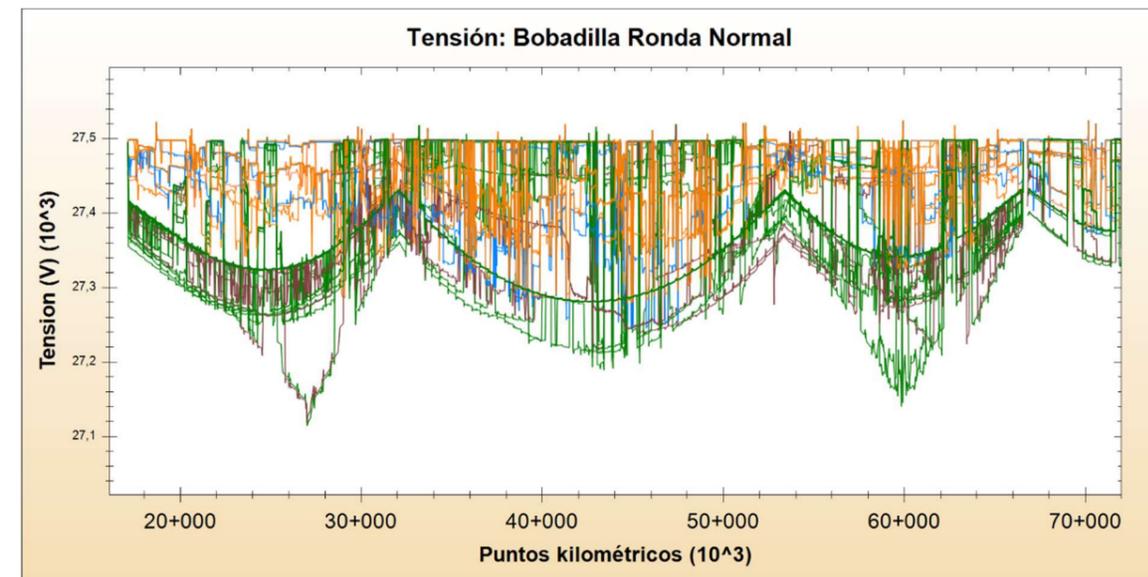


Gráfico 15. Tensiones máximas y mínimas no permanentes en catenaria. Situación normal. Sector alimentado por SE de Ronda.

Los resultados obtenidos para estas tensiones mínimas son:

Sector	Tensióni [V]
SE La Roda (LAV)	26.767
SE Ronda	27.114

Tabla 14. Resumen tensión mínima no permanente. Situación normal.

Se puede observar que los valores obtenidos de las tensiones máximas y mínimas no permanentes en la catenaria se encuentran dentro de los límites admisibles establecidos en la norma EN 50163 para esta variable. Además, se puede observar que los valores obtenidos para las tensiones media útiles se encuentran dentro de los límites admisibles establecidos en la norma EN 50388 para esta variable, mayor de 22.000 V.

#### 11.1.2. Tensión accesible

En la siguiente gráfica se muestra las corrientes máximas de tensión accesible obtenidas a lo largo del sector de tracción.

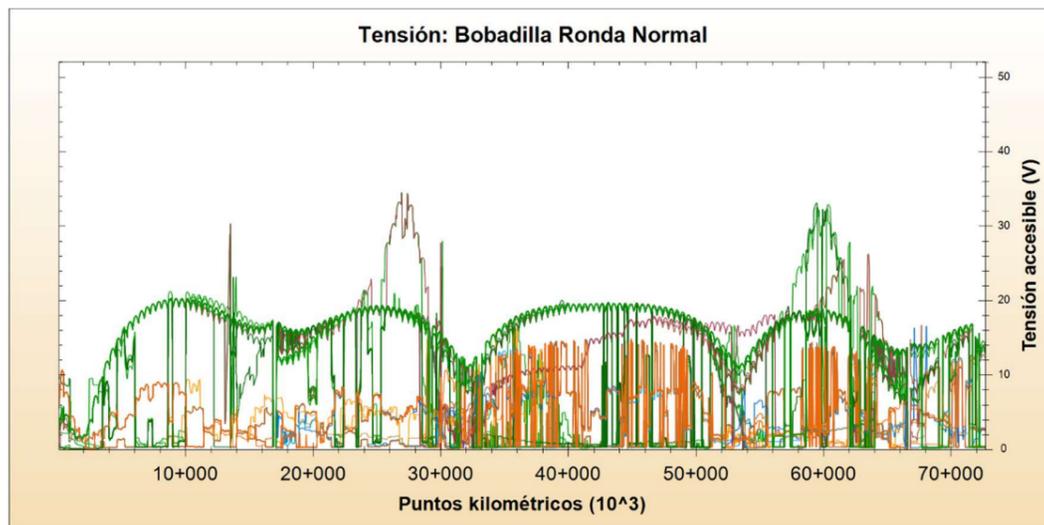


Gráfico 16. Tensiones accesibles. Situación normal.

Tal y como se refleja en la gráfica, el valor máximo de la tensión accesible en el tramo es 35 V, valor inferior al máximo permitido en la norma 50122, ya que como indica para determinar si se puede producir una tensión de contacto inadmisiblemente alta, se debe evaluar el potencial del carril en el punto a considerar tanto en condiciones de funcionamiento normal como en condiciones de avería.

$t$ s	$U_{b, \text{máx.}}$ V
> 300	60
300	65
1	75
0,9	80
0,8	85
0,7	90
0,6	100
0,5	120
0,4	150
0,3	230
0,2	295
0,1	345
0,05	360
0,02	370

Leyenda  
 $t$  Duración  
 $U_{b, \text{máx.}}$  Tensión admisible a través del cuerpo

Tabla 15. Tensiones a través del cuerpo máximas admisibles en el sistema de tracción de corriente alterna en función del tiempo.

### 11.1.3. Potencia subestaciones

Se muestran a continuación las potencias consumidas en las subestaciones de tracción por el consumo de la malla en cada momento, con una frecuencia de muestreo de 1 segundo.

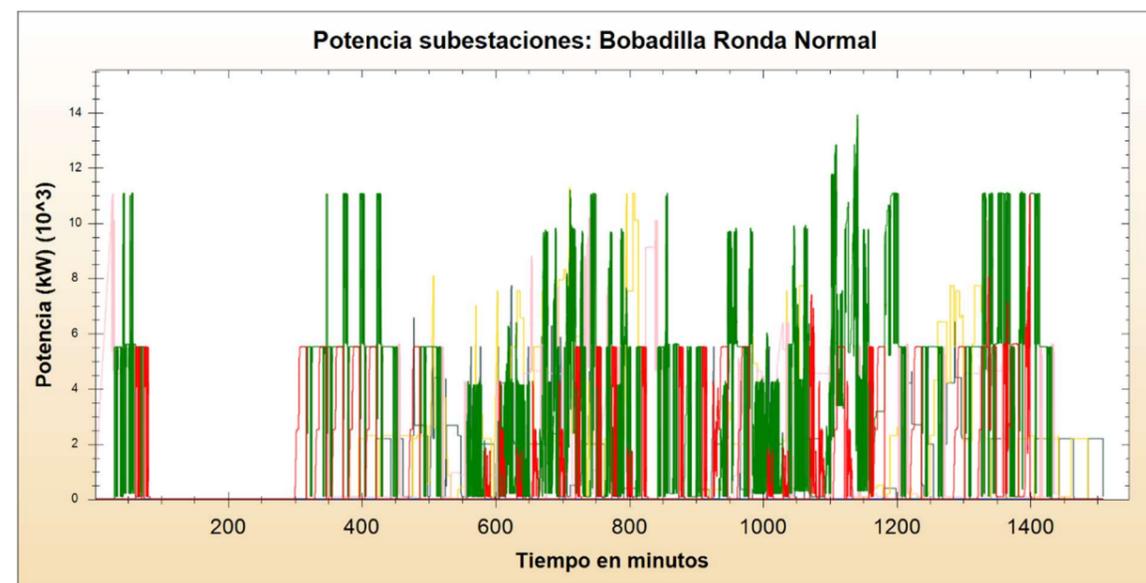


Gráfico 17. En la siguiente tabla se puede observar los valores de tensión máxima obtenidos para intervalos de medida de 15 minutos corridos.

En la siguiente tabla se puede observar los valores de tensión máximos obtenidos para intervalos de medida de 15 minutos.

Subestaciones		Potencia [kW]	Potencias Totales [kW]
Potencia máx. Ronda		11.654	11.654
Potencia máx. Marchenilla		11.678	11.678
Potencia máx. La Roda	Tramo Cordoba-Malaga	12.805	28.968
	Tramo Bobadilla-Ronda	16.163	

Tabla 16. Resumen resultados potencia máxima subestaciones. Situación normal.

Para cada una de las subestaciones se puede observar lo siguiente:

**Subestación de Ronda:** El valor de la máxima potencia eficaz suministrada por la subestación es menor que la potencia nominal en régimen permanente.

**Subestación de Marchenilla:** El valor de la máxima potencia eficaz suministrada por la subestación es menor que la potencia nominal en régimen permanente.

**Subestación de La Roda:** El valor de la máxima potencia eficaz suministrada por la subestación es menor que la potencia nominal en régimen permanente.

#### 11.1.4. Distribución de corriente en conductores

En las siguientes ilustraciones se muestran las corrientes máximas que circulan por los conductores del sistema de catenaria obtenidas a lo largo del tramo objeto del estudio.

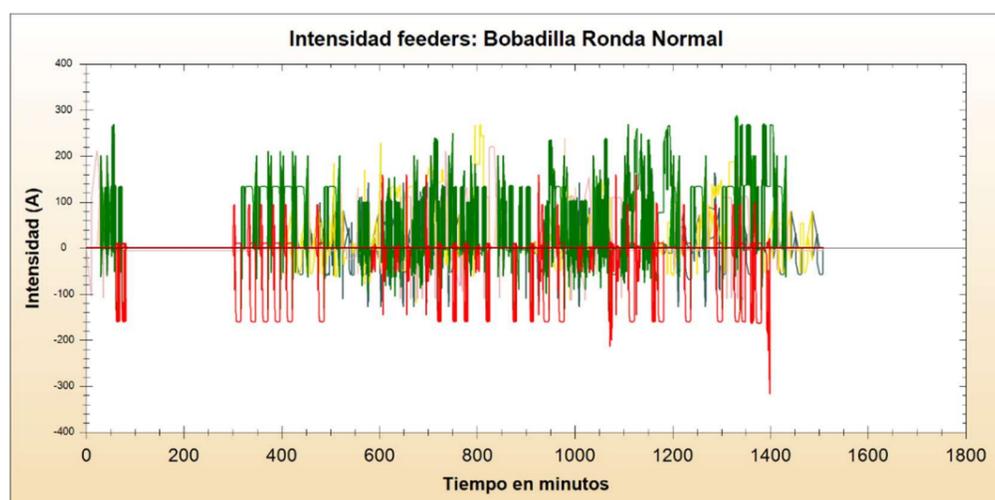


Gráfico 18. Corrientes máximas feeders. Situación normal de funcionamiento.

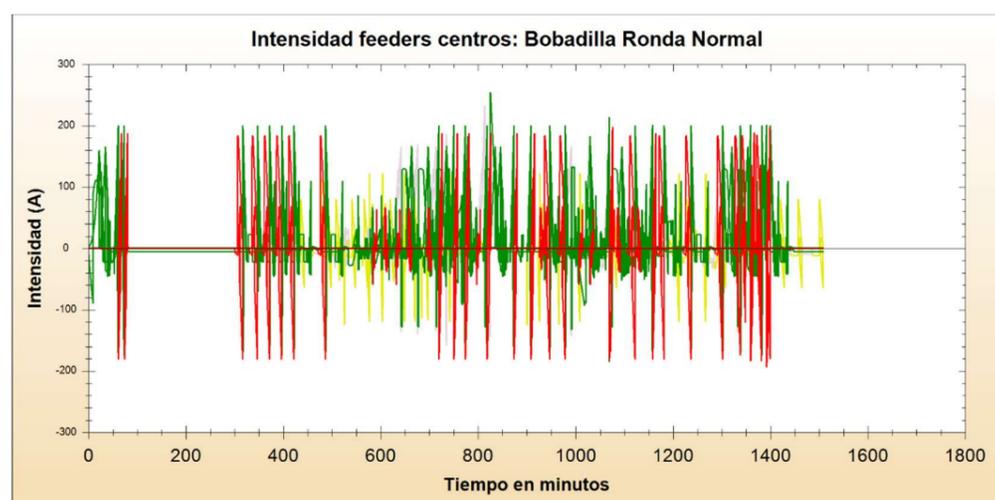


Gráfico 19. Corrientes máximas feeders centro autotransformadores. Situación normal de funcionamiento.

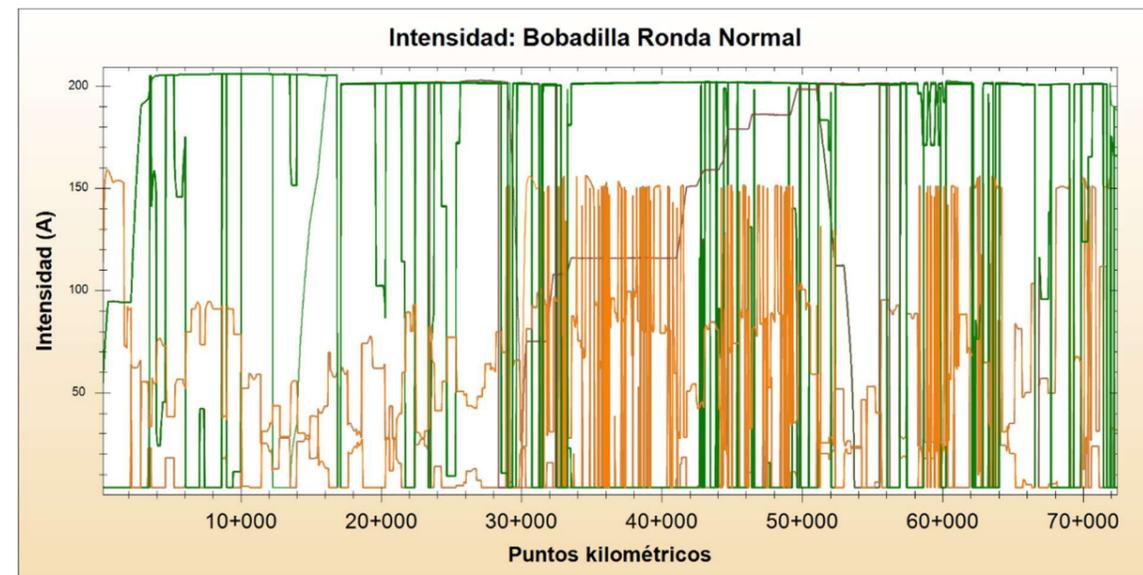


Gráfico 20. Intensidades. Situación normal de funcionamiento.

Los resultados obtenidos no superan los valores de la capacidad de transporte de corriente que soportarían dichos conductores calculada para una temperatura ambiental de 40°C con una velocidad de 1 m/s y un calentamiento por radiación solar de 1000 W/m<sup>2</sup>, según la norma EN 50119, por lo que se considera que las condiciones de transporte de corriente son adecuadas en los conductores.

## 11.2. Situación degradada 1. Fallo en SE Ronda. Tramo Bobadilla-Ronda

Se analiza a continuación el funcionamiento de las instalaciones para una situación normal de funcionamiento, determinándose los valores de tensión en cada uno de los trenes en cada momento, así como los valores de potencia en las subestaciones de tracción.

### 11.2.1. Tensión en el pantógrafo

En la siguiente grafica podemos observar la evolución de la tensión en el pantógrafo para cada momento de circulación, en el sector alimentado por la SE de La Roda.

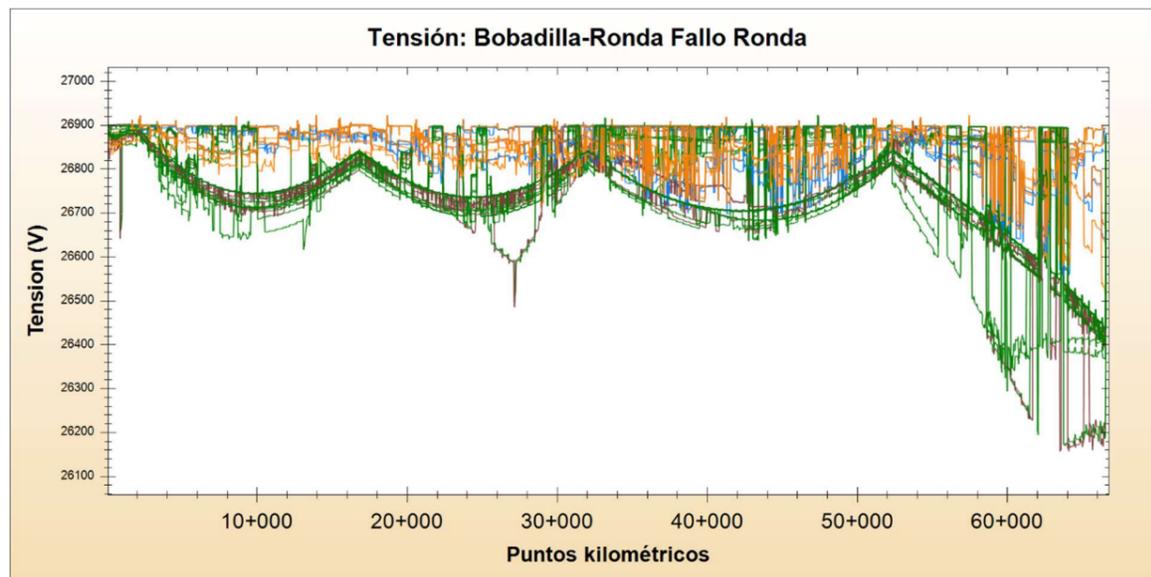


Gráfico 21. Tensiones máximas y mínimas no permanentes en catenaria. Situación degradada 1. Fallo SE Ronda. Sector alimentado por SE de La Roda.

En la siguiente ilustración se observa la evolución de la tensión en el pantógrafo para cada momento de circulación, en el sector alimentando por la SE de Marchenilla.

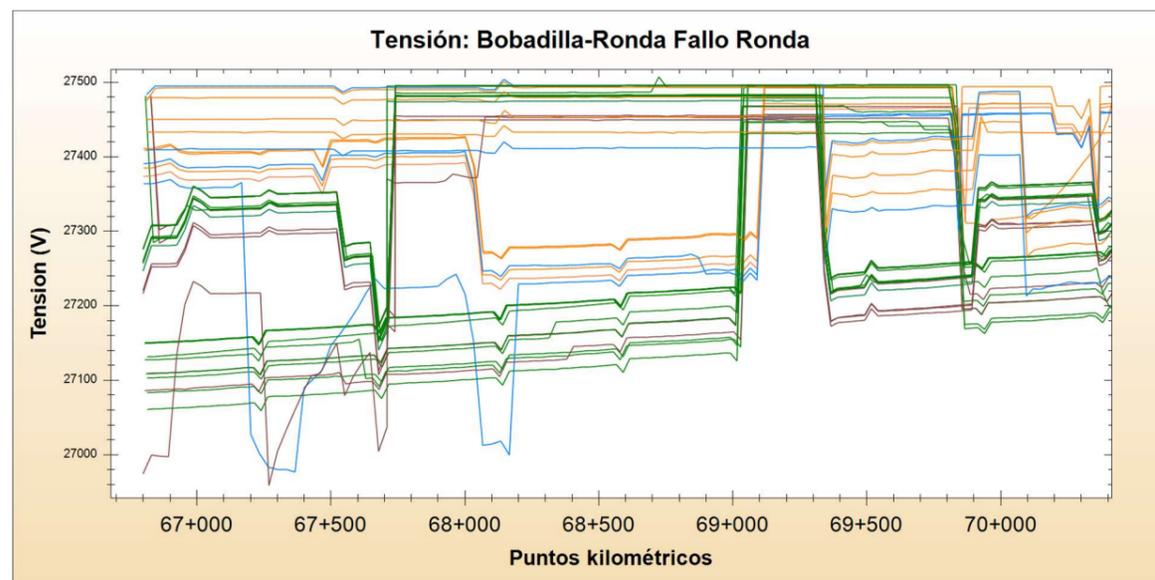


Gráfico 22. Tensiones máximas y mínimas no permanentes en catenaria. Situación degradada 1. Fallo SE Ronda. Sector alimentado por SE de Marchenilla.

Los resultados obtenidos para estas tensiones mínimas son:

Sector	Tensión [V]
SE La Roda (LAV)	26.259
SE Marchenilla	26.953

Tabla 17. Resumen tensión mínima no permanente. Situación degradada 1. Fallo en SE Ronda.

Se puede observar que los valores obtenidos de las tensiones máximas y mínimas no permanentes en la catenaria se encuentran dentro de los límites admisibles establecidos en la norma EN 50163 para esta variable. Además, se puede observar que los valores obtenidos para las tensiones media útiles se encuentran dentro de los límites admisibles establecidos en la norma EN 50388 para esta variable, mayor de 22.000 V.

### 11.2.2. Tensión accesible

En la siguiente gráfica se muestra las corrientes máximas de tensión accesible obtenidas a lo largo del sector de tracción.

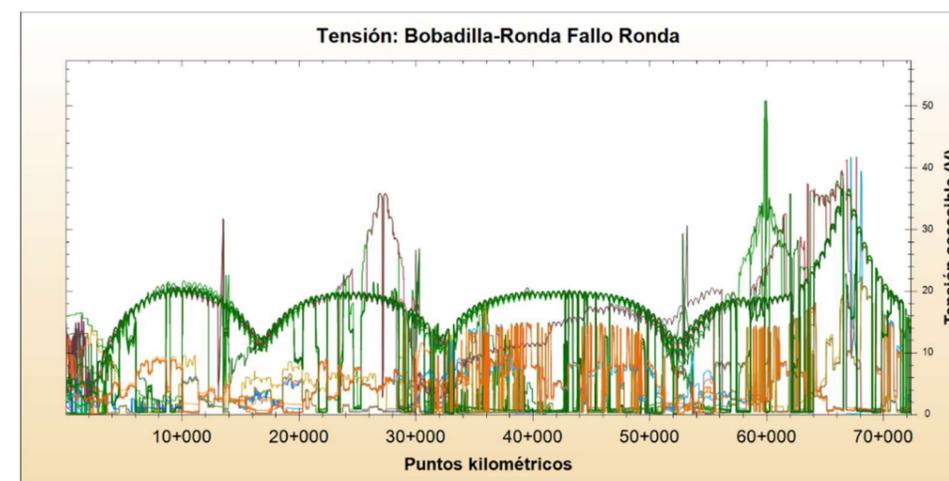


Gráfico 23. Tensiones accesibles. Situación degradada 1. Fallo en SE Ronda.

Tal y como se refleja en la gráfica, el valor máximo de la tensión accesible en el tramo es 35 V, valor inferior al máximo permitido en la norma 50122, ya que como indica para determinar si se puede producir una tensión de contacto inadmisiblemente alta, se debe evaluar el potencial del carril en el punto a considerar tanto en condiciones de funcionamiento normal como en condiciones de avería.

$t$ s	$U_{b, \text{máx.}}$ V
> 300	60
300	65
1	75
0,9	80
0,8	85
0,7	90
0,6	100
0,5	120
0,4	150
0,3	230
0,2	295
0,1	345
0,05	360
0,02	370

Leyenda  
 $t$  Duración  
 $U_{b, \text{máx.}}$  Tensión admisible a través del cuerpo

Tabla 18. Tensiones a través del cuerpo máximas admisibles en el sistema de tracción de corriente alterna en función del tiempo.

11.2.3. Potencia subestaciones

Se muestra a continuación las potencias consumidas en las subestaciones de tracción por el consumo de la malla en cada momento, con una frecuencia de muestreo de 1 segundo.

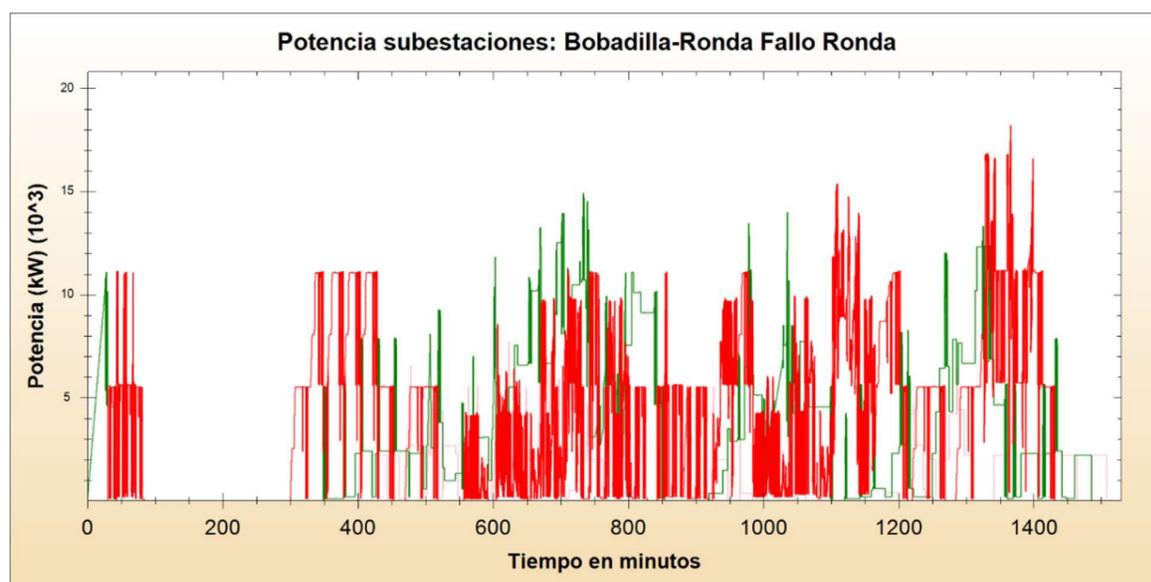


Gráfico 24. Potencia Subestaciones. Situación degradada 1. Fallo en SE Ronda.

En la siguiente tabla se puede observar los valores de tensión máximo obtenidos para intervalos de medida de 15 minutos.

Subestaciones	Potencia [kW]	Potencias Totales [kW]
Potencia máx. Marchenilla	15.768	15.768
Potencia máx. La Roda	Tramo Cordoba-Malaga	31.843
	Tramo Bobadilla-Ronda	

Tabla 19. Resumen resultados potencia máxima subestaciones. Situación degradada 1. Fallo SE Ronda.

Para cada una puede observar lo siguiente de las subestaciones se:

**Subestación de Marchenilla:** El valor de la máxima potencia eficaz suministrada por la subestación es menor que la potencia nominal en régimen permanente.

**Subestación de La Roda:** El valor de la máxima potencia eficaz suministrada por la subestación es menor que la potencia nominal en régimen permanente.

11.2.4. Distribución de corriente en conductores

En las siguientes ilustraciones se muestran las corrientes máximas que circulan por los conductores del sistema de catenaria obtenidas a lo largo del tramo objeto del estudio.

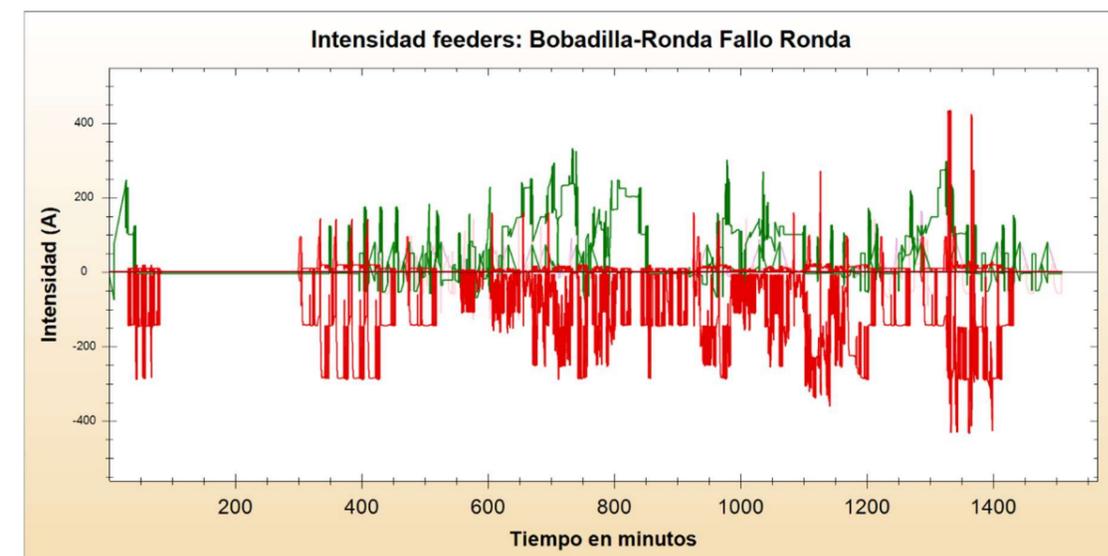


Gráfico 25. Corrientes máximas feeders. Situación degradada 1. Fallo en SE Ronda.

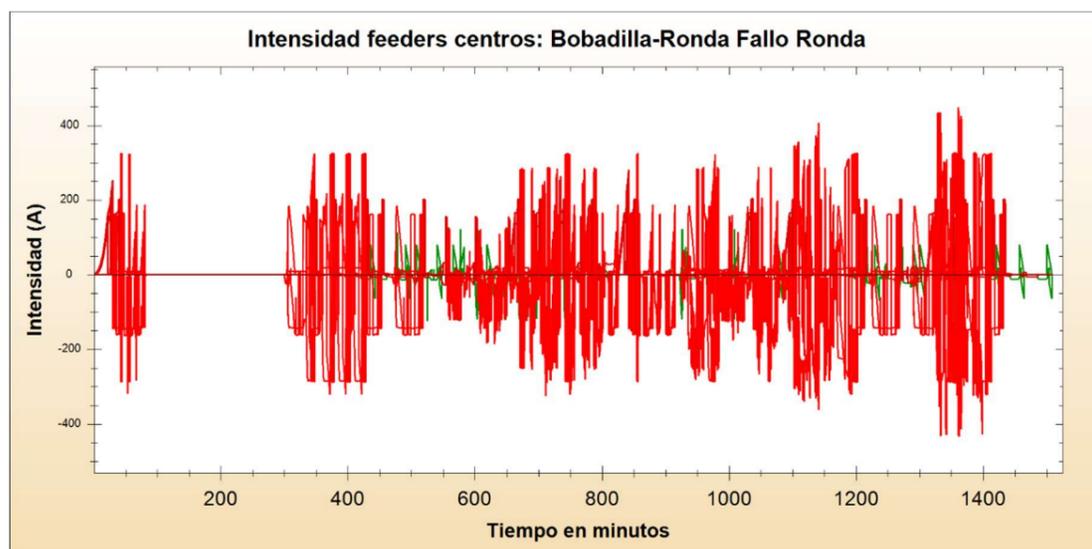


Gráfico 26. Corrientes máximas feeders centro autotransformadores. Situación degradada 1. Fallo en SE Ronda.

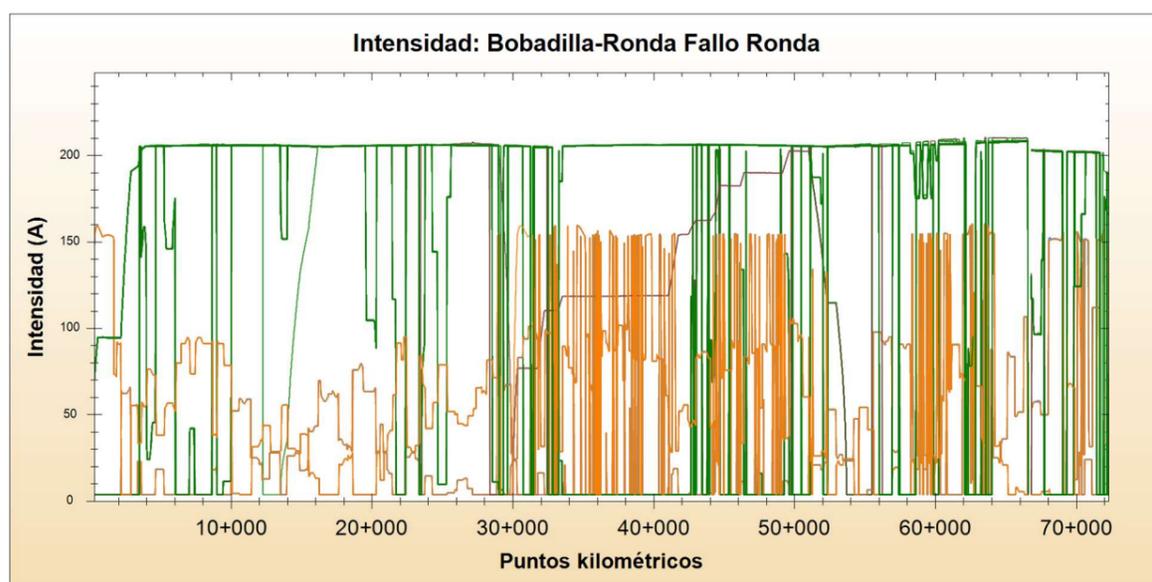


Gráfico 27. Intensidades. Situación degradada 1. Fallo en SE Ronda.

Los resultados obtenidos no superan los valores de la capacidad de transporte de corriente que soportarían dichos conductores calculada para una temperatura ambiental de 40°C con una velocidad de 1 m/s y un calentamiento por radiación solar de 1000 W/m<sup>2</sup>, según la norma EN 50119, por lo que se considera que las condiciones de transporte de corriente son adecuadas en los conductores.

### 11.3. Situación degradada 2. Fallo en SE Cartama. Tramo Bobadilla-Ronda

Se analiza a continuación el funcionamiento de las instalaciones, para una situación degradada de funcionamiento, determinándose los valores de tensión en cada uno de los trenes en cada momento, así como los valores de potencia en las subestaciones de tracción.

#### 11.3.1. Tensión en el pantógrafo

En la siguiente grafica podemos observar la evolución de la tensión en el pantógrafo para cada momento de circulación, en el sector alimentado por la SE de La Roda.

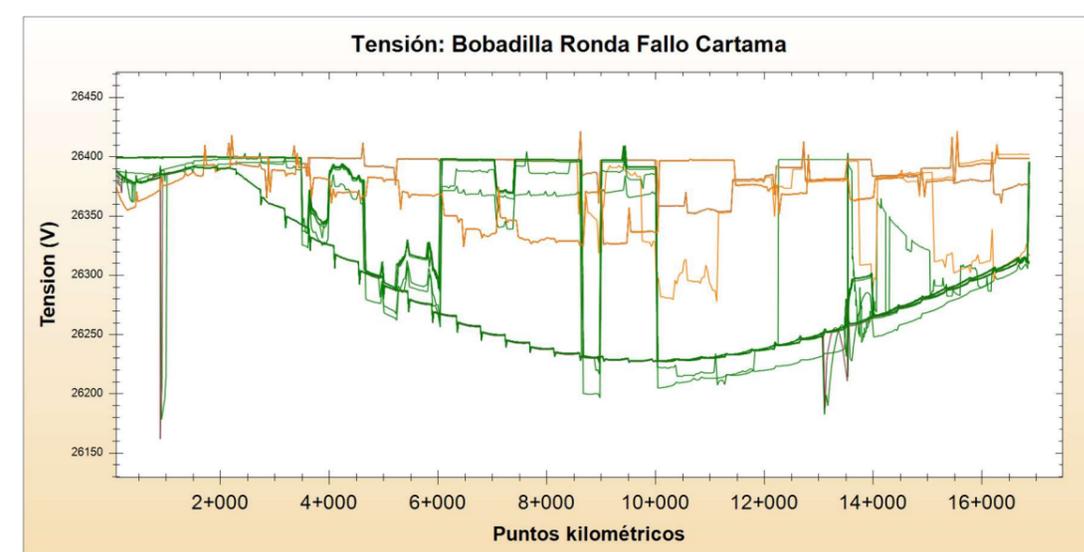


Gráfico 28. Tensiones máximas y mínimas no permanentes en catenaria. Situación degradada 2. Fallo SE Cártama. Sector alimentado por SE de La Roda.

En la siguiente ilustración se observa la evolución de la tensión en el pantógrafo para cada momento de circulación, en el sector alimentando por la SE de Ronda

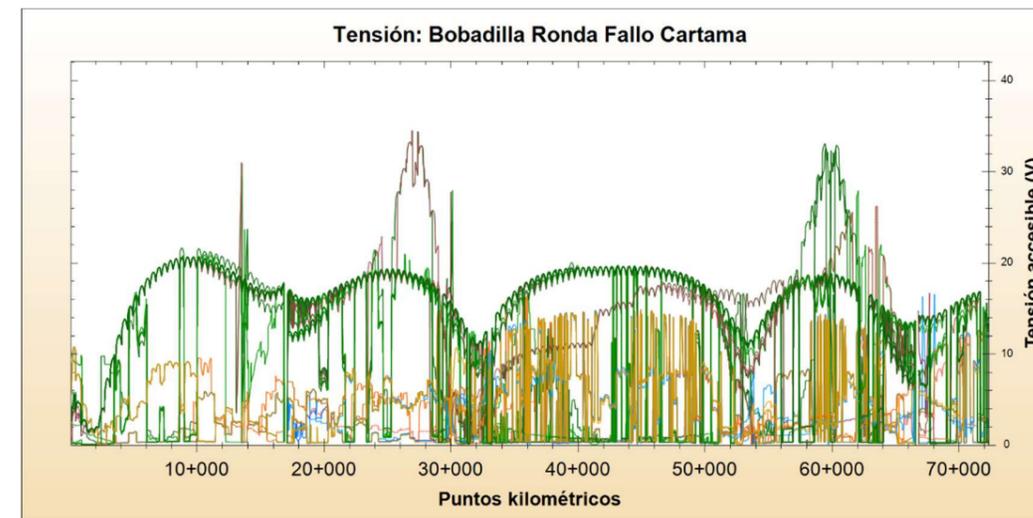
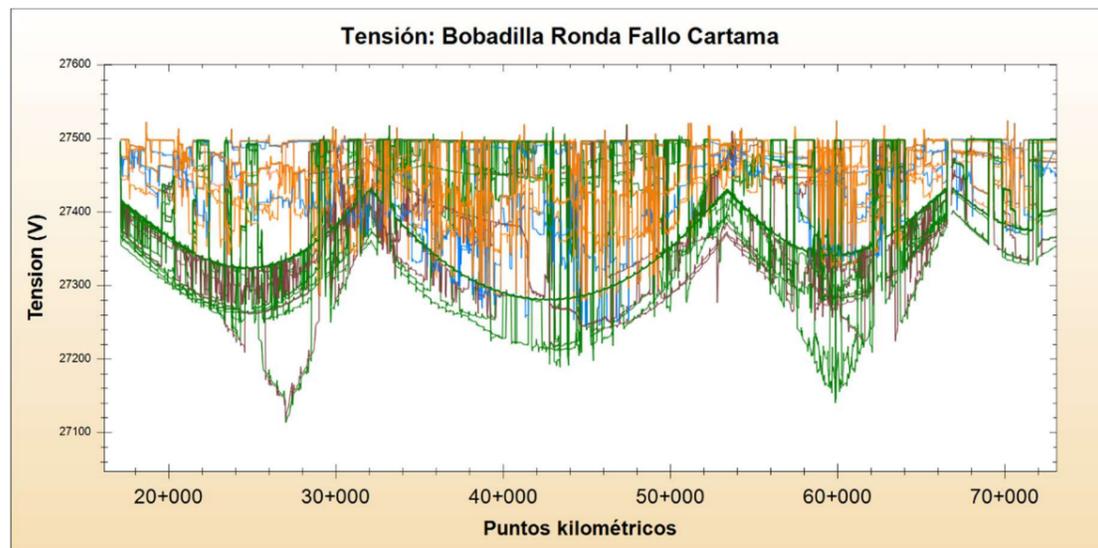


Gráfico 29. Tensiones máximas y mínimas no permanentes en catenaria. Situación degradada 2. Fallo SE cártama. Sector alimentado por SE de Ronda.

Los resultados obtenidos para estas tensiones mínimas son:

Sector	Tensióni [V]
SE La Roda (LAV)	26.464
SE Ronda	27.118

Tabla 20. Resumen tensión mínima no permanente. Situación degradada 2. Fallo en SE Cártama.

Se puede observar que los valores obtenidos de las tensiones máximas y mínimas no permanentes en la catenaria se encuentran dentro de los límites admisibles establecidos en la norma EN 50163 para esta variable. Además, se puede observar que los valores obtenidos para las tensiones media útiles se encuentran dentro de los límites admisibles establecidos en la norma EN 50388 para esta variable, mayor de 22.000 V.

### 11.3.2. Tensión accesible

En la siguiente gráfica se muestra las corrientes máximas de tensión accesible obtenidas a lo largo del sector de tracción.

Gráfico 30. Tensiones accesibles. Situación degradada 2. Fallo en SE Cártama.

Tal y como se refleja en la gráfica, el valor máximo de la tensión accesible en el tramo es 35 V, valor inferior al máximo permitido en la norma 50122, ya que como indica para determinar si se puede producir una tensión de contacto inadmisiblemente alta, se debe evaluar el potencial del carril en el punto a considerar tanto en condiciones de funcionamiento normal como en condiciones de avería.

$t$ s	$U_{b, \text{máx.}}$ V
> 300	60
300	65
1	75
0,9	80
0,8	85
0,7	90
0,6	100
0,5	120
0,4	150
0,3	230
0,2	295
0,1	345
0,05	360
0,02	370

Leyenda  
 $t$  Duración  
 $U_{b, \text{máx.}}$  Tensión admisible a través del cuerpo

Tabla 21. Tensiones a través del cuerpo máximas admisibles en el sistema de tracción de corriente alterna en función del tiempo.

### 11.3.3. Potencia subestaciones

Se muestra a continuación las potencias consumidas en las subestaciones de tracción por el consumo de la malla en cada momento, con una frecuencia de muestreo de 1 segundo.

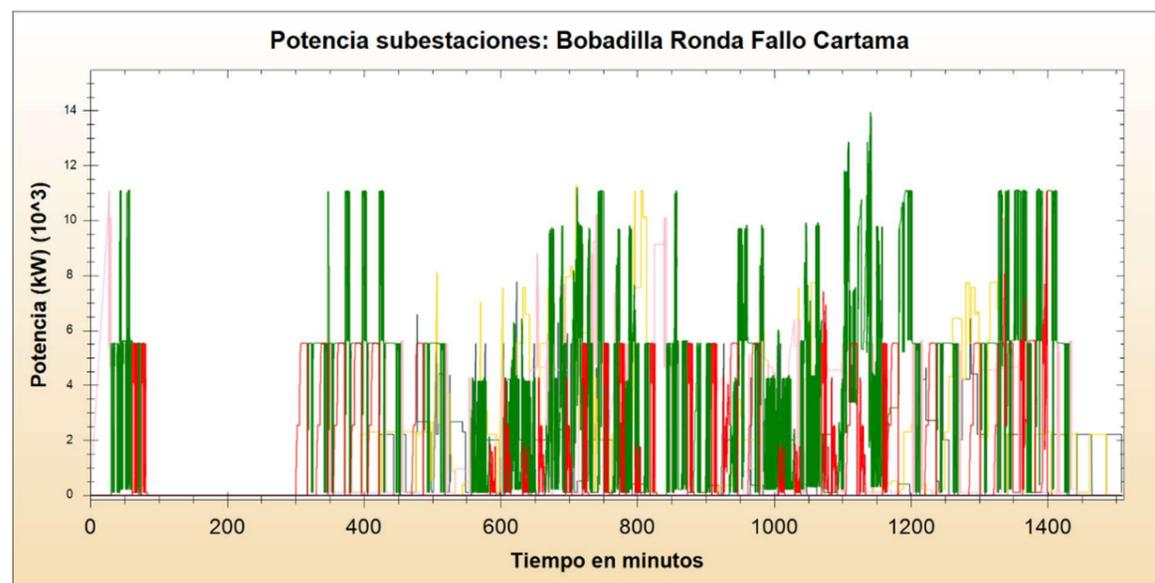


Gráfico 31. Potencia Subestaciones. Situación degradada 2. Fallo en SE Cártama.

En la siguiente tabla se puede observar los valores de tensión máximo obtenidos para intervalos de medida de 15 minutos.

Subestaciones		Potencia [kW]	Potencias Totales [kW]
Potencia máx. Ronda		16.025	15.985
Potencia máx. Marchenilla		11.779	11.691
Potencia máx. Cártama	Tramo Cordoba-Malaga	11.637	28.072
	Tramo Bobadilla-Ronda	16.397	

Tabla 22. Resumen resultados potencia máxima subestaciones. Situación degradada 1. Fallo SE Ronda.

Para cada una de las subestaciones se puede observar lo siguiente:

**Subestación de Ronda:** El valor de la máxima potencia eficaz suministrada por la subestación es menor que la potencia nominal en régimen permanente

**Subestación de Marchenilla:** El valor de la máxima potencia eficaz suministrada por la subestación es menor que la potencia nominal en régimen permanente.

**Subestación de La Roda:** El valor de la máxima potencia eficaz suministrada por la subestación es menor que la potencia nominal en régimen permanente.

### 11.3.4. Distribución de corriente en conductores

En las siguientes ilustraciones se muestran las corrientes máximas que circulan por los conductores del sistema de catenaria obtenidas a lo largo del tramo objeto del estudio.

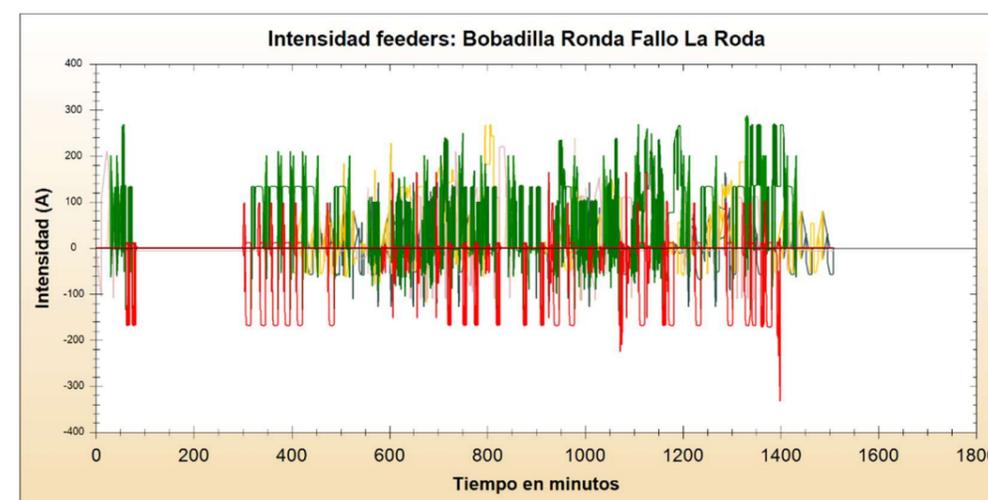


Gráfico 32. Corrientes máximas feeders. Situación degradada 2. Fallo en SE Cártama.

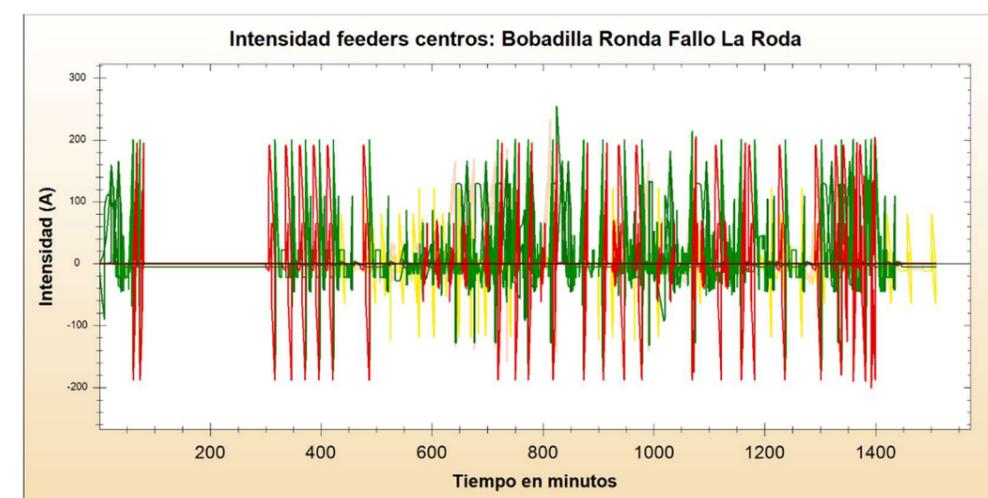


Gráfico 33. Corrientes máximas feeders centro autotransformadores. Situación degradada 2. Fallo en SE Cártama.

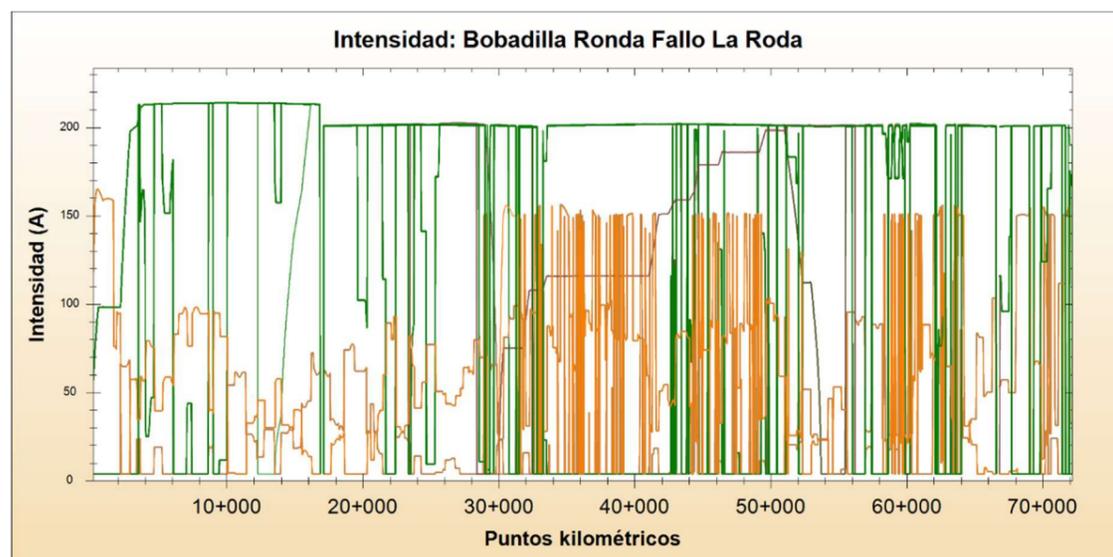


Gráfico 34. Intensidades. Situación degradada 2. Fallo en SE Cártama.

Los resultados obtenidos no superan los valores de la capacidad de transporte de corriente que soportarían dichos conductores calculada para una temperatura ambiental de 40°C con una velocidad de 1 m/s y un calentamiento por radiación solar de 1000 W/m<sup>2</sup>, según la norma EN 50119, por lo que se considera que las condiciones de transporte de corriente son adecuadas en los conductores.

#### 11.4. Situación degradada 3. Fallo en SE La Roda. Tramo Bobadilla-Ronda

Se analiza a continuación el funcionamiento de las instalaciones, para una situación degradada de funcionamiento, determinándose los valores de tensión en cada uno de los trenes en cada momento, así como los valores de potencia en las subestaciones de tracción.

##### 11.4.1. Tensión en el pantógrafo

En la siguiente grafica podemos observar la evolución de la tensión en el pantógrafo para cada momento de circulación, en el sector alimentado por la SE de Cártama.

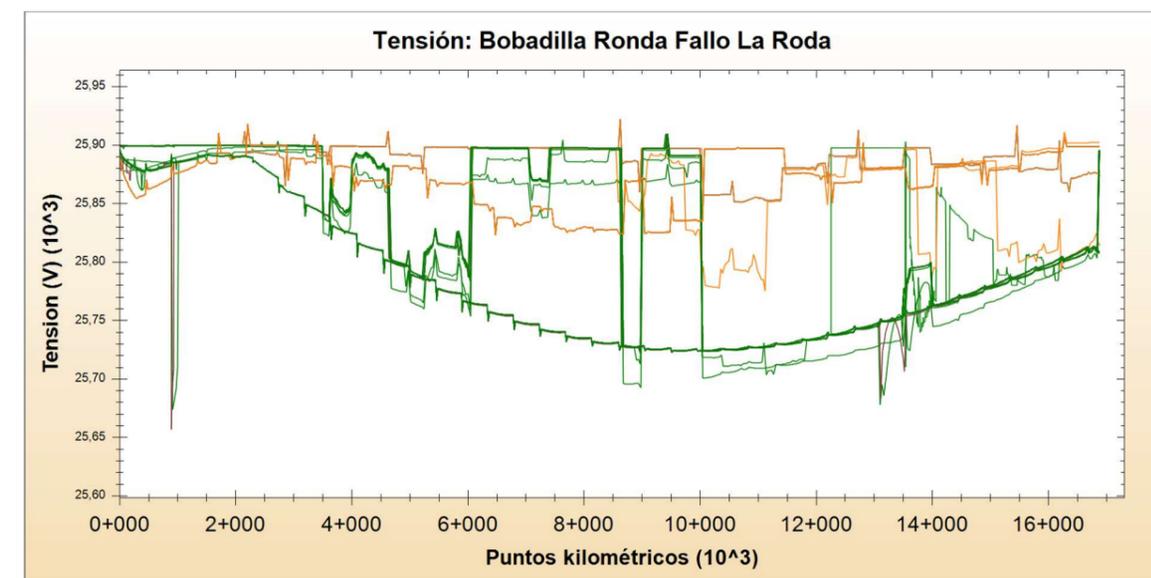


Gráfico 35. Tensiones máximas y mínimas no permanentes en catenaria. Situación degradada 3. Fallo SE La Roda. Sector alimentado por SE de Cártama.

En la siguiente ilustración se observa la evolución de la tensión en el pantógrafo para cada momento de circulación, en el sector alimentando por la SE de Ronda.

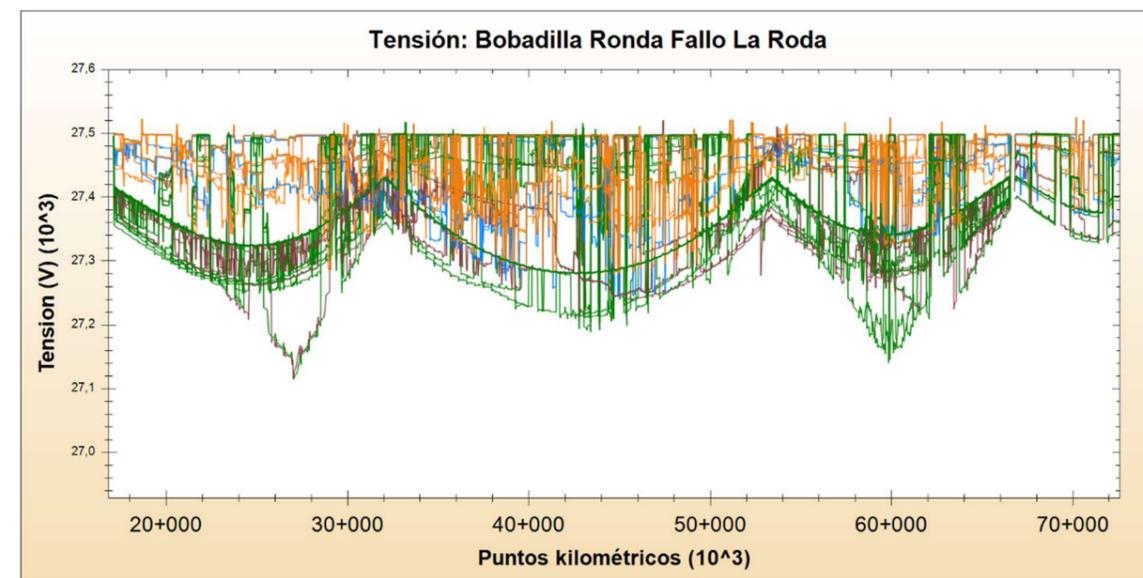


Gráfico 36. Tensiones máximas y mínimas no permanentes en catenaria. Situación degradada 3. Fallo SE La Roda. Sector alimentado por SE de Ronda.

Los resultados obtenidos para estas tensiones mínimas son:

Sector	Tensión [V]
SE Cártama (LAV)	25.959
SE Ronda	27.114

Tabla 23. Resumen tensión mínima no permanente. Situación degradada 3. Fallo en SE La Roda.

Se puede observar que los valores obtenidos de las tensiones máximas y mínimas no permanentes en la catenaria se encuentran dentro de los límites admisibles establecidos en la norma EN 50163 para esta variable. Además, se puede observar que los valores obtenidos para las tensiones media útiles se encuentran dentro de los límites admisibles establecidos en la norma EN 50388 para esta variable, mayor de 22.000 V.

#### 11.4.2. Tensión accesible

En la siguiente gráfica se muestra las corrientes máximas de tensión accesible obtenidas a lo largo del sector de tracción.

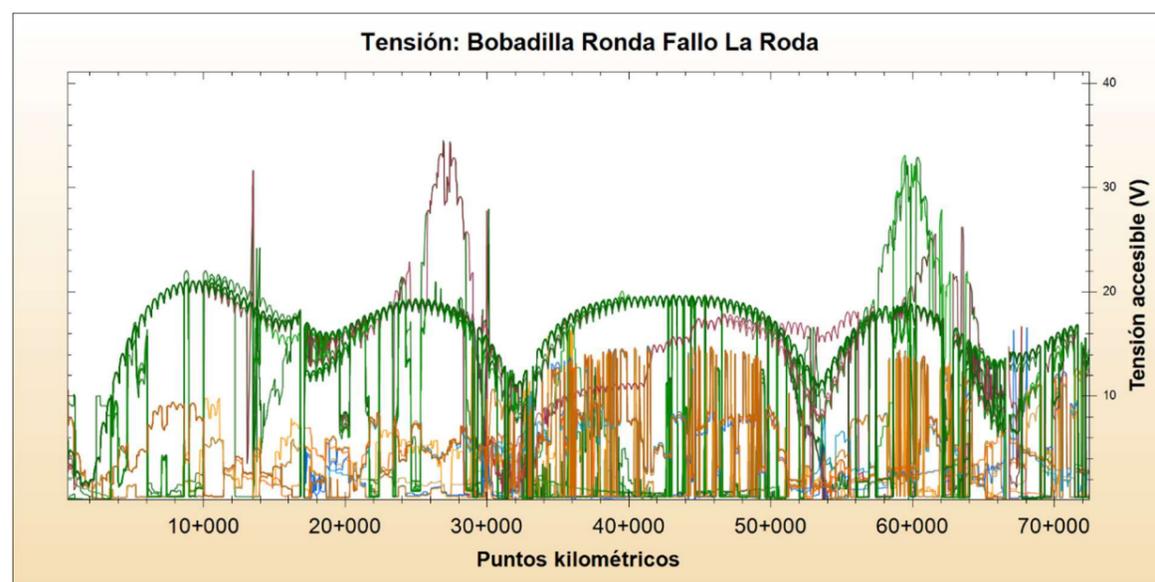


Gráfico 37. Tensiones accesibles. Situación degradada 3. Fallo en SE La Roda.

Tal y como se refleja en la gráfica, el valor máximo de la tensión accesible en el tramo es 34 V, valor inferior al máximo permitido en la norma 50122, ya que como indica para determinar si se puede producir una tensión de contacto inadmisiblemente alta, se debe evaluar el potencial del

carril en el punto a considerar tanto en condiciones de funcionamiento normal como en condiciones de avería.

$t$ s	$U_{b, \text{máx.}}$ V
> 300	60
300	65
1	75
0,9	80
0,8	85
0,7	90
0,6	100
0,5	120
0,4	150
0,3	230
0,2	295
0,1	345
0,05	360
0,02	370

Leyenda  
 $t$  Duración  
 $U_{b, \text{máx.}}$  Tensión admisible a través del cuerpo

Tabla 24. Tensiones a través del cuerpo máximas admisibles en el sistema de tracción de corriente alterna en función del tiempo.

#### 11.4.3. Potencia subestaciones

Se muestra a continuación las potencias consumidas en las subestaciones de tracción por el consumo de la malla en cada momento, con una frecuencia de muestreo de 1 segundo.

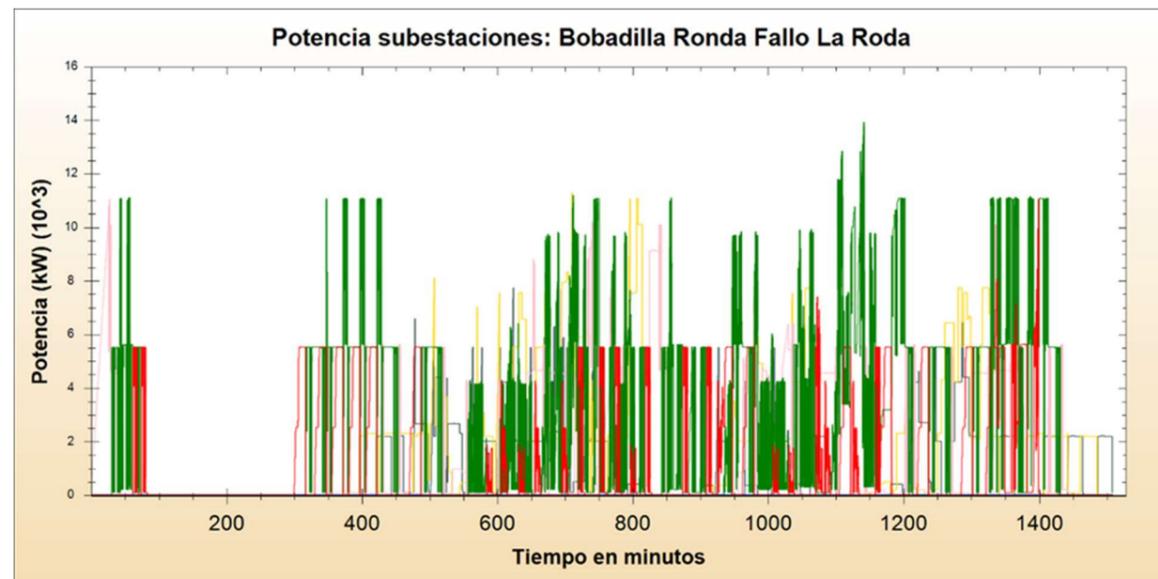


Gráfico 38. Potencia Subestaciones. Situación degradada 3. Fallo en SE La Roda.

En la siguiente tabla se puede observar los valores de tensión máximo obtenidos para intervalos de medida de 15 minutos.

Subestaciones		Potencia [kW]	Potencias Totales [kW]
Potencia máx. Ronda		16.025	16.025
Potencia máx. Marchenilla		11.779	11.779
Potencia máx. Cártama	Tramo Cordoba-Malaga	11.637	28.034
	Tramo Bobadilla-Ronda	16.397	

Tabla 25. Resumen resultados potencia máxima subestaciones. Situación degradada 3. Fallo SE La Roda.

Para cada una de las subestaciones se puede observar lo siguiente:

**Subestación de Ronda:** El valor de la máxima potencia eficaz suministrada por la subestación es menor que la potencia nominal en régimen permanente

**Subestación de Marchenilla:** El valor de la máxima potencia eficaz suministrada por la subestación es menor que la potencia nominal en régimen permanente.

**Subestación de Cártama:** El valor de la máxima potencia eficaz suministrada por la subestación es menor que la potencia nominal en régimen permanente.

11.4.4. Distribución de corriente en conductores

En las siguientes ilustraciones se muestran las corrientes máximas que circulan por los conductores del sistema de catenaria obtenidas a lo largo del tramo objeto del estudio.

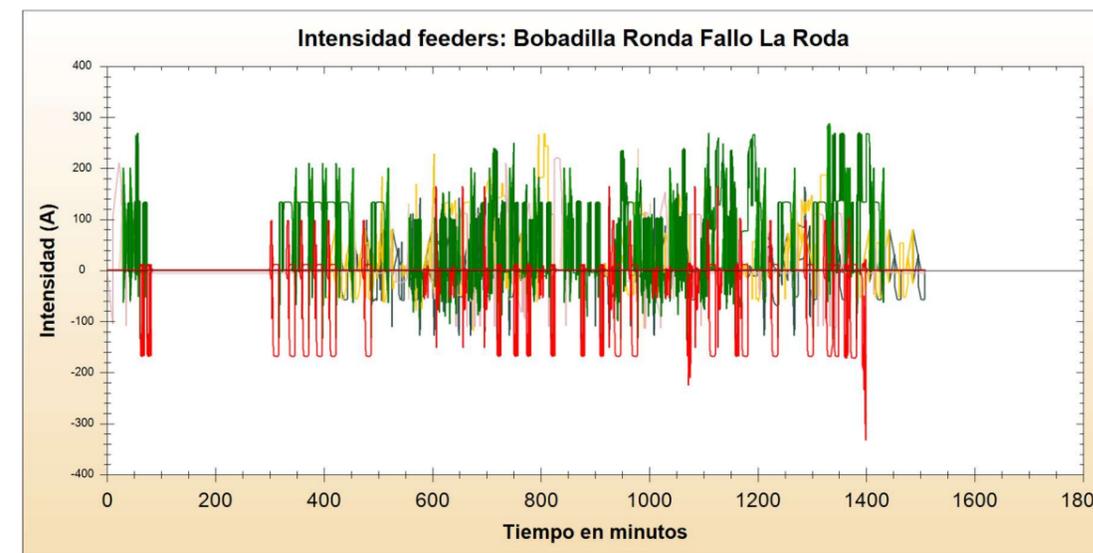


Gráfico 39. Corrientes máximas feeders. Situación degradada 3. Fallo en SE La Roda.

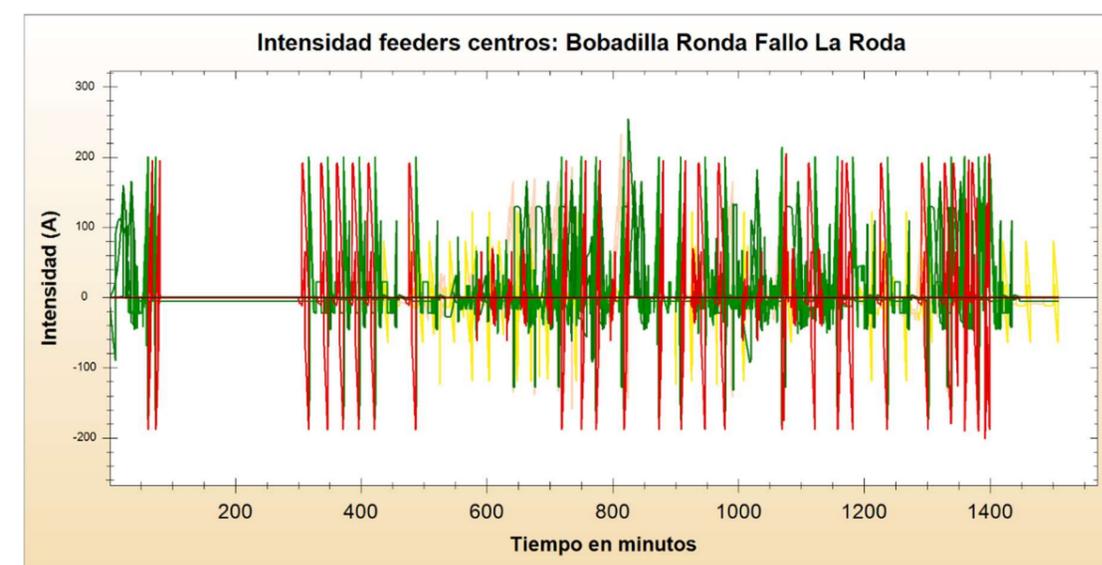


Gráfico 40. Corrientes máximas feeders centro autotransformadores. Situación degradada 3. Fallo en SE La Roda.

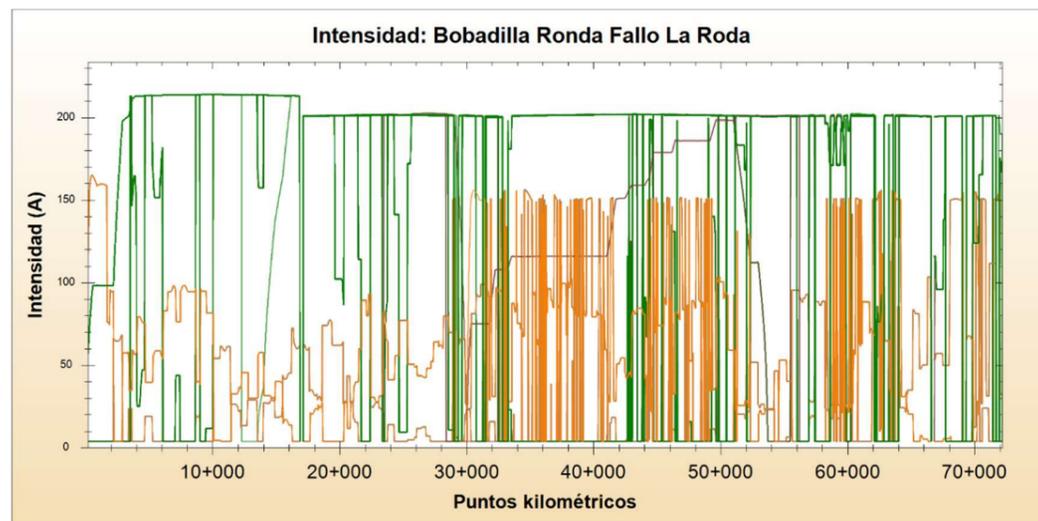


Gráfico 41. Intensidades. Situación degradada 3. Fallo en SE La Roda

## 12. Intensidad de Cortocircuito

Se analiza a continuación la intensidad de cortocircuito entre la catenaria y el carril a lo largo del tramo Bobadilla-ronda.

Como se puede observar en la gráfica, el valor de intensidad máxima se obtiene en las inmediaciones de las subestaciones de tracción, presentando pequeños incrementos en los puntos donde se encuentran los centros de autotransformación.

Los valores obtenidos son inferiores a la máxima permitida en la norma UNE-EN 50388, tabla 6, nivel máximo de corriente de cortocircuito entre catenaria y carril.

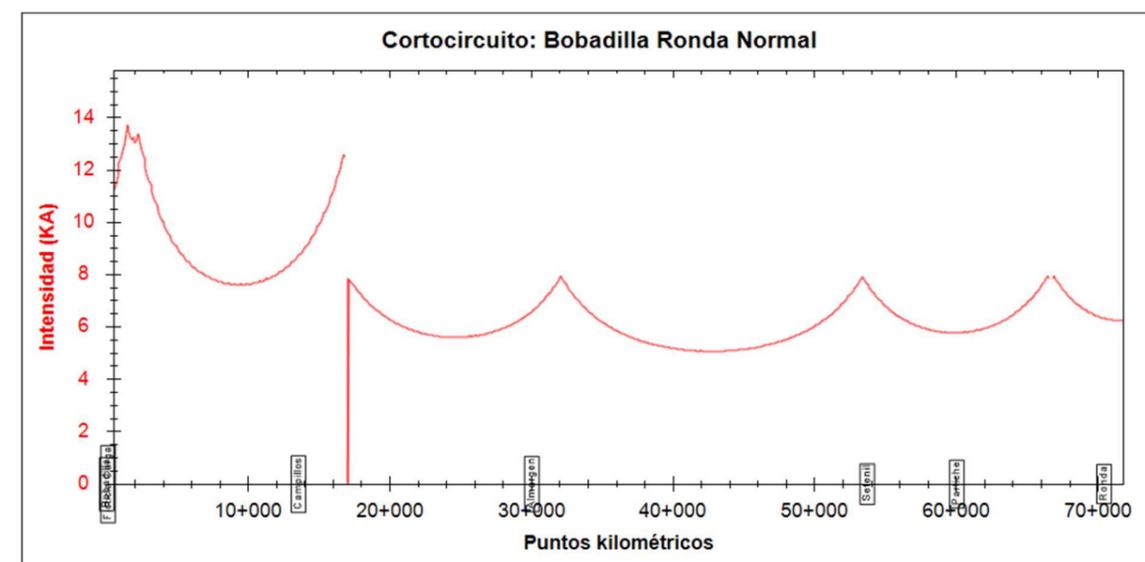


Gráfico 42. Intensidad de cortocircuito. Tramo Bobadilla-Ronda

Los resultados obtenidos no superan los valores de la capacidad de transporte de corriente que soportarían dichos conductores calculada para una temperatura ambiental de 40°C con una velocidad de 1 m/s y un calentamiento por radiación solar de 1000 W/m<sup>2</sup>, según la norma EN 50119, por lo que se considera que las condiciones de transporte de corriente son adecuadas en los conductores.

### 13. Conclusiones

En el presente estudio se han presentado los resultados del dimensionamiento energético del tramo comprendido entre Bobadilla-Ronda. Para ello se ha realizado el escenario de explotación de la línea tanto en situaciones normales como en situaciones degradadas.

En la siguiente tabla se resumen todos los escenarios estudiados:

Número	Situación explotación	Subestaciones
1	Normal	Todas las subestaciones en funcionamiento
2	Degradada	Fallo en Ronda
3	Degradada	Fallo en Cártama
4	Degradada	Fallo en la Roda

Tabla 26. Tabla escenarios estudiados. Tramo Bobadilla-Ronda.

Como se ha podido constatar a través de los resultados obtenidos en el escenario de explotación normal y en los escenarios de explotación degradada, las subestaciones de tracción planteadas con dos grupos transformadores de 30 MVA cada uno (uno de ellos funcionando y el otro actuando como reserva) y los grupos de 10 MVA de los centros de autotransformación, son capaces de asumir las demandas de potencia en todos los casos estudiados, cumpliendo con los niveles de sobrecarga admisibles establecidos en la norma EN 50329 y manteniendo sus posiciones iniciales de estudio.

Centro	P.K.	Potencia Instalada
ATI 402.6	2+040	10 MVA
ATF 411.1	16+950	2X10 MVA
ATI 411.2	32+100	10 MVA
ATI 411.3	53+400	10 MVA
SE RONDA	66+650	2X30 MVA
ATI 411.4	76+180	10 MVA
ATI 411.5	87+310	10 MVA
ATF 412.1	100+200	2X10 MVA
ATI 412.2	118+900	10 MVA
ATI 412.3	134+820	10 MVA
SE MARCHENILLA	150+340	2X30 MVA
ATI 412.4	167+200	10 MVA
ATI 412.5	175+900	10 MVA

Tabla 27. Ubicación y potencia de los centros estudiados Línea Bobadilla-Algeciras.

Teniendo en cuenta lo establecido por el 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 su apartado 4.2.2.1 (alimentación eléctrica), los condicionantes que se han estudiado verifican que se cumple dicha normativa, lo cual se muestra en la siguiente tabla..

Número	Subsistema	Resultados
4.2.3	Tensión y frecuencia	De acuerdo a los valores establecidos en la UNE EN 50163
4.2.4	Rendimiento del sistema de alimentación	De acuerdo con los valores establecidos en la UNE EN 50388
4.2.5	Capacidad de transporte de corriente	De acuerdo con los valores establecidos en la UNE EN 50119

Tabla 28. Resumen de condicionantes ETI del subsistema de energía.

En el cálculo de las tensiones máximas y mínimas en catenaria se cumple con los valores admisibles de la norma EN 50163.

Por lo tanto, no es necesario utilizar ningún feeder de refuerzo, manteniéndose el sistema de electrificación planteado desde el inicio, un sistema de configuración 2x25 kV con 5 conductores:

Conductor	Tensión [V]	Tipo	Sección (mm <sup>2</sup> )
Hilo de contacto	25000	Cu Ag 0,1%	120
Hilo sustentador	25000	Cu ETP	95
Conductor de Retorno	0	LA 110	116,2
Carril exterior	0	UIC 60	7611
Feeder negativo	-25000	LA 280	281,1

Tabla 29. Conductores del Sistema de Electrificación.

La distribución de corrientes máximas que circulan por los conductores que forman el sistema de catenaria en todo momento se encuentran dentro de los valores admisibles de capacidad de corriente de los conductores utilizados.

Además, cabe destacar que el subsistema de energía es capaz de suministrar a todas las composiciones de explotación regular una potencia de hasta 2 MW sin limitación de la corriente

---

o la potencia. Este hecho se evidencia gracias a las corrientes máximas reflejadas y a los valores de tensiones obtenidos.