



Co-financed by the Connecting Europe
Facility of the European Union



Consultoría y Asistencia Técnica para la redacción del Estudio de Viabilidad, Anteproyecto, Proyecto Constructivo de Referencia, Documentación Ambiental, Plan de Explotación y Programa Económico de una

Línea de Tranvía Este – Oeste en Zaragoza

ANTEPROYECTO

Anejo nº10. Suministro y catenaria

Zaragoza, marzo de 2019



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO	8	6. CABLES DE MEDIA TENSIÓN	19
2. NORMAS DE APLICACIÓN.....	9	7. CATENARIA. LÍNEA AÉREA TRANVIARIA (LAT).....	20
3. ACOMETIDAS DE ENDESA DISTRIBUCIÓN ENERGÍA (EDE)	10	7.1. PARÁMETROS DE DISEÑO	20
4. CENTROS DE ACOMETIDA Y MEDIDA.....	10	7.2. CRITERIOS DE DISEÑO.....	20
5. SUBESTACIONES DE TRACCIÓN.....	12	7.2.1. Distribución de vanos	20
5.1. GENERALIDADES	12	7.2.2. Tramificación de la catenaria.....	20
5.2. RED DE TIERRAS SUBESTACIONES	13	7.2.3. Altura mínima de los hilos de contacto en los puntos de suspensión	21
5.3. CELDAS MT.....	13	7.2.4. Agujas aéreas	21
5.4. GRUPOS RECTIFICADORES	14	7.2.5. Retorno de la corriente. Cable de guarda y tierra	21
5.5. INTERRUPTORES EXTRARRÁPIDOS.....	15	7.2.6. Elementos estructurales tipo	22
5.6. CUADROS DE SECCIONADORES.....	15	8. SERVICIOS AUXILIARES	23
5.7. SISTEMA DE APERTURA DE EXTRARRÁPIDO	16	8.1. TRANSFORMADORES DE INSTALACIONES DE SERVICIOS AUXILIARES	23
5.7.1. Por sobrecarga.....	16	8.2. CUADRO SERVICIOS AUXILIARES SUBESTACIÓN	24
5.7.2. Por crecimiento rápido de intensidad (DDT).....	16	8.3. ALUMBRADO Y FUERZA	24
5.7.3. Protección de cortocircuitos lejanos (DDL).....	16	8.4. CUADRO DE CORRIENTE CONTINUA.....	24
5.7.4. Protección por orden de arrastre procedente de subestaciones colaterales.....	16	8.5. CONTRA INCENDIOS.....	25
5.8. CIERRE DEL EXTRARRÁPIDO	17	8.6. VENTILACIÓN.....	25
5.8.1. Equipo de reenganche automático.....	17	8.7. DETECCIÓN DE INTRUSOS	25
5.8.2. Equipo de prueba de diferencia de tensión entre catenaria y rectificador	18	9. MANDO Y CONTROL DE LA INSTALACIÓN	26
5.8.3. Equipo de prueba de cortocircuito entre catenaria y carril	18	9.1. MANDO Y CONTROL DE LA INSTALACIÓN	26



Co-financed by the Connecting Europe
Facility of the European Union

9.2. MANDO LOCAL	26	12.4.2. Simulaciones con configuración doble	44
9.3. MANDO A DISTANCIA	27	12.5. CONCLUSIONES	49
10. RED DE TIERRAS LÍNEA.....	28	12.6. DATOS GEOMÉTRICOS EMPLEADOS	50
11. BAJA TENSIÓN EN PARADAS DE SUPERFICIE	29	12.6.1. Tronco común – Ramal Las Fuentes: Planta	50
11.1. ACOMETIDA	29	12.6.2. Ramal Las Fuentes – Tronco común: Planta	53
11.2. CARGAS ANDÉN SENCILLO	29	12.6.3. Tronco común – Ramal Las Fuentes: Alzado	56
11.3. CARGAS ANDÉN DOBLE	30	12.6.4. Ramal Las Fuentes – Tronco común: Alzado	58
11.4. INSTALACIÓN	31	12.6.5. Tronco común – Ramal San José: Planta	61
11.5. ALUMBRADO	32	12.6.6. Ramal San José – Tronco común: Planta.....	64
11.6. RED DE TIERRAS	32	12.6.7. Tronco común – Ramal San José: Alzado.....	67
12. INFORME DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN	32	12.6.8. Ramal San José – Tronco común: Alzado.....	70
12.1. OBJETO Y ALCANCE	32		
12.2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO	33		
12.2.1. Introducción	33		
12.2.2. Datos de entrada	33		
12.2.3. Realización de los cálculos.....	34		
12.2.4. Resultados proporcionados por el programa	35		
12.3. DATOS DE PARTIDA.....	35		
12.3.1. Material rodante.....	35		
12.3.2. Geometría.....	38		
12.3.3. Malla de explotación. Horarios y frecuencias	39		
12.3.4. Esquema eléctrico	39		
12.4. DESARROLLO DE LAS SIMULACIONES.....	40		
12.4.1. Simulación con configuración simple	40		



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Curva F-V traccionando para unidades simples	36	Ilustración 18. Caída de tensión escenario 2	43
Ilustración 2. Curva F-V frenando para unidades simples	36	Ilustración 19. Potencia S/E 1 para escenario 2	43
Ilustración 3. Curva I-V traccionando para unidades simples	36	Ilustración 20. Caída de tensión escenario 3	43
Ilustración 4. Curva I-V frenando para unidades simples	36	Ilustración 21. Potencia S/E 1 para escenario 3	43
Ilustración 5. Curva F-V traccionando para unidades dobles	37	Ilustración 22. Caída de tensión escenario 4	44
Ilustración 6. Curva F-V frenando para unidades dobles	37	Ilustración 23. Potencia S/E 1 para escenario 4	44
Ilustración 7. Curva I-V traccionando para unidades dobles	37	Ilustración 24. Caída de tensión con configuración doble	44
Ilustración 8. Curva I-V frenando para unidades dobles	38	Ilustración 25. Curva potencia S/E 1	45
Ilustración 9. Esquema representativo frecuencias de servicio	39	Ilustración 26. Curva potencia S/E 2	45
Ilustración 10. Curva de caída de tensión en servicio	40	Ilustración 27. Curva potencia S/E 3	45
Ilustración 11. Curva potencia S/E 1	41	Ilustración 28. Curva potencia S/E 4	45
Ilustración 12. Curva potencia S/E 3	41	Ilustración 29. Curva potencia S/E 5	46
Ilustración 13. Curva potencia S/E 4	41	Ilustración 30. Curva potencia S/E 6	46
Ilustración 14. Curva potencia S/E 5	41	Ilustración 31. Caída de tensión escenario 1	46
Ilustración 15. Curva potencia S/E 6	42	Ilustración 32. Potencia S/E 2 para escenario 1	47
Ilustración 16. Caída de tensión escenario 1	42	Ilustración 33. Caída de tensión escenario 2	47
Ilustración 17. Potencia S/E 3 para escenario 1	42	Ilustración 34. Potencia S/E 2 para escenario 2	47



Ilustración 35. Caída de tensión escenario 3	47
Ilustración 36. Potencia S/E 1 para escenario 3.....	48
Ilustración 37. Caída de tensión escenario 4	48
Ilustración 38. Potencia S/E 4 escenario 4	48
Ilustración 39. Planta Tronco común - Las Fuentes	52
Ilustración 40. Planta Las Fuentes (vuelta) - Tronco común	55
Ilustración 41. Alzado Tronco común - Las Fuentes	58
Ilustración 42. Alzado Las Fuentes - Tronco común	60
Ilustración 43. Planta tronco común - San José	63
Ilustración 44. Planta San José - Tronco común	66
Ilustración 45. Alzado Tronco común - San José	69
Ilustración 46. Alzado San José - Tronco común	72



Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los postes	22	Tabla 18. Geometría planta Tronco común - Las Fuentes.....	50
Tabla 2. Resumen de cargas andén sencillo.....	29	Tabla 19. Geometría planta Las Fuentes - Tronco común.....	53
Tabla 3. Líneas alimentadas por cuadro de servicios no críticos. Andén sencillo	30	Tabla 20. Geometría alzado Tronco común - Las Fuentes	56
Tabla 4. Líneas alimentadas por cuadro de servicios críticos. Andén sencillo	30	Tabla 21. Geometría alzado Las Fuentes - Tronco común	58
Tabla 5. Resumen de cargas andén doble.....	30	Tabla 22. Geometría planta Tronco común - San José.....	61
Tabla 6. Líneas alimentadas por cuadro de servicios no críticos. Andén doble	31	Tabla 23. Geometría San José - Tronco común	64
Tabla 7. Líneas alimentadas por cuadro de servicios críticos. Andén doble	31	Tabla 24. Geometría alzado Tronco común - San José	67
Tabla 8. Ubicación de paradas	38	Tabla 25. Geometría alzado San José - Tronco común	70
Tabla 9. Características de las subestaciones	39		
Tabla 10. Situación subestaciones	40		
Tabla 11. Escenarios degradados para unidades simples.....	42		
Tabla 12. Situación subestaciones	44		
Tabla 13. Escenarios degradados para unidades dobles.....	46		
Tabla 14. Resumen potencias con unidades simples	49		
Tabla 15. Resumen caídas de tensión para unidades simples	49		
Tabla 16. Resumen potencias con unidades dobles	49		
Tabla 17. Resumen caídas de tensión para unidades dobles	49		

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

El presente Anejo nº 10.- Suministro y Catenaria forma parte del Anteproyecto correspondiente al “Estudio de Viabilidad, Anteproyecto, Proyecto Constructivo de Referencia, Documentación Ambiental, Plan de Explotación y Programa Económico de una Línea de Tranvía Este - Oeste en Zaragoza”. Su desarrollo se ha efectuado al finalizar la fase de información pública con la contestación de las Alegaciones y la aprobación del "Estudio de viabilidad de Alternativas de línea de Tranvía Este-Oeste en Zaragoza".

El objeto del presente Anejo es describir las características de la línea aérea de contacto y de las subestaciones eléctricas de tracción a instalar en el tranvía.

Para la línea aérea de contacto se ha previsto la instalación de Catenaria tipo Trolley, dado que la totalidad del trazado es una línea en superficie.

Se prevé la construcción de 6 subestaciones:

- SUBESTACIÓN 1 (SST1), con acometida 1 de ENDESA
- SUBESTACIÓN 2 (SST2)
- SUBESTACIÓN 3 (SST3)
- SUBESTACIÓN 4 (SST4)
- SUBESTACIÓN 5 (SST5)
- SUBESTACIÓN 6 (SST6), con acometida 2 de ENDESA y alimentación de talleres y cocheras

Cada una de ellas irá equipada con dos grupos rectificadores de 900 kW dedicados a tracción. Adicionalmente, SST6 dispondrá un grupo mixto, dedicado a tracción y servicios propios de cocheras.

Las subestaciones estarán interconectadas entre sí mediante una terna de cables MT, pudiendo alimentarse desde cualquiera de las 2 acometidas de ENDESA (nunca simultáneamente). De esta forma, en caso de fallo de una acometida o de un tramo de unión, la otra podrá seguir dando servicio a la subestación, reduciéndose muy notablemente el riesgo de pérdida total de energía en cada una de las subestaciones.



En el exterior de las subestaciones SST1 y SST6 se instalarán los equipos de medida fiscal de energía correspondientes.

2. NORMAS DE APLICACIÓN

Para la elaboración del anteproyecto se ha tenido en cuenta la siguiente normativa:

- Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23 (RD 337/2014), corrección de errores y actualizaciones posteriores.
- Reglamento sobre las Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Líneas Eléctricas de Alta Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (RD 223/2008), corrección de errores y actualizaciones posteriores.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias (RD 842/2002), corrección de errores y actualizaciones posteriores.
- Normativa UNE-EN / IEC que sea de aplicación.
- Normas particulares de ENDESA DISTRIBUCIÓN ENERGÍA (EDE).
- Recomendaciones UNESA.
- Reglamento de Seguridad e Higiene en el trabajo según Decreto 432/1971 de 11 de Marzo de 1971 y Orden de 9 de Marzo de 1971 por la que se aprueba la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Ley 31/1995 de 8 de Noviembre sobre prevención de Riesgos Laborales B.O.E. nº 269 de 10 de Noviembre de 1.995.
- R.D. 2177/96 que aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE-CPI 96: Condiciones de protección contra incendios en los edificios. B.O.E. de 13 de Noviembre de 1.996.
- Ordenanzas Municipales del Ayuntamiento de Zaragoza.
- Condiciones impuestas por las entidades públicas afectadas.

3. ACOMETIDAS DE ENDESA DISTRIBUCIÓN ENERGÍA (EDE)

Se ha realizado solicitud de condiciones de suministro a EDE, no habiéndose obtenido respuesta oficial.

Aunque está pendiente de confirmación, en este documento se proponen 2 acometidas independientes de EDE conectadas en las subestaciones extremas SST1 y SST6, con capacidad cada una de ellas para la totalidad de la demanda de la línea este-oeste del tranvía (5,25 MW).

En base a las características de las acometidas de la Línea 1 del tranvía de Zaragoza, se han considerado en este anteproyecto los siguientes datos eléctricos básicos para cada una de ellas:

- Tensión nominal de servicio: 10 kV (futuro 15 kV)
- Tensión máxima de servicio: 11 kV (futuro 16,5 kV)
- Corriente cortocircuito trifásico: 20 kA
- Potencia cortocircuito trifásico: 350 MVA (futuro 500 MVA)
- Régimen de neutro MT: Aislado
- Intensidad defecto a tierra: 10 A
- Tiempo de desconexión: 500 ms

4. CENTROS DE ACOMETIDA Y MEDIDA

Se han previsto dos centros de acometida y medida para la entrega de energía por parte de la compañía suministradora ENDESA DISTRIBUCIÓN ENERGÍA (EDE), próximos a las subestaciones SST1 y SST6 respectivamente.

El centro de acometida y medida que suministrará energía a la línea este-oeste del tranvía a través de la subestación SST1 estará formado por un edificio prefabricado de tipo enterrado, compartido por EDE y por los servicios de mantenimiento del tranvía. En su interior se dispondrán las siguientes celdas:

- Celdas propiedad de EDE: celdas de entrada y salida de anillo y celda de seccionamiento hacia cliente.
- Celdas propiedad del tranvía: celdas de protección y medida fiscal.

El centro de acometida y medida que suministrará energía a la línea este-oeste del tranvía a través de la subestación SST6 se integrará en el edificio de talleres y cocheras. En este caso se realizará separación física EDE-Tranvía, disponiéndose una puerta de acceso a las celdas propiedad de EDE y otra a las del Tranvía.

Se cumplirá la normativa de la compañía suministradora (EDE); en particular, la especificación particular NRZ102 (Instalaciones privadas conectadas a la red de distribución. Consumidores en alta y media tensión).

A continuación, se realiza una descripción general de las celdas de cada uno de los dos centros de acometida y medida:

Celda 1: Entrada Anillo (EDE). Interruptor-seccionador

- Interruptor en carga SF₆ de acometida de 24 kV y 1.250 A.
- Seccionador tripolar de puesta a tierra de 24 kV.
- 3 detectores capacitivos de tensión.
- Señalización y enclavamientos necesarios.

Celda 2: Salida Anillo (EDE). Interruptor-seccionador

- Interruptor en carga SF₆ de acometida de 24 kV y 1.250 A.

- Seccionador tripolar de puesta a tierra de 24 kV.
- 3 detectores capacitivos de tensión.
- Señalización y enclavamientos necesarios.

Celda 3: Seccionamiento hacia Cliente (EDE). Interruptor-seccionador

- Interruptor en carga SF₆ de acometida de 24 kV y 1.250 A.
- Señalización y enclavamientos necesarios.

Celda 4. Protección General (Tranvía)

- Seccionador de línea, 24 kV y 1.250 A.
- Seccionador tripolar de puesta a tierra de 24 kV.
- Interruptor tripolar con extinción de arco en SF₆ de 24 kV, 1.250 A y 20 kA / 1 seg de poder de corte.
- 1 relé multifunción, con las siguientes funciones ANSI parametrizadas: 50-51, 67N, 27, 59.
- 3 transformadores de intensidad.
- 3 transformadores de tensión.
- 1 transformador toroidal.
- 3 detectores capacitivos de tensión.
- Panel de mando y control. Se dispondrá la señalización, enclavamientos y protecciones necesarios.

Celda 5. Medida de energía fiscal (Tranvía)

- 3 Transformadores de medida de tensión: Tipo inductivo, UNE-EN 61869-1 y UNE-EN 61869-3, Factor de tensión 1,2 Un en permanencia y 1,9 Un en 8 h, Tensiones 11000-16500/√3 V : 110/√3 V (cl.0,2-25VA) : 110/3 V (cl.6P-10VA).

- 3 Transformadores de medida de intensidad: UNE-EN 61869-1 y UNE-EN 61869-2, Relación de transformación x/5 A (cl.0,2S-15VA-FS<5) – 5 A (cl.5P-15VA).

Las características generales de las celdas son las siguientes:

- Ejecución blindada y apartada no extraíble.
- Tensión nominal: 24 kV.
- Nivel de aislamiento a frecuencia industrial (1 min):
 - A tierra y entre fases: 50 kV
 - A la distancia de seccionamiento: 60 kV
- Nivel de aislamiento con impulso tipo rayo:
 - A tierra y entre fases: 125 kV
 - A la distancia de seccionamiento: 145 kV
- Intensidad de cortocircuito: 20 kA / 1 seg ; 50 kA cresta.

En cada uno de los dos centros de acometida y medida se instalará un equipo de medida de energía fiscal, homologado por EDE, compuesto por los siguientes equipos básicos:

- 1 Contador tarifador electrónico multifunción / registrador.
- 1 Módem externo (o interno, si EDE entiende que su sustitución no supone rotura de precintos ni afecta a la medida).
- 1 Regleta de verificación.
- 1 Armario de medida.
- 1 Base schuko, un interruptor magnetotérmico y un relé diferencial para la conexión de comunicaciones remotas.

5. SUBESTACIONES DE TRACCIÓN

5.1. GENERALIDADES

En lo referente a las subestaciones eléctricas de tracción las actuaciones contempladas en el Anteproyecto se pueden resumir de la siguiente forma:

Subestación nº 1 (SST1), con acometida 1 de EDE

- Situada en el PK 1.538.
- Tipo subterránea.
- Dos grupos de tracción de línea, de 900 kW cada uno.
- Un transformador 160 kVA para servicios auxiliares de la subestación.

Subestación nº 2 (SST2)

- Situada en el PK 2.538.
- Tipo subterránea.
- Previsión futura ampliación de 2 grupos de tracción de 900 kW/Ud y 1 transformador 160 kVA para SS.AA. de la subestación. Inicialmente se ejecutará lo básico (edificio prefabricado, obra civil, red de p.a.t., 2 celdas MT (E/S) e instalaciones auxiliares básicas).

Subestación nº 3 (SST3)

- Situada en el PK 3.997.
- Tipo subterránea.
- Dos grupos de tracción de línea, de 900 kW cada uno.
- Un transformador 160 kVA para servicios auxiliares de la subestación.

Subestación nº 4 (SST4)

- Situada en el PK 7.075.
- Tipo subterránea.
- Dos grupos de tracción de línea, de 900 kW cada uno.
- Un transformador 160 kVA para servicios auxiliares de la subestación.

Subestación nº 5 (SST5)

- Situada en el PK 6.672.
- Tipo subterránea.
- Dos grupos de tracción de línea, de 900 kW cada uno.
- Un transformador 160 kVA para servicios auxiliares de la subestación.

Subestación nº 6 (SST6), con acometida 2 de EDE y alimentación de talleres y cocheras

- Situada en el PK 7.950.
- Tipo superficie, integrada en edificio de talleres y cocheras.
- Dos grupos de tracción de línea, de 900 kW cada uno.
- Un grupo de tracción de talleres y cocheras, de 900 kW.
- Un transformador 1.000 kVA para servicios auxiliares de la subestación, talleres y cocheras.

La implantación de equipos en las subestaciones y los esquemas unifilares simplificados de media tensión y de tracción pueden comprobarse en los planos correspondientes.

5.2. RED DE TIERRAS SUBESTACIONES

Cada una de las 6 subestaciones dispondrá de una red única de puesta a tierra (p.a.t.) equipotencial. Asimismo, las redes de p.a.t. de las subestaciones estarán interconectadas entre sí a través de las pantallas de los cables MT.

Dado que el régimen de neutro en MT es aislado, la corriente de defecto a tierra es muy baja (en torno a 10 A). Por tanto, ante faltas en la red de MT, los valores máximos de tensión de contacto en BT ($R_{pat} \cdot I_d$) van a estar por debajo de los valores de tensión de aislamiento de los equipos BT y de la tensión de contacto aplicada que exige el REBT para poder conectar el neutro del sistema de BT a la red de p.a.t. del sistema de MT y a la red de p.a.t. del sistema BT.

El electrodo de p.a.t. de la red equipotencial de las subestaciones estará compuesto por una malla realizada con cable desnudo de cobre bajo la losa de cimentación y picas de acero cobreado repartidas por el perímetro de la misma. Se deberá realizar un estudio de resistividad eléctrica del terreno (método Wenner) y un diseño del electrodo de p.a.t. con datos de partida reales proporcionado por dicho estudio y por los valores de corriente de defecto máxima y tiempo de disparo de las protecciones de falta a tierra, de forma que el valor de resistencia de p.a.t. del electrodo sea inferior a 1Ω .

En cada subestación se dispondrá un anillo de tierra en la galería de cables, realizado con pletina de cobre sección mínima $15 \times 10 \text{ mm}^2$, conectado con el electrodo de p.a.t. de la red equipotencial mediante 6 conductores a través de sendos huecos de acceso. Todos los circuitos de tierra se conectarán a dicho anillo de tierra. Con esto se pretende asegurar una distribución uniforme de los potenciales.

Todas las partes metálicas no unidas a los circuitos principales de todos los aparatos y equipos instalados en la subestación se unirán a la red de p.a.t. tierra equipotencial. Se conectarán a la red de tierras todas las armaduras metálicas del edificio, las envolventes de las celdas MT y cuadros BT, puertas/rejillas de protección, carcasa de los transformadores, carriles de soporte de los transformadores, alumbrado y tomas de corriente.

Se unirá la tierra general al negativo a través de un equipo de detección de tensión riel sobre tierra (VLD – Voltage Limiting Device ó Dispositivo Limitador de Tensión), que dispondrá de monitorización de la tensión negativo – tierra, señalización de alarma y disparo. El límite de tensión diferencial entre negativo y tierra será programable.

Se proyectarán dos tipos de circuitos de tierra:

- Circuitos con conexión directa a la malla.
- Circuitos con conexión directa a la malla a través de protección.

Las cabinas de corriente continua se conectarán a la red de tierra a través de relés de masa (uno por cada grupo rectificador y otro para el cuadro de seccionadores de salida a catenaria y feeders de acompañamiento) utilizando cable de cobre aislado con PVC de 120 mm^2 .

5.3. CELDAS MT

Según puede comprobarse en el esquema unifilar de media tensión, en las subestaciones habrá 2 tipos de celdas:

- Celda de acometida.
- Celda de protección de transformador.

Las celdas de acometida de subestación estarán interconectadas con los centros de acometida y medida (en SST1 y SST6) ó con las celdas de acometida de las subestaciones adyacentes. Con esta configuración será posible alimentar todas las subestaciones en modo degradado (avería en un tramo de cables MT entre subestaciones o no disponibilidad en una de ellas).

Las celdas de protección de transformador están interconectadas con el devanado primario de los transformadores de tracción y de servicios auxiliares.

Todas las celdas MT de las subestaciones serán de 24 kV de tensión de aislamiento y estarán compuestas por:

- Embarrado general de cobre electrolítico, de 1.250 A y 20 kA / 1 seg.
- Interruptor automático trifásico de corte en SF₆, de 1.250 A para celda de acometida y de 630 A para celda de transformador, y 20 kA 1 seg. Irá montado en carro extraíble con todos los enclavamientos y protecciones necesarios.
- Seccionador trifásico de puesta a tierra.
- Tres transformadores de intensidad.
- Un transformador toroidal.
- Tres transformadores de tensión.
- Tres detectores capacitivos de tensión.

- Panel de mando, protección y control. Dispondrá de un relé de protección multifuncional del tipo de estado sólido.
- Cableado para mando y control.

El accionamiento eléctrico del interruptor se realizará desde el cuadro de mando local y por telemando. Su posición quedará señalizada en los correspondientes leds del cuadro de mando y del puesto central de telemando.

El sistema de control impedirá que una subestación sea alimentada simultáneamente desde los 2 centros de acometida y medida, proporcionando enclavamientos a partir de la información del estado de los interruptores de acometida y la medida de tensión.

Se prevén las siguientes protecciones de las alimentaciones a los transformadores de tracción:

- Sobreintensidad en cada fase (50, 51) y falta a tierra direccional (67N).
- Temperatura elevada en transformador, mediante sondas en cada devanado (49).

5.4. GRUPOS RECTIFICADORES

Cada subestación tendrá 2 grupos rectificadores de 900 kW (excepto SST2, donde sólo se preverá espacio para su ubicación futura). La subestación SST6 dispondrá de un grupo adicional para uso de talleres y cocheras, de las mismas características.

Los equipos que constituyen este apartado tienen la función de reducir la tensión de alimentación de alterna y rectificarla, para su utilización en unas líneas aéreas de contacto a 750 V.

Cada grupo rectificador estará compuesto por:

- 1- Celda MT de protección de transformador de tracción, descrita en el apartado anterior.
- 2- Transformador de potencia trifásico con doble devanado, grupo de conexión Dy11 y Dd0, con una relación 9,5-16,6 kV \pm 2,5% + 5% + 7,5% + 10% / 0,588 kV / 0,588 kV, potencia 1.000 kVA y tensión de cortocircuito 8%. Serán de aislamiento seco y deberán cumplir las especificaciones de la norma CEI 146 para tipo VI (subestación de tracción pesada):
 - 100% de carga en servicio permanente.

- 150% de carga durante 2 horas.
- 300% de carga durante 1 minuto.

3- Rectificador montado en cabina metálica con carretón extraíble. Los rectificadores serán no controlados formados por diodos de silicio montados en doble puente GRAETZ trifásico. Deberán cumplir con las especificaciones de la norma CEI-146 para tipo VI (subestaciones de tracción pesada). Las tensiones consideradas en la salida de bornas del rectificador consideran una resistencia interna de 43 m Ω .

- Sin carga (vacío): 825 V.
- 100% de plena carga: 775 V.
- 150% de plena carga: 750 V.
- 300% de plena carga: 675 V.

4- Seccionador de acometida a barras ómnibus: Por cada grupo se montará a la salida un seccionador bipolar motorizado de 750 V, 2.000 A para acoplamiento a barra ómnibus y negativo.

5- Cableado para mando y control.

6- Diferentes materiales y accesorios.

El transformador de potencia, elemento 2, será de ventilación natural y aislamiento seco, e irá alojado en una celda de obra independiente. Las puertas de acceso a esta celda serán abatibles 180° para permitir la extracción del transformador de la celda a través de los carriles destinados a tal efecto.

Los elementos 3 y 4 se ubicarán juntos en una celda metálica independiente.

Cada grupo rectificador llevará protección instantánea y temporizada de sobreintensidad, térmica del transformador y fusión de fusibles de diodos del rectificador. También irá dotado de voltímetro y amperímetro de las escalas necesarias.

La posición del interruptor general de protección del transformador quedará señalada en un conmutador luminoso de mando situado en el cuadro de mando. Su accionamiento será local y por telemando, y produciéndose la desconexión en caso de actuación de algunas de las protecciones del transformador.

El accionamiento de los ventiladores se realizará a través de termostatos programables.

El termómetro incorporado en el transformador de potencia protegerá el propio transformador, desconectando el interruptor de protección y señalizando la avería en el cuadro de mando local.

La puerta de acceso a las celdas de transformadores de potencia desde el interior de la subestación llevará cerradura eléctrica y pulsador fin de carrera de forma que no se pueda abrir cuando el disyuntor del grupo esté conectado, y que el disyuntor no se pueda conectar con la puerta de acceso abierta.

La introducción de los transformadores de potencia a la subestación o la extracción de los mismos será a través del espacio destinado a tal efecto. El traslado de los transformadores por el interior de la subestación se realizará utilizando carriles vía, instalados para tal fin.

5.5. INTERRUPTORES EXTRARRÁPIDOS

Para cada grupo de tracción, a la salida del seccionador de acometida a barras ómnibus (ubicado este último en la misma celda que el rectificador correspondiente), se instalará una celda compuesta por:

- Cabina metálica con carretón extraíble.
- Interruptor extrarrápido para corriente continua de 750 V y 2.600 A, con motor de 110 Vcc. Los interruptores automáticos de protección de las alimentaciones de C.C. de alta velocidad son del tipo extraíble, con objeto de permitir un fácil mantenimiento y garantizar un completo aislamiento de la fuente de alimentación.
- Disparador de sobrecorriente estático de campo ajustable.
- Sistema de ensayo de línea (EDL) o protección de impedancia de líneas (MHO) para la detección de cambios importantes de impedancia a distancia.
- Sistema comparador de tensión (DDT) o protección de posibles defectos de puesta en tensión de la línea.
- Sistema de detección de defecto de tierra (DDL) o protección contra sobrecorrientes para la detección de cortocircuitos, que analiza no sólo el valor de dicha corriente sino también el tiempo en que se alcanza el pico.
- Equipo de arrastres con el feeder de la subestación colateral.

- Amperímetro y voltímetro de la escala necesaria.

- Pequeño material y accesorios.

Las barras de retorno positiva y negativa tendrán las características adecuadas para admitir la capacidad nominal total de tres rectificadores acoplados en paralelo ó de 2 con una sobrecarga del 50%.

De la cabina del interruptor extrarrápido se pasa al cuadro de seccionadores de catenaria y feeders de acompañamiento.

El interruptor extrarrápido será un modelo homologado del tipo UR-26 de Secheron / ABB ó similar.

Las uniones entre conductores de distinta naturaleza se efectuarán por medio de conexiones bimetálicas adecuadas a la forma y dimensiones de los materiales a enlazar.

Se instalará un relé de masa en las cabinas metálicas indicadas en los planos correspondientes, para protección contra derivaciones a masa de aparatos y equipos.

Cada salida de c.c. estará provista de varios sistemas de protección que actuarán desconectando el interruptor extrarrápido o no permitiendo su conexión, pudiendo activarse la conexión y desconexión, por mando local en la subestación o por telemando.

5.6. CUADROS DE SECCIONADORES

En cada subestación (excepto en SST2, donde sólo se preverá espacio para su ubicación futura), para los servicios de tracción de línea, se instalará un cuadro de seccionadores compuesto por dos barras alimentadas por sendos interruptores extrarrápidos e interconectadas a través de un seccionador motorizado de by-pass de 750 V y 2.000 A. Se dispondrán 4 seccionadores motorizados de salida de 750 V y 2.000 A, dos para alimentación de catenaria de cada lado de la subestación y otros dos para los feeders de acompañamiento; de esta forma, se alimentarán los dos lados de la vía. Se dispondrán autoválvulas en cada una de las barras.

En la subestación SST6, adicionalmente, se dispondrá un cuadro de seccionadores compuesto por una única barra alimentada desde el interruptor extrarrápido del grupo que va a dar servicio a talleres y cocheras. Se dispondrán 2 seccionadores motorizados de salida de 750 V y 2.000 A.

Se instalará un relé de masa para protección contra derivaciones a masa de los aparatos y equipos ubicados en el interior de cada cuadro de seccionadores.

La salida de las celdas metálicas alimentará mediante cable subterráneo las catenarias y los feeders.

5.7. SISTEMA DE APERTURA DE EXTRARRÁPIDO

5.7.1. Por sobrecarga

El interruptor extrarrápido poseerá un dispositivo de desconexión por intensidad máxima.

La intensidad de desconexión se podrá ajustar dentro de los márgenes de 1250 a 2700 A.

Esta protección estará escalonada, de forma selectiva, con el relé de protección de sobrecarga del rectificador.

5.7.2. Por crecimiento rápido de intensidad (DDT)

En el mismo extrarrápido, un shunt magnético detectará crecimientos bruscos de intensidad y provocará la desconexión del extrarrápido. Su escasa sensibilidad limita su actuación a desconexiones por cortocircuitos no muy lejanos.

5.7.3. Protección de cortocircuitos lejanos (DDL)

Otro dispositivo de desconexión por brusco crecimiento de intensidad, más sensible que el anterior, detectará los cortocircuitos lejanos, provocando la desconexión del extrarrápido. Tanto la rapidez del crecimiento de intensidad (kA/s) como la tensión de punta del impulso a los que debe desconectar el aparato de di/dt serán regulables.

Un equipo electrónico analizará permanentemente las variaciones del consumo di/dt , discriminando los crecimientos de intensidad por demanda de tracción de los causados por averías de corto.

De esta forma, se obtendrá una selectividad de respuesta a diferentes crecimientos de intensidad, adaptados a las condiciones de funcionamiento de la subestación y provocados por el servicio normal, a los que el aparato no deberá actuar; como son:

- Arranque de un tren.
- Maniobras de tren.
- Paso de un tren de un tramo de catenaria a otro.

En el equipo se eliminarán los relés polarizados, sustituyéndolos por tiristores, elementos más seguros y de menor mantenimiento.

5.7.4. Protección por orden de arrastre procedente de subestaciones colaterales

En todos los casos anteriores de apertura automática del extrarrápido, excepto en el caso de cortocircuito lejano, este suceso provocará la actuación de la protección de arrastre, transmitiendo la orden de desconexión por arrastre del interruptor extrarrápido que alimente la falta, de la subestación inmediata.

La apertura del extrarrápido por orden de maniobra (local o telemando) no provocará la actuación de la protección de arrastre.

El sistema de protección por arrastre de extrarrápidos deberá ser independiente del sistema de telemando y directo entre subestaciones, con salidas en paralelo. Su funcionamiento deberá ser independiente de que exista o no telemando de control y de que éste se encuentre en servicio o averiado.

En caso de actuación de un relé de masa (o protección similar), el sistema de arrastre actuará ordenando la apertura del extrarrápido que corresponda, en las subestaciones colaterales, teniendo en cuenta las posibles maniobras de by-pass por catenaria que pudieran existir.

La orden de apertura se transmitirá a la subestación próxima, independientemente de que algunos extrarrápidos se encuentren abiertos o fuera de servicio.

El sistema de arrastre estará complementado con un sistema auxiliar inteligente (autómata programable) que, mediante las distintas combinaciones de seccionadores de feeders y de catenaria, permita reconocer en cada momento el o los disyuntores que en caso de arrastre han de desconectar (casos de by-pass y otras maniobras similares).

La puesta fuera de servicio de un sistema de arrastre por falta de suministro de energía (en una u otra subestación), avería en la línea de transmisión o defecto similar no deberá impedir el normal funcionamiento de ambas salidas de feeder con las restantes protecciones en funcionamiento.

Los equipos de arrastre deberán funcionar mediante presencia de señal permanente y provistos, además, de frecuencia de vigilancia.

La transmisión del sistema de arrastre será por modulación de frecuencia y no de amplitud. Tanto el posible fallo en los equipos emisores como la falta de recepción de esta frecuencia en los circuitos receptores deberán ser detectados automáticamente

en ambos equipos, señalizando el suceso, tanto en las subestaciones afectadas como en el Centro de Telemando. En general, el sistema de señalización instalado en el puesto de telemando debe permitir conocer el momento de la avería y su causa, fallo de los equipos emisores o avería en la línea de transmisión, si el equipo emisor funciona y la señal no llega al otro equipo receptor.

Conviene señalar que los equipos de protección no detectan cortocircuitos. Detectan: sobrecargas en el propio extrarrápido, variaciones anormales de intensidad con el equipo detector de cortos lejanos y aperturas por arrastre con la protección de esta denominación.

Tanto las averías de corto (en catenaria y material de tracción) como las sobrecargas del servicio (por acumulación de trenes o maniobras bruscas de tracción) provocarán variaciones anormales de corriente, sin discriminación posible entre corto próximo, corto lejano o sobrecarga de servicio. Solamente podrá asegurarse la existencia de un corto cuando informaciones posteriores lo justifiquen plenamente: reparación de un enganchón de pantógrafo, remolque de una máquina o unidad inútil, etc.

Las desconexiones por sobrecarga en el servicio se producirán normalmente por una sola de las tres causas indicadas anteriormente (sobrecargas, corto lejano o arrastre). Las señalizaciones indicadas deben permitir conocer el origen de la desconexión automática.

En los casos de avería con corto actuarán todas o varias de las protecciones simultáneamente. Deberá sospecharse en tales casos la posible existencia de un corto, solicitándose entonces la información aclaratoria a otros servicios: equipos de línea, puestos de mando, depósito, etc. Solamente cuando estas informaciones posteriores a una o varias desconexiones automáticas resulten positivas podrá afirmarse que tales aperturas se deben a cortos "reales".

La regulación de las protecciones en niveles excesivamente bajos o críticos dará lugar frecuentemente a desconexiones por sobrecarga del servicio (superior al fijado por la situación de las protecciones). Ello no significará que éstas sean sobrecargas peligrosas para la potencia de la instalación.

Las desconexiones por corto se producirán normalmente con muy escasa frecuencia y, en tales casos, la situación de anomalía persistirá hasta que la avería de corto es detectada y reparada.

La actuación de los relés de masa (y protecciones similares), además de ordenar la apertura instantánea de todos los extrarrápidos de los grupos de la propia subestación, deberán provocar directamente la actuación de todas las protecciones de arrastre, independientemente de que algunos extrarrápidos se encuentren abiertos, fuera de servicio o en by-pass.

La actuación de un relé de masa deberá bloquear mediante trinquete, o sistema mecánico equivalente, toda posible maniobra de cierre local o por telemando de los interruptores de grupos, hasta que examinada la instalación y adoptadas las precauciones necesarias pueda ponerse nuevamente en servicio total o parcialmente la instalación. Este bloqueo de maniobras no deberá afectar a otros equipos de la propia subestación: líneas, equipos de señalización y de servicios auxiliares, seccionadores de feeder y de catenaria con mando a distancia. El bloqueo de la subestación y la actuación de los arrastres tampoco deberán impedir las maniobras de cierre de los extrarrápidos que no se encuentren implicados de las subestaciones colaterales.

Las protecciones de arrastre funcionarán permanentemente, tanto se encuentre la subestación en mando local como en telemando.

La apertura automática o manual del extrarrápido se transmitirá al panel de la subestación y al puesto de telemando, señalándose en ambos lugares como luz fija o centelleante en el conmutador de maniobra; indicando la discordancia existente entre la posición de este elemento y la del extrarrápido.

La actuación del equipo detector de cortocircuito lejano y la apertura por arrastre se transmitirán independientemente, tanto al panel como al equipo de telemando. La señalización correspondiente no se anulará hasta que el agente de servicio enterado del suceso actúe sobre el pulsador de "borrado".

El sistema debe permitir conocer, tanto en mando local como en telemando, el motivo por el cual se ha producido la apertura automática del extrarrápido.

Se garantizará el funcionamiento con las subestaciones colaterales ampliando en éstas los equipos necesarios.

5.8. CIERRE DEL EXTRARRÁPIDO

Para el cierre de un extrarrápido, su sistema de control deberá comprender:

5.8.1. Equipo de reenganche automático

La apertura automática de un extrarrápido por sobrecarga, cortocircuito lejano o arrastre (no por la actuación de los relés de masa o protecciones similares) o la orden de cierre, provocará la "puesta en funcionamiento del equipo de reenganche automático", el cual dispondrá la intervención de los equipos de diferencia de tensión y de corto que posteriormente se describen:

- Si no hay tensión en la catenaria, actuará el equipo detector de corto, analizando el aislamiento de la línea aérea de contacto.
- Si ya hay tensión en la salida del extrarrápido, actuará el detector de diferencia de tensión.

La existencia de uno cualquiera de estos dos defectos bloqueará el posible cierre de extrarrápido.

Si estos equipos no detectan un defecto de aislamiento en la catenaria o una excesiva diferencia de tensión entre barra ómnibus y línea, el extrarrápido deberá cerrarse.

En caso contrario, el equipo de reenganche automático repetirá las combinaciones de ausencia de defecto e intento de cierre cuatro veces, en un tiempo aproximado de unos tres minutos.

Si agotado el ciclo de pruebas o intentos previsto en el equipo el cierre del extrarrápido no llega a producirse, el reenganche automático pasará a una posición de reposo, hasta que una orden de cierre (local o por telemando) lo ponga nuevamente en marcha.

Las actuaciones en sentido negativo al cierre, por defecto de aislamiento o de diferencia de tensión, se transmitirán como señalizaciones independientes, tanto al panel del extrarrápido de la subestación como a los equipos de telemando.

Una tercera señalización informará de que el equipo de reenganche automático ha concluido su ciclo de intento de cierre, cuando el resultado del mismo resulte negativo, una vez alcanzada su posición final de reposo.

En general el sistema de señalizaciones deberá permitir conocer localmente y en el puesto de telemando el momento en que termina la actuación del reenganche automático con resultado negativo y el motivo del mismo.

Este equipo de reenganche automático entrará en funcionamiento siempre que se produzca una apertura automática por sobrecarga transitoria o por arrastre.

El reenganche automático del extrarrápido se impedirá si la apertura del extrarrápido ha sido por orden de maniobra (local o por telemando) o por avería grave en la subestación (derivación de los 750 V, etc.).

Un sistema de interruptores o puentes permitirá la puesta fuera de servicio del detector de corto en catenaria y/o del detector de diferencia de tensión en caso de avería de estos equipos y hasta su reparación o puesta a punto.

5.8.2. Equipo de prueba de diferencia de tensión entre catenaria y rectificador

Si la salida del extrarrápido se encontrara ya en tensión, alimentada por otra subestación colateral, el cierre del extrarrápido estará condicionado a que entre barra ómnibus y catenaria exista una diferencia de tensión inferior a 500 V impidiéndolo en caso contrario.

Un detector de tensión seleccionará automáticamente la actuación de este equipo (si hay tensión en catenaria) o la del detector de corto en catenaria (si no hay tensión en línea).

La detección y medida de la tensión se efectuará mediante transductores (o sistemas indirectos equivalentes) que aseguren un aislamiento eficaz entre los puntos en alta tensión y los restantes circuitos de mando y control de la subestación.

Dispondrá de un pulsador de prueba para poder comprobar su correcto funcionamiento.

5.8.3. Equipo de prueba de cortocircuito entre catenaria y carril

El cierre del extrarrápido estará condicionado a que entre la catenaria que alimenta y el negativo o vías exista un aislamiento suficiente.

Si la resistencia es mayor que la que representa un tren parado cerca de la subestación con todos los servicios conectados, el aparato permite la conexión del extrarrápido, impidiéndose en caso contrario. Estos valores serán adaptables al servicio local por medio de un contactor auxiliar ajustable en un voltímetro especial.

En caso de corto franco, la intensidad suministrada por este equipo no será inferior a 2 A, en continua o alterna. La prueba de "corto en catenaria" será de corta duración y previa a toda maniobra de cierre del extrarrápido. El equipo, por tanto, se mantendrá normalmente fuera de servicio.

El equipo detector de corto en catenaria se encontrará eficazmente aislado de los circuitos de mando y control de la subestación, a fin de evitar cualquier derivación de los 750 V de continua a los mismos.

Estos analizadores de catenaria (detector de corto y de diferencia de tensión) contarán con un pulsador de bloqueo, con el fin de poder poner fuera de servicio a ambos detectores en caso de avería y hasta su reparación o ajuste, así como de un pulsador de prueba para poder verificar su correcto funcionamiento.

6. CABLES DE MEDIA TENSIÓN

Los cables de media tensión serán unipolares de aluminio, tipo RHZ1 12/20 kV,

Se prevén las siguientes secciones (calculadas en base a la norma IEC 60502-2 y teniendo en cuenta los criterios de diseño de cortocircuito, caída de tensión y corriente máxima admisible):

- Unión CENTRO DE ACOMETIDA Y MEDIDA 1 con SST1: 3(1x400) mm².
- Unión CENTRO DE ACOMETIDA Y MEDIDA 2 con SST6: 3(1x400) mm².
- Unión CELDA PROTECCIÓN con CELDA MEDIDA: 3(1x400) mm² (en CENTRO DE ACOMETIDA Y MEDIDA 1).
- Unión CELDA PROTECCIÓN con CELDA MEDIDA: 3(1x400) mm² (en CENTRO DE ACOMETIDA Y MEDIDA 2).
- Unión SST1 con SST2: 3(1x400) mm².
- Unión SST2 con SST3: 3(1x400) mm².
- Unión SST3 con SST4: 3(1x400) mm².
- Unión SST4 con SST5: 3(1x400) mm².
- Unión SST5 con SST6: 3(1x400) mm².
- Unión CELDA PROTECCIÓN con TRT1: 3(1x240) mm² (en SST1).
- Unión CELDA PROTECCIÓN con TRT2: 3(1x240) mm² (en SST1).
- Unión CELDA PROTECCIÓN con TRA1: 3(1x240) mm² (en SST1).
- Unión CELDA PROTECCIÓN con TRT1: 3(1x240) mm² (en SST3).
- Unión CELDA PROTECCIÓN con TRT2: 3(1x240) mm² (en SST3).
- Unión CELDA PROTECCIÓN con TRA1: 3(1x240) mm² (en SST3).
- Unión CELDA PROTECCIÓN con TRT1: 3(1x240) mm² (en SST4).
- Unión CELDA PROTECCIÓN con TRT2: 3(1x240) mm² (en SST4).
- Unión CELDA PROTECCIÓN con TRA1: 3(1x240) mm² (en SST4).
- Unión CELDA PROTECCIÓN con TRT1: 3(1x240) mm² (en SST5).
- Unión CELDA PROTECCIÓN con TRT2: 3(1x240) mm² (en SST5).
- Unión CELDA PROTECCIÓN con TRA1: 3(1x240) mm² (en SST5).
- Unión CELDA PROTECCIÓN con TRT1: 3(1x240) mm² (en SST6).
- Unión CELDA PROTECCIÓN con TRT2: 3(1x240) mm² (en SST6).
- Unión CELDA PROTECCIÓN con TRT3: 3(1x240) mm² (en SST6).
- Unión CELDA PROTECCIÓN con TRA1: 3(1x240) mm² (en SST6).

7. CATENARIA. LÍNEA AÉREA TRANVIARIA (LAT).

Tal y como se ha dicho, la línea aérea de contacto será:

- Catenaria tipo Trolley. La Línea Aérea Tranviaria (LAT), estará formada por un hilo de contacto de cobre electrolítico de cobre de sección circular de sección 150 mm².

7.1. PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño a aplicar serán:

Tensión eléctrica de tracción	750 Vcc
Tensión mecánica de tendido de cada hilo de contacto	1.500 kg
Pendiente máxima del hilo de contacto a plano de rodadura	2 ‰
Altura del hilo de contacto a plano de rodadura en el vértice de la catenaria.	6,50 m
Descentramiento del hilo de contacto respecto eje de vía En recta, alternativamente	+20, +10,0,-10,-20 cm.
En curva, al lado opuesto al centro de curvatura	+20, -10 cm
Vano máximo	50 m en alineación recta
Máxima diferencia de longitud entre vanos consecutivos: Progresión geométrica de 1,5 ($a_n = a_{n-1} \times 1,5$; $a_{n+1} = a_n \times 1,5$; ...)	

7.2. CRITERIOS DE DISEÑO

7.2.1. Distribución de vanos

Por razones de minimización de obstáculos en la vía urbana y por motivos económicos se adoptará como valor de cada vano o distancia entre cada dos apoyos consecutivos el mayor que cumpla las condiciones establecidas para el descentramiento de la línea aérea de contacto en ellos y que no se supere la flecha máxima de la catenaria en su vértice.

Altura de la Catenaria = 6,50 m

Altura Postes de Catenaria = 10,80 m (tipo A2)

Separación entre Postes de Catenaria = 50 m en recta y en curva según radio de la curva y esfuerzos en atirantado.

Altura de la Catenaria = 6,50 m

Altura Postes de Catenaria = 9,80 m (tipo A1)

Separación entre Postes de Catenaria = 30 m en recta, en curva puede mantenerse esta distancia haciendo atirantados dobles o reducirse a 10 m según proceda.

7.2.2. Tramificación de la catenaria

- Poste Central: PK0+000 ~ PK1+700
- Poste Lateral para las dos vías: PK1+700 ~ PK2+250
- Poste Central: PK2+250 ~ PK3+635
- Poste Lateral para las dos vías: PK3+635 ~ PK3+965
- Poste Central: PK3+965 ~ PK5+190
- Poste Lateral para las dos vías: PK3+635 ~ PK3+965
- Poste Central: PK3+965 ~ PK5+190
- Poste Lateral para las dos vías: PK5+190 ~ PK5+560
- Poste Central: PK5+560 ~ PK6+400
- Poste Central: PK6+400 ~ PK6+700 (Ramal Las Fuentes)
- Poste Lateral en cada una de las vías: PK6+700 ~ PK7+705 (Ramal Las Fuentes)

- Poste Central: PK7+705 ~ PK8+235 (Ramal Las Fuentes)
- Poste Lateral para las dos vías: PK+400 ~ PK8+334 (Ramal San José)

El valor máximo de longitud del vano, en alineación curva, está dado por la relación

$$a = \sqrt{8 R f}$$

Siendo:

a: longitud del vano en m

R: radio de curvatura en m

f: flecha máxima admisible en m

7.2.3. Altura mínima de los hilos de contacto en los puntos de suspensión

La flecha máxima será la correspondiente al vano máximo de 50 m. Aplicando la ecuación de la flecha de la catenaria en el centro del vano se obtiene:

$$f = \frac{P}{2T} \cdot x^2 \text{ que para } x = \frac{a}{2} \text{ se tiene } f = 0,28 \text{ m, con } p = 1,334 \text{ kg/m}$$

Teniendo en cuenta que se dispone que la altura mínima de los hilos de contacto sobre la rasante sea de seis (6) metros, se tiene que la altura mínima de los hilos de contacto en los puntos de su suspensión, en cada perfil de la línea, será:

$$H_c = 6 + 0,28 = 6,28 \text{ m}$$

7.2.4. Agujas aéreas

Las líneas de los escapes y bretelles estarán equipados con LAT de un solo hilo de contacto tipo trolley de 150 mm² de sección.

7.2.5. Retorno de la corriente. Cable de guarda y tierra

El retorno de la corriente eléctrica deberá realizarse por los carriles que estarán soldados en barras, así como por las conexiones eléctricas que se realizarán al efecto en las juntas de dilatación.

El retorno de la corriente deberá de ser realizado por los dos carriles, para lo cual se asegurará la continuidad eléctrica a través de elementos de conexión transversal tipo V9 de ADIF o similar, colocados cada 100 m en sentido longitudinal y del orden de 300 m en sentido transversal.

El circuito de retorno será flotante, es decir aislado de tierra. Este aislamiento seguirá los requisitos que define la norma UNE EN 50122-2 de modo que se consiga una medida de protección contra los efectos de las corrientes vagabundas.

Además, a parte de existir un VLD en cada subestación (VLD-O + VLD-F según la norma citada en el párrafo anterior), también se considera un VLD (tipo VLD-F) en cada parada y a la altura de cada caja de derivación del feeder de acompañamiento (también VLD-F), paralelo a la LAT, de modo que existan un VLD cada aproximadamente 300 metros en línea de vías generales.

Todos los postes de soporte de la LAT y elementos conductores que estén a menos de 4 metros de cualquier eje de vía estarán puestos a tierra. Cada poste de soporte de la LAT contará con una arqueta cercana de aproximadamente 300 x 300 como pozo de tierra donde se alojará una pica de puesta a tierra de 2 m de longitud y diámetro de 18 mm de acero cobrizado (acabado de 300 micras de cobre).

Para ello y con el fin de conseguir un valor de tierra bajo, así como evitar que los elementos conductores próximos a la LAT puedan ponerse en tensión peligrosa, se unirán físicamente la tierra (pica) de cada poste así como los elementos conductores del entorno mediante un cable aislado 0,6/1 kV de cobre de sección 95 mm². Se usarán tanto conexiones soldadas aluminotérmicamente como grapas atornilladas, de tal forma que se asegure tanto una buena conexión de la puesta a tierra con todos los elementos conductores a proteger, como con el VLD-F que a su vez se conectará mediante conexiones taladradas y atornilladas a los carriles de vías.

El cable de cobre de 95 mm² – 0,6/1 kV, se tenderá a lo largo de toda la línea conectando todos los elementos conductores del entorno de la vía (del eje a < de 4 m). Sin embargo, con el fin de que este cable no se convierta en un colector de posibles corrientes de fuga que puedan aparecer se tramificará en tramos de unos 700 metros (con al menos tres VLD-F conectados a cada tramo) de tal forma que en las zonas de separación se asegure que no se den tensiones de paso y contacto que puedan ser peligrosas (evitar que dos elementos conductores cercanos puedan estar conectados a diferentes tramos de cable e tierra).

Las marquesinas metálicas en estaciones se conectarán a tierra a través de VLD-F autorrecuperables y rearmables para evitar su destrucción galvánica e incluso, a veces, las posibles descargas electrostáticas a personas. Los VLD-F a instalar a la altura de cada caja de derivación del feeder de acompañamiento serán del mismo tipo que los VLD-F de paradas.

7.2.6. Elementos estructurales tipo

Los elementos que sirven para que cumplan los parámetros y criterios establecidos cumplirán una serie de requisitos, tanto técnicos (elevada resistencia mecánica) como de estética (postes de diseño del tranvía) y estarán protegidos contra la corrosión atmosférica y de las corrientes parásitas.

Básicamente son los siguientes:

- Hilo de contacto.
- Postes.
- Ménsulas.
- Macizos.
- Aisladores.
- Equipos de atirantado.

Hilo de contacto

Se montará un hilo de contacto cuyas características más destacables son las siguientes:

Naturaleza:	Cobre electrolítico duro.
Sección:	150 mm ²
Diámetro:	14,5 mm
Peso unitario:	1,334 kg/m
Carga de rotura:	5.477 kg

Tensión mecánica de tendido o trabajo: 1.500 kg

Coefficiente de trabajo: 3,65 (= 5.477/1.500)

Como sección conductora se considera, además 1 feeder de acompañamiento de cobre de 2 x 240 mm² con aislamiento de 1,8/3 kV por vía, salvo en los siguientes casos:

- Tramo común, de P.K. 0+000 a P.K. 4+000, sentido vuelta, en el cual se considera 3 x 240 mm² de Cu en el sentido vuelta.
- Ramal San José, de P.K. 7+100 a P.K. 8+330, sentido ida, en el cual se considera 3 x 240 mm² de Cu en el sentido ida.

Postes

La fijación al pavimento se realizará a través de pernos roscados con el fin de reponer los posibles postes que en un futuro se podrían dañar.

Los tipos a aplicar son los que se indican en la siguiente tabla:

Tabla 1. Características de los postes

Tipo	Altura [m]	Ø en punta (mm)	Observaciones
A1	9,80	273	Podrá incorporar luminaria de entreví
A2	10,80	324	Ídem

Los postes, al servir para el soportado de las luminarias de alumbrado vial, dispondrán de un registro en la parte inferior para poder alojar los conductores eléctricos y un orificio para la acometida de la luminaria.

Incorporarán en la parte inferior dos orejetas para conectarlo eléctricamente en el anillo de puesta a tierra que recorre todo el trazado.

Ménsulas

Para los tramos a cielo abierto, estarán formadas por tubos de acero de diámetro 76,1 mm y espesor 3,65 mm, terminando en el extremo libre con un tapón a presión para que no se desprenda. Contarán con giro de ménsula con aislador para su unión a poste.

Estarán atirantadas con un cable sintético de diámetro 11 mm de naturaleza dieléctrica, de tipo parafil o similar, y dotado de un tensor en el extremo para su regulación. Su unión a poste también permitirá el giro del conjunto en el plano horizontal.

Macizos

Se ha considerado un macizo de cimentación por cada poste de electrificación. El volumen de este se ha estimado en 6 m³ independientemente de si está ubicado en vías generales o en cocheras.

Aisladores. Cables sintéticos

A excepción del correspondiente al tacón de la ménsula, que será liso y no ranurado y al de los anclajes y a los aisladores que puedan necesitarse para el caso de transversales de acero en pórticos funiculares, el resto de aisladores estarán constituidos por cables de material sintético de gran resistencia mecánica y eléctrica, constituidos por un alma de fibra de poliéster o de Kevlar, revestidos de una funda de polietileno.

Equipos de atirantado

En alineación recta y curva, para los tramos a cielo abierto, el equipo de atirantado estará constituido por el dispositivo denominado “delta”.

8. SERVICIOS AUXILIARES

En cada subestación se instala un grupo de servicios auxiliares compuesto por:

- Celda de MT equipada con disyuntor de 24 kV y 630 A.
- Transformador de potencia de 160 kVA relación 9,5-16,6 ± 2,5 + 5 + 7,5 + 10% / 0,42 kV, tensión de cortocircuito 6% y grupo de conexión Dyn11. En las subestaciones STT1, STT3, STT4 y STT5.
- Transformador de potencia de 1.000 kVA relación 9,5-16,6 ± 2,5 + 5 + 7,5 + 10% / 0,42 kV, tensión de cortocircuito 6% y grupo de conexión Dyn11. En la subestacion STT6. Desde este transformador además de alimentar los auxiliares de la subestación se alimentará también el edificio de cocheras y talleres.
- Interruptor de baja tensión de protección del transformador.
- Cuadro de distribución en baja tensión de Servicios Auxiliares.
- Cargador de baterías y baterías (45 Ah) para alimentación equipos a 110 Vcc.
- Cargador de baterías y baterías (30 Ah) para alimentación equipos a 48 Vcc.

8.1. TRANSFORMADORES DE INSTALACIONES DE SERVICIOS AUXILIARES

Se instalarán los siguientes transformadores de servicios auxiliares:

- Subestación STT1: Un (1) Transformador de 160 kVAs
- Subestación STT3: Un (1) Transformador de 160 kVAs
- Subestación STT4: Un (1) Transformador de 160 kVAs
- Subestación STT5: Un (1) Transformador de 160 kVAs
- Subestación STT6: Un (1) Transformador de 1.000 kVAs

Tendrán las características indicadas en el apartado anterior, y estarán provistos de los mismos elementos de protección que se especificaron en la descripción de los transformadores de potencia.

Estos transformadores irán emplazados en el interior de los emplazamientos dedicados a las subestaciones de tracción.

Por el lado de alta estarán protegidos con un disyuntor de hexafluoruro de azufre interior en cabina metálica prefabricada, con un juego de transformadores de intensidad para protección que alimentarán a un relé de sobreintensidad en la misma cabina del disyuntor.

Los transformadores de los servicios auxiliares dispondrán del mismo sistema de ventilación que el de los transformadores de potencia.

Instalaciones de los servicios auxiliares

Las instalaciones de servicios auxiliares comprenden todos los circuitos en corriente alterna, que desde el panel de los Servicios Auxiliares y los de corriente continua, desde el equipo rectificador - batería de 110 Vcc, y batería de 48 Vcc corriente continua, suministran la energía precisa para llevar a efecto todos los servicios y maniobras necesarios para el correcto funcionamiento de la subestación. Todos los conductores deberán de ser de cobre tipo RZ1-k con aislamiento 0,6/1 kV en polietileno reticulado.

8.2. CUADRO SERVICIOS AUXILIARES SUBESTACIÓN

En cada subestación la protección de estos servicios auxiliares en baja tensión se efectuará mediante un interruptor automático con protección magnetotérmica de 4P x 250 A, con mando eléctrico y bobina de disparo por mínima de tensión. Llevará tres transformadores de intensidad 250/5 A, de 7.5 VA y clase 1, y aparato para medida: por analizador de red.

De las barras generales 3 x 400 V colgarán los circuitos fundamentales siguientes, protegidos por interruptores automáticos:

- Alimentación del cuadro de alumbrado y fuerza y señalización de la subestación.
- Alimentación del equipo cargador de batería de Cadmio-Níquel de 45 Ah constituido por 86 elementos. Tensión nominal 110 Vcc. Intensidad nominal 35 A. Tensión de alimentación 220 Vca. Habrá de disponer de dos salidas, una de ellas estabilizada a $125 \pm 1\%$ V con un consumo mínimo de 25 A para los circuitos de control y otra no estabilizada para los de mayor amperaje correspondientes a la ejecución de maniobras. Deberá de contar con las alarmas correspondientes al fallo del cargador y por puesta a tierra del positivo o negativo.

- Alimentación del equipo cargador de batería de Cadmio - Níquel de 30 Ah constituido por 37 elementos. Tensión nominal 48 Vcc. Este circuito será similar al anterior y alimentará exclusivamente a telemando y convertidores de 24 Vcc para PLC´s.
- Alimentación de otros usos de mando, control y servicios de la S/E (ventilación, alimentaciones auxiliares de celdas...)

Los elementos del cuadro general de baja tensión se alojarán en armarios de chapa de acero con puerta acristalada El armario estará integrado en un frontis común con otros armarios de baja tensión.

8.3. ALUMBRADO Y FUERZA

Cada subestación contará con alumbrado en todo su interior. Los elementos del cuadro de alumbrado y fuerza se alojarán en un armario de chapa de acero con puerta acristalada. El armario estará integrado en un frontis común con otros armarios de baja tensión.

El tendido de cableado se efectuará bajo tubo de acero visto con cable flexible y cajas de registro donde se exija la facilidad de montaje.

El alumbrado interior se realizará mediante luminarias estancas tipo LED de 6.000 lúmenes, que permitan una intensidad luminosa de 300 lux. Se dispondrán redes de fuerza interior que permita la conexión de los equipos de ventilación, mandados por termostato.

Se dotará a las subestaciones de alumbrado de emergencia, mediante puntos de luz tipo LED en número suficiente, que permita la visualización de las salidas del recinto, para garantizar los niveles lumínicos mínimos, en caso de fallo del suministro.

8.4. CUADRO DE CORRIENTE CONTINUA

Se dispondrá de protecciones magnetotérmicas de todos los circuitos de corriente continua de la subestación, tanto de 110 Vcc como de 48 Vcc.

Los elementos de los cuadros de corriente continua se alojarán en sendos armarios de chapa de acero con puerta acristalada. Ambos armarios estarán integrados en un frontis común con otros armarios de baja tensión.

8.5. CONTRA INCENDIOS

En cada subestación se dispondrá de un sistema de detección automática de incendios (se encargará de detectar los posibles incendios en cualquier punto del recinto). Este sistema hará posible la transmisión de una señal (automáticamente desde detectores o manualmente desde pulsadores) desde el lugar en que se produce el incendio hasta una central vigilada, así como la posterior transmisión de la alarma desde dicha central a los ocupantes, pudiendo activarse dicha alarma automática o manualmente.

No se prevé la instalación de sistemas de extinción automática.

Existirá un letrero y una sirena interior por extinción la cual nos avisará de la activación.

Detección: Para la detección de los incendios, la central dispondrá de un número de zonas, a las cuales será posible conectar detectores de incendio de tipo convencional, así como elementos que en reposo tengan contactos normalmente abiertos y quedando su posición reflejada en el telemando.

Además de los detectores de incendio podrán conectarse otros dispositivos que presenten las mismas características, como pulsadores de alarma.

La zona de alarma esta normalmente balanceada con una resistencia y puede detectar y señalar línea de incendio, línea de corto (que puede estar causada por el fallo de un detector) y línea interrumpida (provocada por la extracción de cualquier detector).

Señalización: para la señalización del incendio, la central esta provista de salidas específicas para la activación de sirenas, flashes, y un relé libre de tensión, permitiendo este cualquier otro medio de señalización.

Además, a cada zona de detección hay asociada una salida de repetición que permite activar de forma selectiva, sobre el incendio, sólo aquellos dispositivos que se encuentren en la zona que ha provocado la alarma.

Se colocarán extintores de dióxido de carbono (CO₂). Según Norma NBE-CPI-96 Capitulo 5 Artículo 20.7 Tanto las características de los agentes extintores gaseosos como la utilización de los mismos “deberán garantizar la seguridad de los ocupantes y la protección del medio ambiente”.

8.6. VENTILACIÓN

La ventilación de las subestaciones se realizará de forma forzada mediante extractores.

Se dispondrán dos equipos de extracción en la dependencia destinada a tal efecto, el funcionamiento de los mismos se realizará de forma alterna. De forma que un único equipo pueda ventilar toda la subestación (ver el apéndice de cálculos). De forma excepcional se podrán poner en funcionamiento ambos equipos.

En cada recinto de la subestación se situarán los termostatos que controlan a los equipos de ventilación. Dichos termostatos tendrán dos niveles, uno (más bajo) para conexión del extractor y otro (más alto) para alarma de temperatura excesiva. Además, estos extractores irán controlados por la centralita antiincendios, de forma que no funcionen en caso de detectarse un incendio.

8.7. DETECCIÓN DE INTRUSOS

En cada subestación se instalarán detectores de intrusos en las zonas de acceso, así como un teclado de control de este sistema. De esta forma se podrá activar y desactivar el sistema en los vestíbulos previos de entrada.

9. MANDO Y CONTROL DE LA INSTALACIÓN

9.1. MANDO Y CONTROL DE LA INSTALACIÓN

Todo el mando y control de la subestación estará totalmente automatizado mediante un sistema de control distribuido por autómatas programable de suficiente capacidad y rapidez, y todos ellos al mismo nivel. Estos autómatas se instalarán sobre barras de sujeción de plástico o cualquier otro material aislante.

El sistema se compondrá de los siguientes autómatas programables:

- PLC 1. Controlará todos elementos correspondientes a las celdas de alterna de entrada de la línea de acometida procedente del centro de entrega. Se trata de las celdas de acometida, medida y protección de línea.
- PLC 2. Controlará todos los elementos correspondientes al grupo rectificador 1, tanto en celdas de alterna como en celdas de continua.
- PLC 3. Controlará todos los elementos correspondientes al grupo rectificador 2, tanto en celdas de alterna como en celdas de continua.
- PLC 4. Controlará todos los elementos correspondientes al grupo rectificador 3, tanto en celdas de alterna como en celdas de continua (sólo cocheras).
- PLC 5. Controlará todos los elementos correspondientes a la celda de continua del extrarrápido 1. Incluyendo seccionadores de catenaria.
- PLC 6. Controlará todos los elementos correspondientes a la celda de continua del extrarrápido 2. Incluyendo seccionadores de catenaria.
- PLC 7. Controlará todos los elementos correspondientes a la celda de continua del extrarrápido 3 (sólo cocheras). Incluyendo seccionadores de catenaria.
- PLC 8. Controlará todos los elementos correspondientes a las celdas de Servicios Auxiliares y a las celdas de líneas de señales de tráfico.

- PLC 9. Este PLC realizará el control de toda la información de la subestación y estará conectado a un ordenador de control y el enlace con el telemando a través de un conversor de protocolos, que realizará la comunicación vía modem. Este PLC conectará con el interface SCADA para comunicar con el puesto de mando.

Al margen de que todos los aparatos con poder de corte puedan maniobrarse desde su propio panel, la subestación estará dotada de un equipo hardware y software conectado al autómatas para poder gobernar la subestación en mando local, mediante teclado.

El equipo de hardware constará, al menos, de teclado y pantalla.

Se instalará un sistema de alimentación ininterrumpida de 5 kVA y una autonomía de 1 hora.

El software permitirá visualizar total y parcialmente la instalación en situación real de los aparatos y con variación de color, según estén en tensión o no. Indicará los valores instantáneos de tensión e intensidad de línea, grupos y cada uno de los feeders.

El sistema dispondrá de memoria suficiente para almacenar todos los eventos que surjan en la instalación, de forma que pueda ser obtenida a voluntad a través de impresoras por el personal de mantenimiento.

9.2. MANDO LOCAL

Los interruptores de alta tensión correspondientes a los Servicios Auxiliares serán accionados manualmente, si bien en el cuadro de mando y control quedará indicada su posición.

Los seccionadores de by-pass y feeders serán accionados desde el cuadro de mando mediante un conmutador de doble accionamiento con indicador de posición y señal luminosa de discordancia y anomalía. Excepcionalmente podrán accionarse manualmente por medio de palanca.

Los interruptores extrarrápidos únicamente podrán conectarse a través de los equipos de prueba de línea. Su posición quedará también indicada por un conmutador de doble accionamiento con indicador de posición y señal luminosa de discordancia y anomalía.

La desconexión por actuación del relé de puesta a masa, di/dt y también el bloqueo de conexión del equipo de prueba de línea, cuando persista la avería en feeders, estarán señalizadas en el cuadro de mando, especificando cual es el que ha actuado.

La actuación de cualquier protección y señalización de alarma o desconexión automática provocará la doble señalización acústica y luminosa. En primera fase, el agente de servicio podrá anular la alarma acústica. La señalización óptica o luminosa no desaparecerá automáticamente, sino por haber desaparecido la causa o porque el operador, una vez se entere del suceso, actúe sobre el pulsador de "borrado".

Todas las informaciones de posición de aparato, averías, etc., se transmitirán a los equipos de telemando aunque la subestación se encuentre en mando local.

Se dispondrán pulsadores de prueba (Test) para comprobación en todos aquellos pilotos o indicadores luminosos críticos (tensión en línea, disparo de protección, etc).

9.3. MANDO A DISTANCIA

Si una subestación se encuentra controlada por telemando no se producirán en ella señales acústicas ni luminosas. El conmutador general de control local - telemando cumplirá esta condición.

En el cuadro de telemando central se reflejarán todas las indicaciones que aparecen en el cuadro de mando local. Asimismo, su accionamiento será similar al del cuadro de mando local, a excepción de la conexión del extrarrápido, que se debe realizar por los equipos automáticos de prueba de línea.

Las subestaciones, en condiciones normales, estarán telemandadas desde el puesto central; sin embargo, se podrán mandar desde las propias subestaciones por necesidades del servicio. Para el mando local, se dispondrán los mandos en cada una de las cabinas prefabricadas de envolvente metálica.

Equipos protección, mando y control de subestación:

- a) Los relés de sobreintensidad a tiempo inverso e instantáneo de protección para el disyuntor de entrada de la subestación estarán situados en un armario aparte, separado de las celdas de alterna.
- b) Los 2 equipos de medida fiscal (acometidas EDE a SST1 y SST6) estarán ubicados en sendos armarios, ubicados en los centros de acometida y medida.
- c) Los aparatos de medida (voltímetros, amperímetros, analizadores de redes) irán alojados en las cabinas correspondientes.

- d) Los relés de sobreintensidad e imagen térmica de protección de los transformadores de grupo y servicios auxiliares irán alojados en la misma cabina que el disyuntor correspondiente a cada grupo y servicios auxiliares.
- e) Equipos auxiliares para los relés de protección contra defectos a masa para el grupo rectificador, extrarrápido y común para todas las salidas de feeders: cada relé irá alojado en la cabina o celda correspondiente.
- f) Los aparatos de medida de grupo, extrarrápido y salida de feeders: irán alojados en las cabinas correspondientes.
- g) Los equipos auxiliares para los relés de cortocircuito por crecimiento rápido de la intensidad estarán en cada cabina de extrarrápido.
- h) Interruptor automático general de baja tensión del transformador de SS.AA.: en el cuadro general de baja tensión. Deberá disponer de mando eléctrico que permita telemandarlo.
- i) Material de mando y control de alumbrado y fuerza con sus interruptores y protecciones. Irán colocados en un armario independiente integrado en el frontis de los armarios de baja tensión.
- j) Conmutador de selección mando local – telemando: ubicado en el CGBT, referenciado en el PLC de comunicaciones.
- k) Claxon para señal acústica: ubicado en el CGBT.
- l) Equipo de señalización luminosa: cada alarma en la cabina metálica correspondiente.
- m) Equipo de relés para señalización de disturbios y averías con pulsadores de borrado y rearme; según la cabina que proteja.
- n) Diversos relés auxiliares para la transmisión de órdenes: en las cabinas correspondientes.
- o) Conmutadores de mando y señalización: en las cabinas correspondientes.
- p) Conmutadores de mando necesarios para el mando de seccionadores: en el cuadro de seccionadores de los feeders de alimentación a catenaria y feeders de acompañamiento o en el cuadro de seccionadores de los feeders de talleres y cocheras.
- q) Indicadores luminosos de posición para los seccionadores: cada uno con su correspondiente mando.
- r) Relés programados temporizados y de bloqueo para las pruebas de línea: en cada cabina de feeder.



Co-financed by the Connecting Europe
Facility of the European Union

- s) Relés de mando: en las cabinas correspondientes.
- t) Interruptores magnetotérmicos con contacto auxiliar para protección de los circuitos de control y para la alimentación del transformador de señalización: cada uno en la cabina correspondiente. El grupo de señales de tráfico va alojado en cabinas independientes, el magnetotérmico de protección va alojado en la misma cabina que el transformador. Dicho magnetotérmico deberá llevar mando eléctrico para poderse telemandar.
- u) Sistema de enclavamiento de la subestación para protección de personal: en las cabinas correspondientes.
- v) La batería de servicios auxiliares provista de 86 elementos Cd-Ni, 45 Ah 110 Vcc y la batería de servicios auxiliares provista de 37 elementos Cd-Ni 30 Ah 48 Vcc, con sus cargadores ya incluidos, provistas de sus descargadores correspondientes y fusibles ultrarrápidos para proteger los circuitos de control.

10. RED DE TIERRAS LÍNEA

La red de tierras de las subestaciones se ha descrito en el apartado 5.2.

Se propone una red de tierras, mediante cable de cobre aislado de sección 95 mm², tendido de forma subterránea a lo largo de todo el recorrido del tranvía y que unirán todos los elementos metálicos susceptibles de ser puestos en tensión por una pérdida de aislamiento y que se encuentren dentro de la zona de riesgo (aproximadamente 4 m a cada lado de las vías):

- Postes catenaria.
- Columnas alumbrado exterior.
- Marquesinas paradas.
- Armarios eléctricos.
- Otros elementos.

Con el fin de minimizar el efecto de las corrientes vagabundas, este tendido de cable de tierra, se tramificará.

Se dispondrán un equipo de detección de tensión a tierra (VLD) en cada parada y en cada armario de derivación de feeders.

En el apartado 7.2.5 se dan más detalles sobre la red de tierras.

11. BAJA TENSIÓN EN PARADAS DE SUPERFICIE

La alimentación de baja tensión de las estaciones en superficie se ha previsto con una acometida a 230 Vca a realizar por la compañía suministradora de energía.

El cuadro de servicios no críticos alimentará a las siguientes líneas:

- Bases de enchufe de usos varios de andén y caseta.
- Alimentación al cuadro general de baja tensión de servicios críticos.

Cada una de las líneas estará dotada de protección magnetotérmica y diferencial.

El cuadro de servicios críticos alimentará a las siguientes líneas:

- Alumbrado de andén.
- Sistema de Control de Instalaciones.
- Sistemas de Comunicaciones.
- Señalización.
- Expendedor de billetes.

Cada una de las líneas estará dotada de protección magnetotérmica y diferencial.

Las líneas de alumbrado tendrán un contactor y un conmutador de tres posiciones y tendrán un contactor para su telemando. Los servicios irán dotados de un transformador de aislamiento, sistema de neutro IT y de detector de aislamiento por salida.

La iluminación en andenes se conseguirá a base de instalar postes de lámparas de vapor de sodio de alta presión y fluorescentes en marquesinas según planos.

Los cables de baja tensión a instalar serán cables de cobre tipo RZ1-k 0.6/1 kV de aislamiento, del mismo tipo que los empleados para las estaciones subterráneas. Serán no propagadores de la llama, cero halógenos y baja emisión de humos tóxicos, corrosivos y opacos.

11.1. ACOMETIDA

La alimentación de baja tensión de las paradas en superficie se ha previsto mediante acometidas independientes desde la red de la compañía distribuidora a 400/230 Vca., tanto para las estaciones con andén doble como para las paradas de un andén. En cada parada se ha previsto un armario de acometida y medida, según normas de ERZ ENDESA, y un cuadro de baja tensión en el interior de un armario donde se alojan las protecciones eléctricas de alimentación a todos los equipos ubicados en las paradas.

11.2. CARGAS ANDÉN SENCILLO

Tabla 2. Resumen de cargas andén sencillo

POTENCIA TOTAL INSTALADA =	9	kVA		
COEFIC. SIMULT. TOTAL DE LA INSTAL. =	0,80			
POTENCIA SIMULT.:	7	kVA		
INCREMENTO POR ARMÓNICOS	1,10	kVA		
TOTAL POTENCIA DE CÁLCULO:	8,41	kVA	25	A.
POTENCIA A CONTRATAR.	6,33	kW	5,75	MONOF
INTENSIDAD NOMINAL:	21	A.		
SECCIÓN ACOMETIDA:	4 x 16			
INTENSIDAD DE C.C.:	9,62	kA		

El cuadro de servicios no críticos alimentará a las siguientes líneas:

Tabla 3. Líneas alimentadas por cuadro de servicios no críticos. Andén sencillo

Nombre	Potencia kW	cos φ	Potencia kVA
POTENCIA DE CALCULO ACOMETIDA			9
TOTAL POTENCIA INSTALADA	7	0,75	9
ALIMENTACIÓN UPS	0,91	0,65	1,40
ALIMENTACIÓN UPS BY-PASS	0,91	0,65	1,40
UTILIDADES	1,50	0,70	2,14
RESTO			
ALIM. MAQUINA EXPENDEDORA DE BILLETES 1	1,76	0,80	2,20
ALUMBRADO DE MARQUESINA1	1,00	0,90	1,11
ALUMBRADO DE MARQUESINA EMERGENCIA1	0,10	0,90	0,11
TOMAS DE CORRIENTE 1	1,00	0,70	1,43
RESERVA 1	0,20	0,80	0,25
RESERVA 2	0,20	0,80	0,25
RESERVA 3	0,20	0,8	0,25
DESCARGADORES SOBRE TENSION			

Cada una de las líneas estará dotada de protección magneto térmica y diferencial.

El cuadro de servicios críticos alimentará a los siguientes servicios:

Tabla 4. Líneas alimentadas por cuadro de servicios críticos. Andén sencillo

Nombre	Potencia kW	cos φ	Potencia kVA
POTENCIA SAI 1			1,40
POTENCIA INSTALADA	1,13	0,70	1,62
RED TX	0,21	0,70	0,30
MEGAFONÍA	0,28	0,70	0,40
INTERFONÍA	0,07	0,70	0,10
CCTV	0,07	0,70	0,10
PANEL INFORMATIVO 1	0,07	0,70	0,10
PANEL INFORMATIVO 2	0,07	0,70	0,10
CAMARA 1	0,06	0,70	0,08
CAMARA 2	0,06	0,70	0,08
CAMARA 3	0,06	0,70	0,08
CAMARA 4	0,06	0,70	0,08
ALIMENTACIÓN SCADA	0,07	0,70	0,10
RESERVA 1	0,07	0,70	0,10
DESCARGADORES SOBRE TENSION			

Cada una de las líneas estará dotada de protección magneto térmica y diferencial.

11.3. CARGAS ANDÉN DOBLE

Tabla 5. Resumen de cargas andén doble

POTENCIA TOTAL INSTALADA =	15	kVA		
COEFIC. SIMULT. TOTAL DE LA INSTAL. =	0,90			
POTENCIA SIMULT.:	14	kVA		
INCREMENTO POR ARMÓNICOS	2,04	kVA		
TOTAL POTENCIA DE CÁLCULO:	16	kVA	20	A.
POTENCIA A CONTRATAR.	11,62	kW	13,86	TRIF.
INTENSIDAD NOMINAL:	23	A.		
SECCIÓN ACOMETIDA:	4 x 16			
INTENSIDAD DE C.C.:	9,62	kA		

El cuadro de servicios no críticos alimentará a las siguientes líneas:

Tabla 6. Líneas alimentadas por cuadro de servicios no críticos. Andén doble

Nombre	Potencia	COS ϕ	Potencia
	kW		kVA
POTENCIA DE CALCULO ACOMETIDA			15
TOTAL POTENCIA INSTALADA	11	0,74	15
SERVICIOS NORMALES	11		15
ALIMENTACIÓN UPS	1,40	0,65	2,52
UTILIDADES	1,50	0,70	2,14
RESTO			
ALIM. MAQUINA EXPENDEDORA DE BILLETES 1	1,76	0,80	2,20
ALIM. MAQUINA EXPENDEDORA DE BILLETES 2	1,76	0,80	2,20
ALUMBRADO DE MARQUESINA1	1,00	0,90	1,11
ALUMBRADO DE MARQUESINA2	1,00	0,90	1,11
ALUMBRADO DE MARQUESINA EMERGENCIA1	0,10	0,90	0,11
ALUMBRADO DE MARQUESINA EMERGENCIA2	0,10	0,90	0,11
TOMAS DE CORRIENTE 1	1,00	0,70	1,43
TOMAS DE CORRIENTE 2	1,00	0,70	1,43
RESERVA 1	0,20	0,80	0,25
RESERVA 2	0,20	0,80	0,25
RESERVA 3	0,20	0,8	0,25
DESCARGADORES SOBRE TENSION			

Cada una de las líneas estará dotada de protección magneto térmica y diferencial.

El cuadro de servicios críticos alimentará a los siguientes servicios:

Tabla 7. Líneas alimentadas por cuadro de servicios críticos. Andén doble

Nombre	Potencia	COS ϕ	Potencia
	kW		kVA
POTENCIA SAI 1			1,40
POTENCIA INSTALADA	1,13	0,70	1,62
RED TX	0,21	0,70	0,30
MEGAFONÍA	0,28	0,70	0,40
INTERFONÍA	0,07	0,70	0,10
CCTV	0,07	0,70	0,10
PANEL INFORMATIVO 1	0,07	0,70	0,10
PANEL INFORMATIVO 2	0,07	0,70	0,10
CAMARA 1	0,06	0,70	0,08
CAMARA 2	0,06	0,70	0,08
CAMARA 3	0,06	0,70	0,08
CAMARA 4	0,06	0,70	0,08
ALIMENTACIÓN SCADA	0,07	0,70	0,10
RESERVA 1	0,07	0,70	0,10
DESCARGADORES SOBRE TENSION			

Cada una de las líneas estará dotada de protección magnetotérmica y diferencial. Las líneas de alumbrado de tendrán un contactor y un conmutador de tres posiciones.

La iluminación en andenes se conseguirá a base de lámparas tipo LED ubicadas en marquesinas.

Los cables de baja tensión a instalar serán cables de cobre tipo RZ1-k 0.6/1 kV de aislamiento. Serán no propagadores de la llama, cero halógenos y baja emisión de humos tóxicos, corrosivos y opacos.

11.4. INSTALACIÓN

Toda la instalación eléctrica se realizará mediante conductores de cobre RZ1 0.6/1 kV. Bajo tubo plástico reforzado en las instalaciones por encima de nivel suelo y mediante tubos de PVC 90 mm corrugados de pared interior lisa en las instalaciones subterráneas.

11.5. ALUMBRADO

Se ha previsto la iluminación de las marquesinas de los andenes mediante una fila compuesta por luminarias tipo LED con reflector asimétrico, con equipo electrónico de bajas pérdidas. Estas luminarias van provistas de un difusor continuo mediante lamas. El nivel medio de iluminación en esta zona será de 200 lux.

En las rampas de acceso a la marquesina se han previsto unas luminarias tipo LED, instaladas en los postes de las catenarias a 7 m de altura. El nivel medio de iluminación en esta zona será de 50 lux.

11.6. RED DE TIERRAS

En cada parada se ejecutará una red de tierras mediante conductor de cobre desnudo de sección 1x95 mm² enterrado siguiendo el perímetro de la parada y mediante picas de acero cobreado de 2 m de longitud, con sus correspondientes arquetas con indicación de Toma de Tierras. Esta toma de tierra se unirá a la toma general de tierra del sistema de tracción de forma que se disponga de una única red de tierras general para todo el sistema. Esta red, tal y como se ha detallado en el punto 7.2.5 se tramificará con el objeto de no convertirse en un conductor colector de corrientes vagabundas.

12. INFORME DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

A continuación, se adjunta “Informe de Simulación de Tracción”.

12.1. OBJETO Y ALCANCE

El objeto del presente documento es llevar a cabo un análisis desde el punto de vista de la alimentación eléctrica de tracción, para la futura línea este-oeste del tranvía de Zaragoza, para dimensionar la red y los talleres y cocheras, a partir del análisis de los datos obtenidos en el estudio de demanda y las características de la línea 1 del tranvía. Asimismo, el estudio servirá como base para el estudio de costes de la línea.

Mediante diversas simulaciones realizadas con el programa informático REPS (Railway Electrical Power Simulation), desarrollado por Idom Consulting, Ingeniería, Architecture S.A., se pretende tomar decisiones adecuadas sobre la posición y la potencia a instalar en las subestaciones para suministrar energía suficiente para alimentar a todas las circulaciones que se vayan a establecer en la línea así como la composición del circuito eléctrico.

El estudio tiene en cuenta los siguientes datos:

- Características del trazado
- Material móvil de CAF en composición simple (5 módulos) y composición doble (5+5 módulos)
- Características eléctricas de la línea aérea tranviaria (LAT) y vía
- Mallas de circulación representando el caso más desfavorable (hora punta)
- Ubicación de las subestaciones (S/E)

En el estudio se analizan los datos de consumo de potencia y caídas de tensión, principales factores que afectan a la ubicación de las subestaciones, considerando los intervalos de explotación mostrados en el apartado 3.3.

El criterio para el establecimiento de la distribución de las S/E y la potencia instalada en las mismas, es que en el caso de circulaciones con composición doble se pueda mantener el servicio en la línea, aún en el caso de contingencia N-1 de una subestación.

Como resultado del estudio, se define la ubicación de las subestaciones de tracción, potencia de las mismas y la composición del circuito eléctrico a instalar.

12.2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

12.2.1. Introducción

El cálculo de potencias y caídas de tensión en la LAT se ha realizado empleando el programa informático REPS (Railway Electrical Power Simulation), desarrollado por Idom.

12.2.2. Datos de entrada

Para la realización de cálculos, con el programa REPS se realiza una simulación precisa de las condiciones reales de explotación en los tramos objetos de estudio.

A fin de simplificar la comprensión del documento, se efectúa a continuación un resumen con la descripción básica de las diferentes alternativas analizadas, así como los escenarios evaluados y resultados de los mismos.

Las alternativas analizadas son las siguientes:

- Curvas características del material rodante que circula por la línea
- Parámetros del trazado (pendientes, radios de curvatura, paradas)
- Mallas de circulación de trenes
- Limitaciones introducidas por la velocidad
- Tipo de electrificación empleada

12.2.2.1. Material rodante

El programa permite definir y utilizar cualquier tipo de material rodante. Para ello se especifican las características de las unidades que circulan por la línea.

Los datos del material rodante son:

- Peso
- Rendimiento mecánico – eléctrico
- Las curvas características del material motor y del conjunto del material rodante se han construido a partir de los principales parámetros. Las curvas características que REPS construye y tiene en cuenta son:
 - Resistencia al avance/velocidad
 - Esfuerzo de tracción máximo/velocidad
 - Consumo eléctrico/tracción máxima
 - Fuerza de frenado/velocidad

A partir de estas curvas se calculan las aceleraciones y deceleraciones máximas para distintas condiciones y las intensidades de tracción en condiciones no máximas.

12.2.2.2. Características del trazado

Las características del trazado se introducen, dividiéndolo en tramos homogéneos. La longitud de cada tramo puede ser de algunas decenas de metros o de varios kilómetros. Para cada uno de los tramos es preciso introducir las características geométricas del mismo:

- Pendiente
- Radio de la curva
- Límite máximo de velocidad
- Presencia de túnel y su influencia sobre la resistencia al avance
- Existencia o no de estación

12.2.2.3. Parámetros de explotación

Los parámetros de explotación tenidos en cuenta en el programa son:

- Aceleración y deceleración máximas.
- Aceleración transversal máxima no compensada.
- Distancia mínima de seguridad entre tranvías

Con la ayuda del programa REPS se simula la circulación del material rodante obligando a que en todo momento se cumplan estos requisitos. En particular el programa verifica que la distancia entre unidades sea mayor que la de seguridad, obligando al tren de detrás a frenar en caso contrario.

12.2.2.4. Malla de circulación

REPS permite definir tantas mallas de circulación de trenes como se desee. Las mallas a estudiar se introducen estableciendo la secuencia de paso de los trenes durante el intervalo deseado. Para cada tren se especifica el instante en que inicia su marcha, la velocidad inicial, la prioridad respecto al resto de trenes, las paradas en que cada tren debe detenerse y el tiempo de parada en cada una de ellas.

12.2.2.5. Características de la electrificación

Para el cálculo de las caídas de tensión y los estudios de pérdidas en la electrificación se introducen los datos eléctricos:

- Resistencia del hilo de contacto
- Feeders previstos
- Tensión de alimentación de la línea
- Resistencia interna de las subestaciones

Todo ello determina, junto con los puntos kilométricos de las subestaciones de tracción, las impedancias del circuito eléctrico equivalente del conjunto de las instalaciones de electrificación. REPS permite introducir estos valores o bien calcularlos a partir de las secciones y demás características de los elementos.

12.2.3. Realización de los cálculos

REPS realiza los cálculos mediante una simulación real de las condiciones de explotación teniendo en cuenta los parámetros descritos. Los cálculos se realizan a partir de una discretización del tiempo en intervalos de 1 segundo. Las condiciones un instante después se obtienen mediante integración numérica de las ecuaciones que intervienen en el estudio. Las ecuaciones y los métodos de integración están contrastados con la realidad por distintos organismos y, junto con la posibilidad de disminuir los incrementos de tiempo, permiten obtener resultados con la precisión requerida.

Una vez introducidas las características del material rodante y las del trazado en estudio, el programa calcula la velocidad máxima que tiene cada tren en cada punto de la línea para cumplir los límites de velocidad establecidos en cada tramo.

A continuación, se introduce la malla de circulación y posteriormente REPS realiza la simulación conjunta de todos los trenes. Como resultado se obtiene la intensidad consumida por cada tren en cada instante y punto de la línea, así como la velocidad del tren. También se calculan los consumos máximos y medios en cada zona de la vía y en el tramo completo objeto del estudio. Además, el programa permite realizar los cálculos teniendo en cuenta o no la recuperación de energía de frenado.

Con estos resultados se conocen las potencias mínimas necesarias para dicha malla de circulación.

Con los datos característicos del material rodante, la electrificación, circuitos de retorno y de las S/E se calcula el circuito eléctrico equivalente para cada instante en función de las posiciones de los trenes.

De acuerdo con estos circuitos equivalentes, se obtiene la potencia requerida por cada subestación repartiendo los consumos (intensidades) de los trenes en cada instante, entre las distintas subestaciones en función de su proximidad, obteniendo como subproducto la intensidad en sus feeders. A partir de los valores instantáneos se calculan las potencias medias y máximas requeridas en el intervalo de interés.

Debido a la gran irregularidad de la demanda en los servicios ferroviarios, los grupos transformador – rectificador permiten una potencia (según Clase VI de la norma CEI 146.1.1) del 150% del valor nominal durante dos horas, y del 300% durante 1 minuto.

Finalmente se calculan las caídas de tensión en la catenaria para cada tren, teniendo en cuenta el sistema global de trenes. Esto permite verificar el cumplimiento de las condiciones de tensión mínima admisible en el pantógrafo.

La tensión en el pantógrafo de las unidades debe estar siempre dentro de los límites marcados por la norma EN 50.163 de 1995 (ficha 600 OR de la UIC, 3ª edición de 1981), es decir en el caso objeto del proyecto:

- $U_n = 750 \text{ Vcc}$
- $U_{max} = 900 \text{ Vcc}$
- $U_{min} = 500 \text{ Vcc}$

En el caso de que la tensión esté fuera de este rango el disyuntor de la unidad abrirá el circuito.

12.2.4. Resultados proporcionados por el programa

El programa proporciona los valores instantáneos y globales de los factores que intervienen en la toma de decisiones. De entre los resultados obtenidos cabe destacar:

- Potencia instantánea y media cuadrática de cada subestación eléctrica de tracción para las distintas distribuciones y mallas de circulación de trenes en estudio.
- Caídas de tensión de los trenes en circulación en cada instante y posición.
- Potencia eléctrica disipada en la electrificación y en los carriles.
- Tiempos totales y parciales de recorrido y consumo eléctrico, velocidad, tracción y aceleración en cada P.K. de los distintos trenes de estudio.
- Posición y consumo, en cada instante, de los trenes de la malla de circulación. En la simulación de las mallas de circulación estudiadas el programa considera las interacciones entre trenes, pudiendo valorar la desviación de la situación real respecto de la ideal.
- Intensidad de los feeders de las subestaciones.

12.3. DATOS DE PARTIDA

Para la realización de los cálculos, con el programa REPS se realiza una simulación precisa de las condiciones reales de explotación en los tramos objeto del estudio, habiéndose tenido en cuenta los siguientes parámetros:

- Curvas características del material rodante que circula por la línea

- Parámetros del trazado (pendientes, radios de curva, paradas)
- Tipo de línea aérea empleada
- Malla de circulación de trenes

12.3.1. Material rodante

Se consideran dos tipos de unidades. La primera de ellas consta de unidades simples (5 módulos) y la segunda consta de unidades dobles (5+5 módulos).

12.3.1.1. Material rodante con configuración simple

Se ha considerado la unidad eléctrica URBOS 3 de CAF cuyas características principales de cara a la simulación eléctrica son:

- Número de coches: 5
- Peso unidad carga máxima (4 viaj./m²): 70 Tn
- Esfuerzo Max.: 70 kN
- Unidad. Altura x anchura: 3,60 m x 2,65 m
- Velocidad máxima: 70 km/h
- Unidad Potencia de servicios auxiliares: 80 kW
- Aceleración máxima: 1,2 m/s²
- Deceleración máxima: 1,2 m/s²
- Curva límite de esfuerzo – Velocidad en tracción:

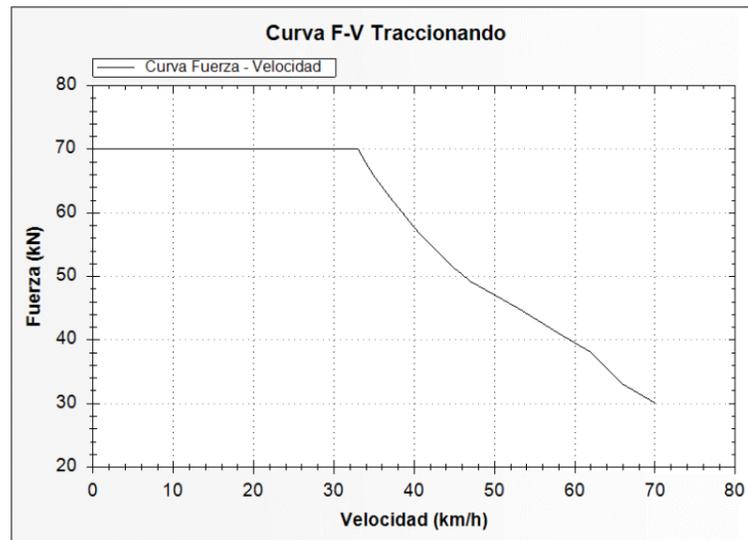


Ilustración 1. Curva F-V traccionando para unidades simples

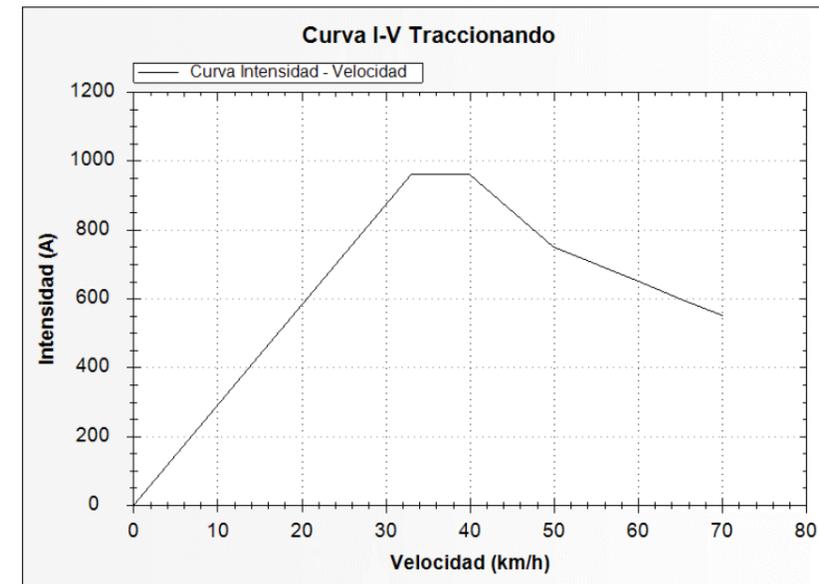


Ilustración 3. Curva I-V traccionando para unidades simples

– Curva límite de esfuerzo – Velocidad frenando:

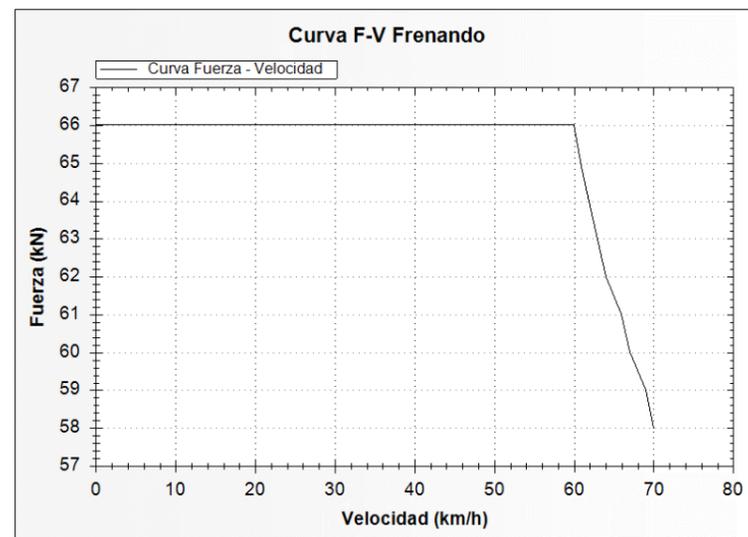


Ilustración 2. Curva F-V frenando para unidades simples

– Curva límite de intensidad – Velocidad frenando:

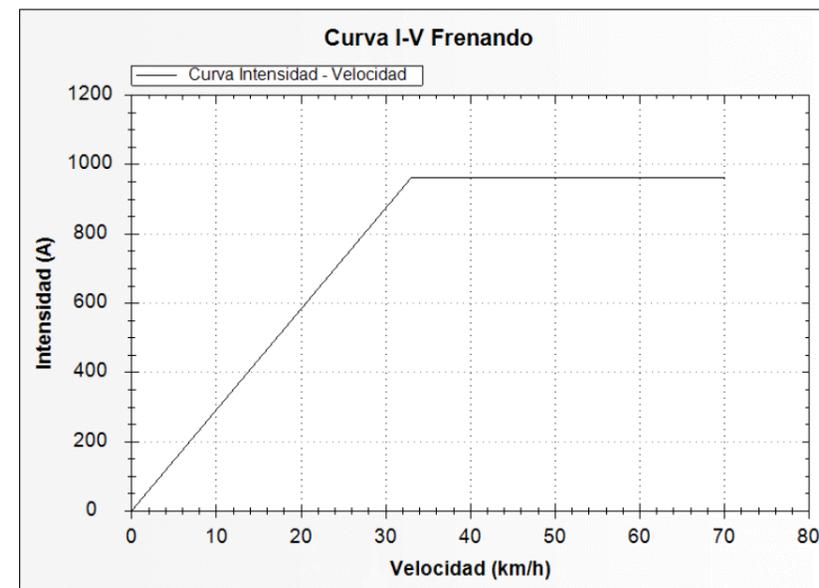


Ilustración 4. Curva I-V frenando para unidades simples

– Curva límite de intensidad – Velocidad en tracción:

12.3.1.2. Material rodante con configuración doble

- Número de coches: 5+5
- Peso unidad carga máxima (4 viaj./m²): 140 Tn
- Esfuerzo Max.: 140 kN
- Unidad. Altura x anchura: 3,60 m x 2,65 m
- Velocidad máxima: 70 km/h
- Unidad Potencia de servicios auxiliares: 160 kW
- Aceleración máxima: 1,2 m/s²
- Deceleración máxima: 1,2 m/s²
- Curva límite de esfuerzo – Velocidad en tracción:

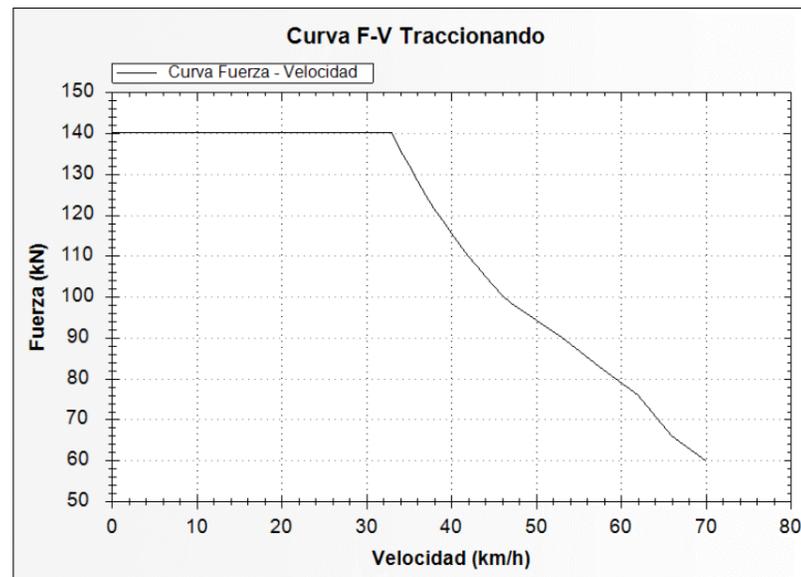


Ilustración 5. Curva F-V traccionando para unidades dobles

- Curva límite de esfuerzo – Velocidad frenando:

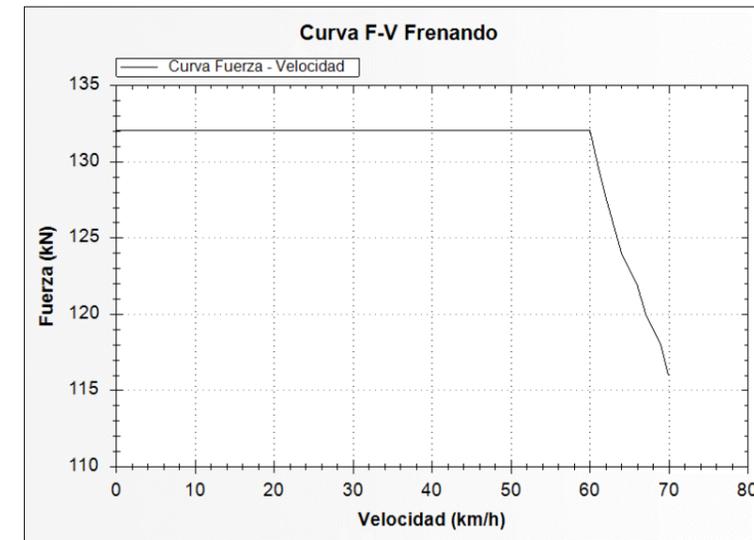


Ilustración 6. Curva F-V frenando para unidades dobles

- Curva límite de intensidad – Velocidad en tracción:

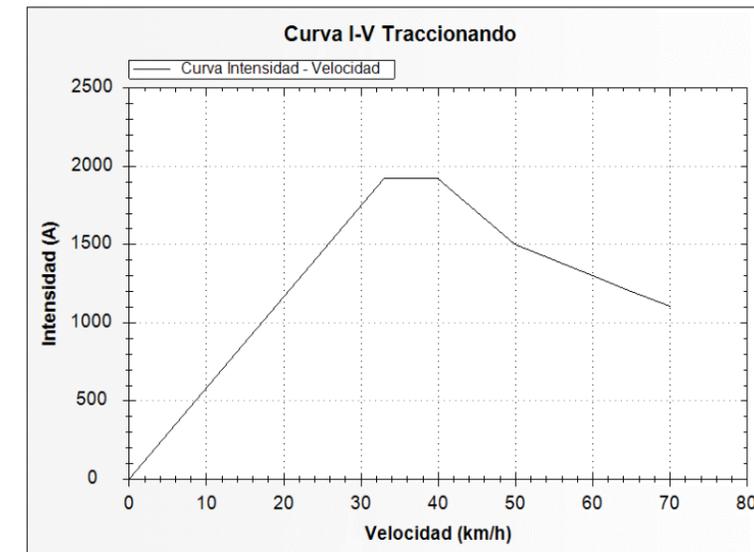


Ilustración 7. Curva I-V traccionando para unidades dobles

12.3.2. Geometría

- Curva límite de intensidad – Velocidad frenando:

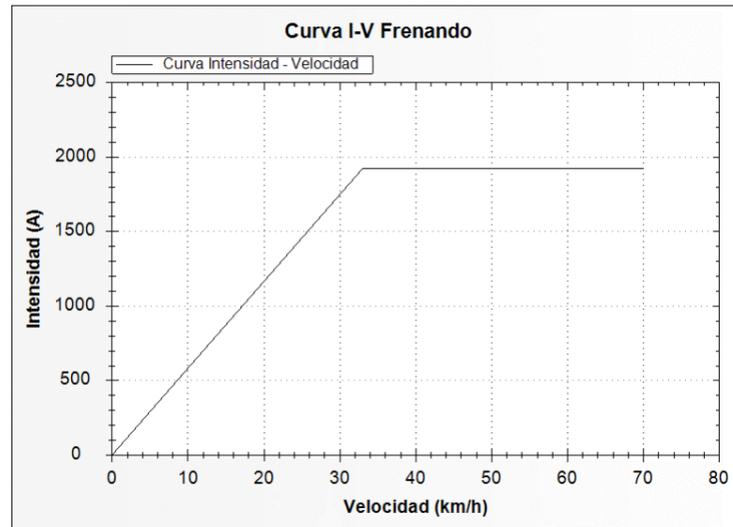


Ilustración 8. Curva I-V frenando para unidades dobles

12.3.2.1. Paradas

Tabla 8. Ubicación de paradas

Nombre	Ubicación [P.K.]
P01	0+072
P02	0+719
P03	1+262
P04	1+658
P05	2+156
P06	2+731
P07	3+244
P08	3+707
P09	4+195
P10	4+725
P11	5+108
P12	5+635
P13	6+035
P14	6+367
P15.1	6+972
P15.2	6+880
P16.1	7+329
P16.2	7+475
P17	7+784
P18	6+722
P19	7+154
P20	7+697
P21	8+287

12.3.2.2. Geometría trazado

En el anejo 6.1 se adjuntan los datos de planta (rectas y curvas) así como el alzado (pendientes) que se ha considerado en la simulación para la realización de los cálculos dinámicos, mecánicos, eléctricos, y energéticos.

12.3.3. Malla de explotación. Horarios y frecuencias

Se ha considerado el caso en el cual desde el tramo común sale un tren cada 5 minutos para cada uno de los dos ramales. A su vez, se ha considerado que los trenes salen cada 10 minutos desde los ramales hacia el tramo común. De esta forma se consiguen frecuencias de 5 minutos en el tramo común y de 10 minutos en cada uno de los ramales. Además, se ha considerado un tiempo de parada en cada estación de 20 segundos. A continuación, se muestra de manera esquemática el mapa de frecuencias.

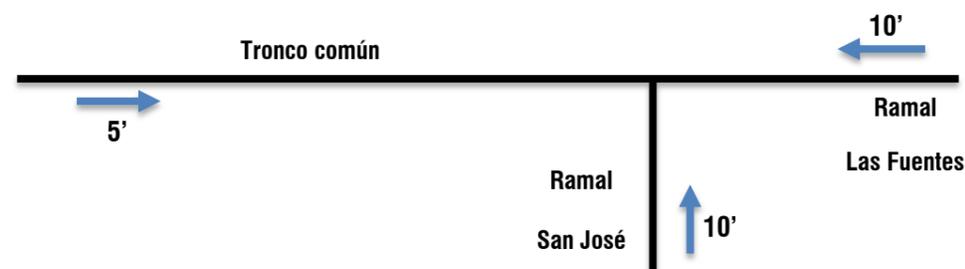


Ilustración 9. Esquema representativo frecuencias de servicio

12.3.4. Esquema eléctrico

De cara a extraer datos energéticos, el esquema unifilar se ha simplificado, dado que para realizar los cálculos eléctricos no es necesario detallar todos los cantones, seccionamientos, zonas neutras o aisladores de sección. En la simulación, los parámetros de funcionamiento de las subestaciones y la configuración de la catenaria y el sistema de retorno se configuran de la siguiente manera:

12.3.4.1. Subestaciones

Tabla 9. Características de las subestaciones

Subestación	P.K. de Simulación	Corriente Continua	
		Tensión Nominal [Vcc]	Pot. grupos [kW]
S/E 1	1+538	750	2x900
S/E 2	2+538	750	2x900
S/E 3	3+997	750	2x900
S/E 4	7+075 Ramal San José	750	2x900
S/E 5	6+672 Ramal Las Fuentes	750	2x900
S/E 6	7+950 Ramal Las Fuentes	750	3x900

La S/E 2 sólo sería necesaria su instalación en caso de que en un futuro fuese necesario el paso de unidades simples a dobles. Si se contempla el escenario de unidades simples no sería necesaria su instalación.

Cabe destacar, que las simulaciones se realizaron inicialmente con una potencia de 1000 kW por cada grupo, pero una vez realizadas las simulaciones y analizados los resultados, se observa un sobredimensionamiento en la potencia de los grupos, por lo que se varía su potencia máxima de 1000 kW a 900 kW.

En cuanto a la parametrización de las subestaciones se ha considerado una tensión en vacío de (V_0) de 800 V y una resistencia interna de 0,02 Ω . Estos valores difieren de los mostrados en el Anejo Ax10, apartado 5.4, ya que para realizar los cálculos se han utilizado niveles de tensión más conservadores.

Se ha supuesto que los feeders de alimentación que parten de cada subestación, para alimentar los trayectos de catenaria estén formados por cuatro feeders de cobre de 240 mm² cada uno.

12.3.4.2. LAT y retornos

Se ha partido de los siguientes datos de partida:

- Hilo de Contacto: 1 x 150 mm² de Cu, suponiendo un desgaste del 20%. Sin sustentador.

- Retorno: carril de acero de 5893,9 mm² de sección, suponiendo un desgaste del 15%.
- Feeder de alimentación: 4 x 240 mm² de Cu.
- Feeder de acompañamiento: 2 x 240 mm² de Cu por vía, salvo en los siguientes casos:
 - Tramo común, de P.K. 0+000 a P.K. 4+000, sentido vuelta, en el cual se considera 3 x 240 mm² de Cu por vía.
 - Ramal San José, de P.K. 7+100 a P.K. 8+330, sentido ida, en el cual se considera 3 x 240 mm² de Cu por vía.

En estos tramos, dada la elevada pendiente del trayecto del tren, ha sido necesaria la consideración de meter un cable más dada la elevada cantidad de corriente que consume el tren en esos tramos para poder garantizar que las caídas de tensión queden por encima del valor marcado por la normativa.

12.4. DESARROLLO DE LAS SIMULACIONES

Se parte de un escenario con todas las subestaciones actuales activas. En el capítulo 5 se muestran las Conclusiones. Para la escala de tiempos se ha partido de un instante en la que la línea está completamente cargada de trenes y dado que las frecuencias en el tramo común son de 10 minutos, solamente se ha realizado la simulación para 10 minutos dado que se repite periódicamente.

12.4.1. Simulación con configuración simple

12.4.1.1. Escenario con todas las subestaciones activas

Tabla 10. Situación subestaciones

S/E 1	S/E 3	S/E 4	S/E 5	S/E 6
Activada	Activada	Activada	Activada	Activada

- Curva caída de tensión en servicio:

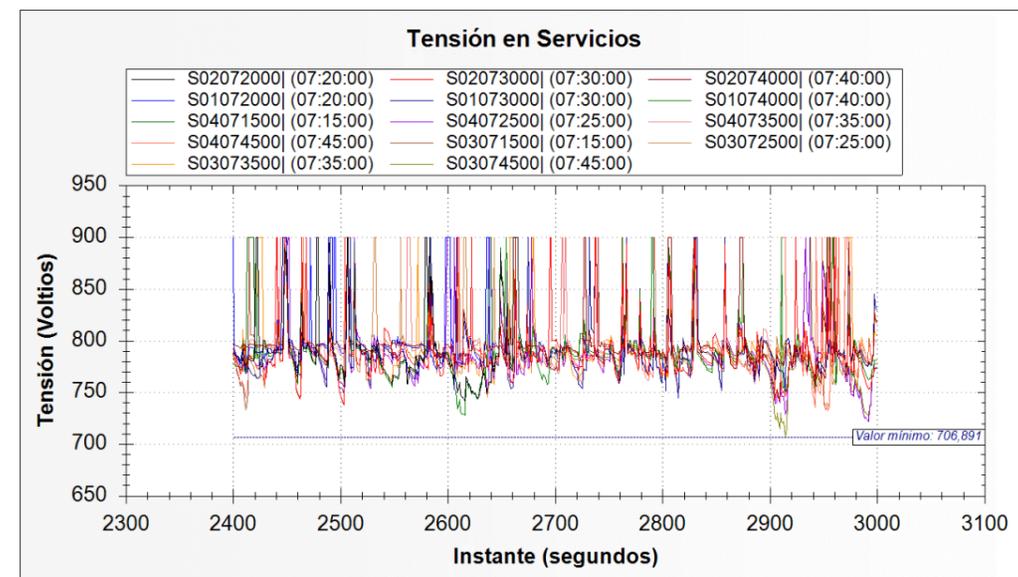


Ilustración 10. Curva de caída de tensión en servicio

– Curva potencia de subestaciones:

▪ S/E 1:

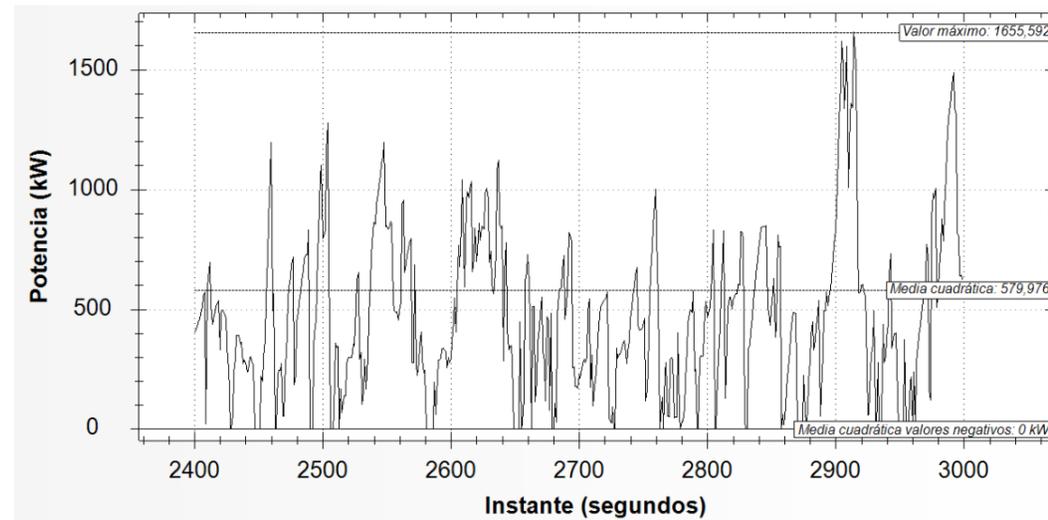


Ilustración 11. Curva potencia S/E 1

▪ S/E 3:

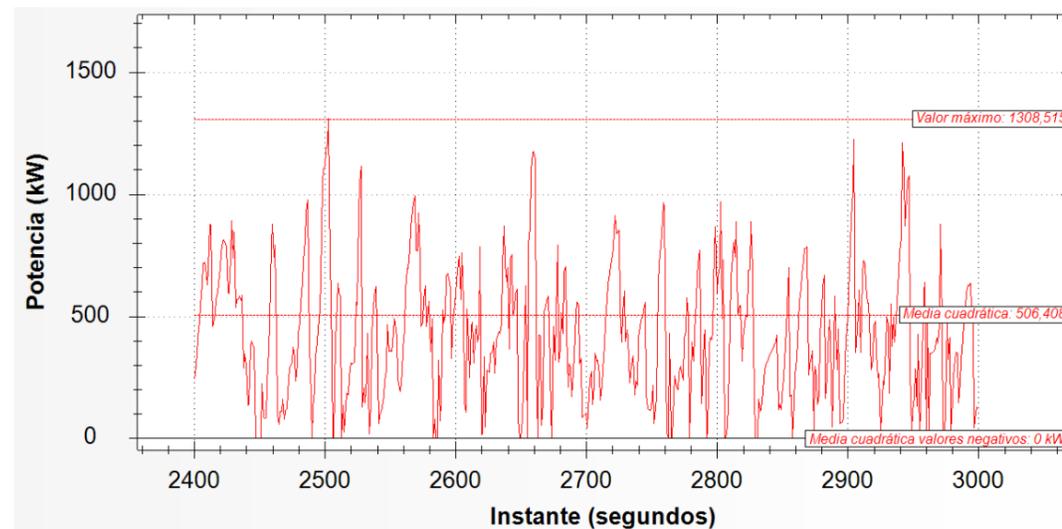


Ilustración 12. Curva potencia S/E 3

▪ S/E 4:

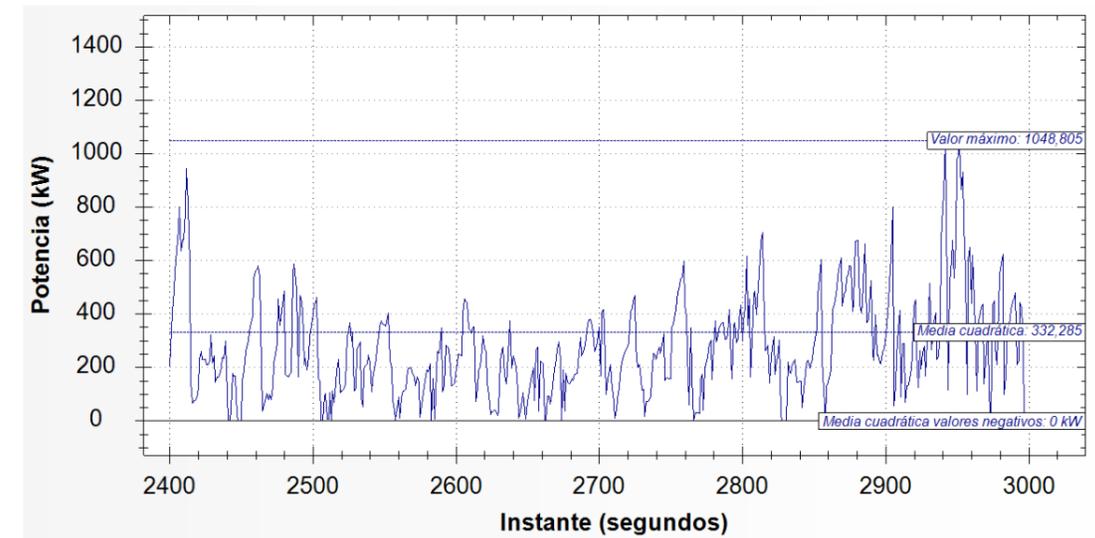


Ilustración 13. Curva potencia S/E 4

▪ S/E 5:

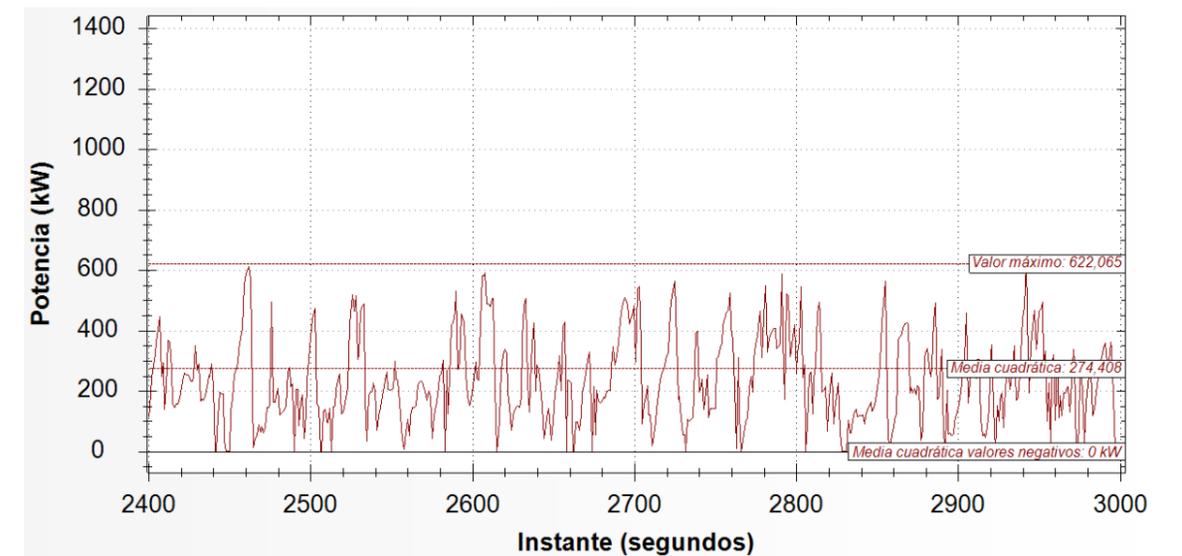


Ilustración 14. Curva potencia S/E 5

- S/E 6:

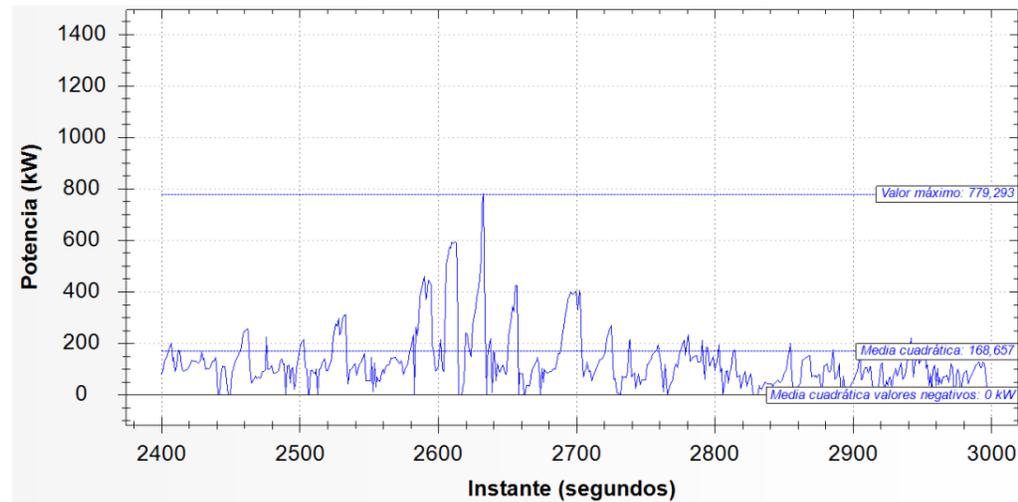


Ilustración 15. Curva potencia S/E 6

12.4.1.2. Escenarios degradados

Tabla 11. Escenarios degradados para unidades simples

	S/E 1	S/E 3	S/E 4	S/E 5	S/E 6
Escenario 1	Desactivada	Activada	Activada	Activada	Desactivada
Escenario 2	Activada	Desactivada	Activada	Activada	Activada
Escenario 3	Activada	Activada	Desactivada	Activada	Activada
Escenario 4	Activada	Activada	Activada	Desactivada	Activada

Para el escenario 1, se han considerado dos subestaciones desactivadas a la vez. Esto es factible dado que la distancia entre las dos subestaciones es elevada y el efecto mutuo que tienen entre ellas es despreciable.

Además, por simplificar los resultados obtenidos sólo se va a mostrar la gráfica de subestación que más potencia consume en cada escenario degradado.

- Escenario 1 (S/E 1 y S/E 5 desactivadas):

- Caída de tensión:

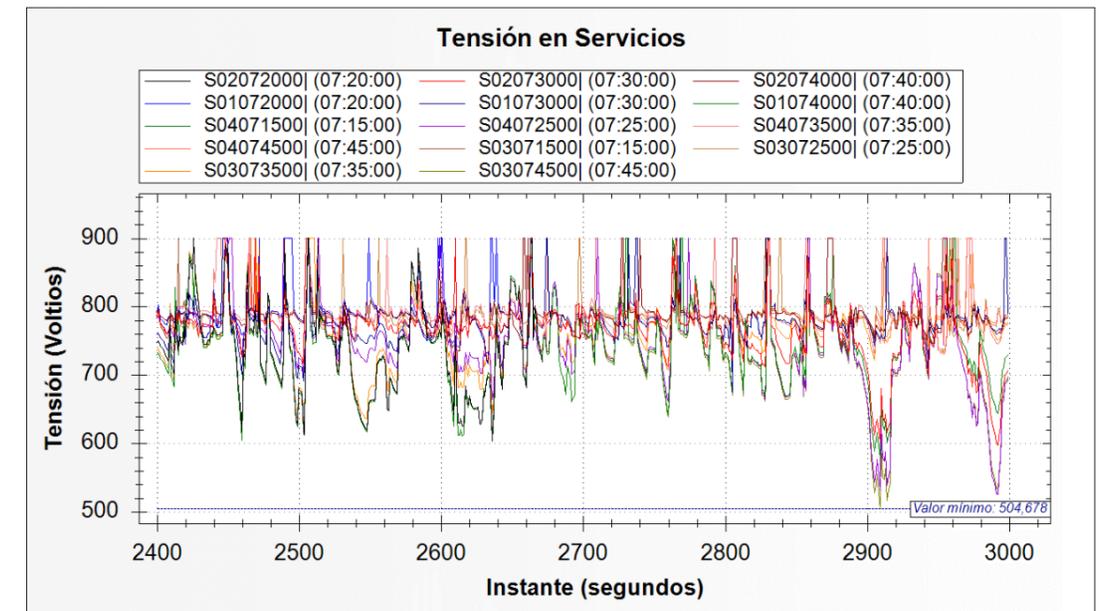


Ilustración 16. Caída de tensión escenario 1

- Potencia subestación (S/E 3):

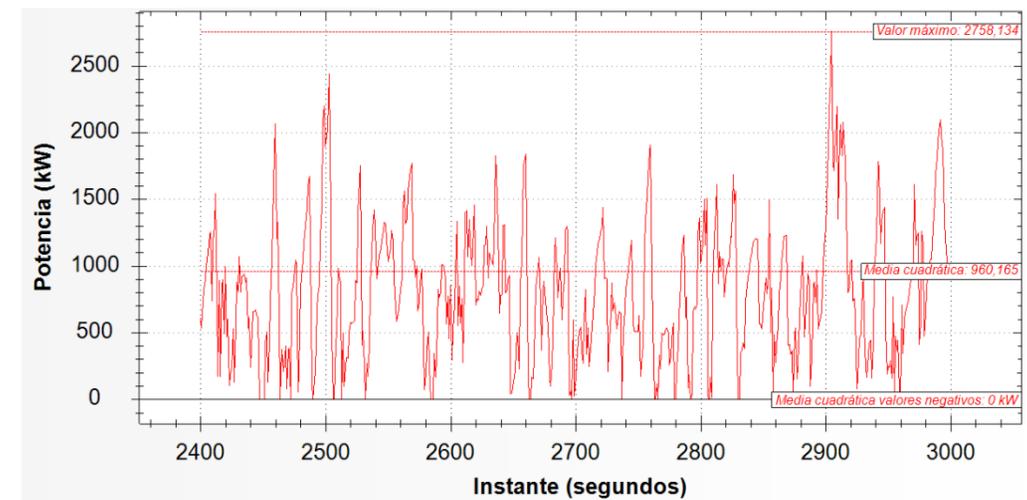


Ilustración 17. Potencia S/E 3 para escenario 1

– Escenario 2 (S/E 3 desactivada):

▪ Caída de tensión:

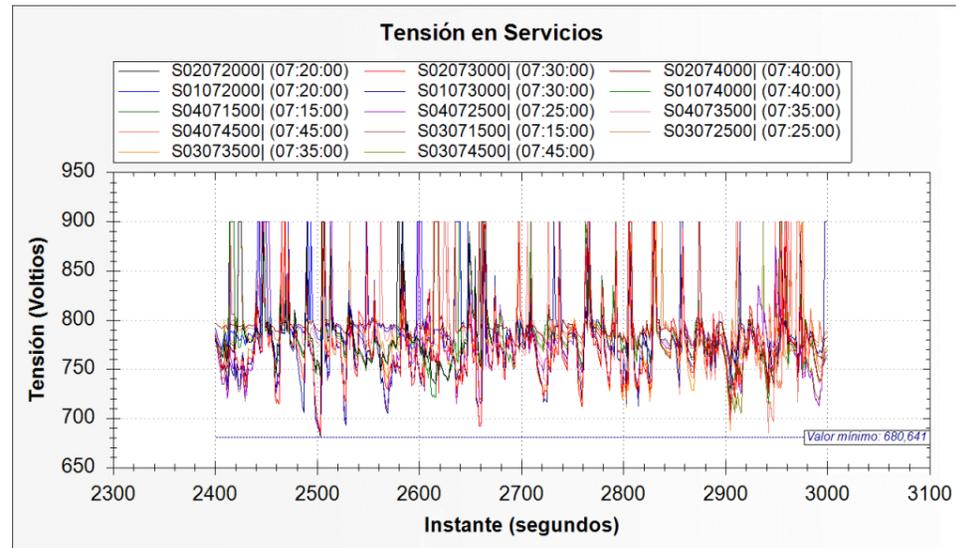


Ilustración 18. Caída de tensión escenario 2

– Escenario 3 (S/E 4 desactivada)

▪ Caída de tensión:

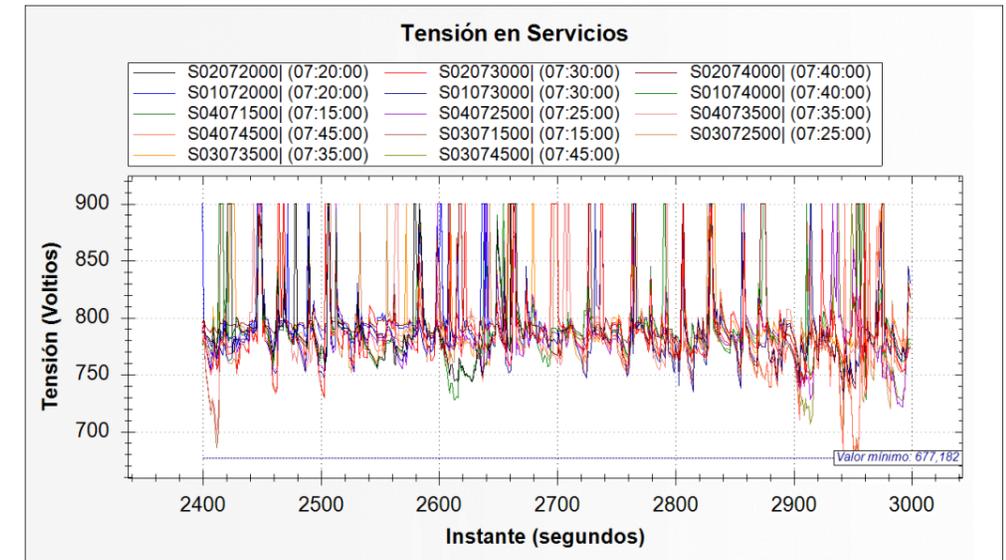


Ilustración 20. Caída de tensión escenario 3

▪ Potencia subestación (S/E 1):

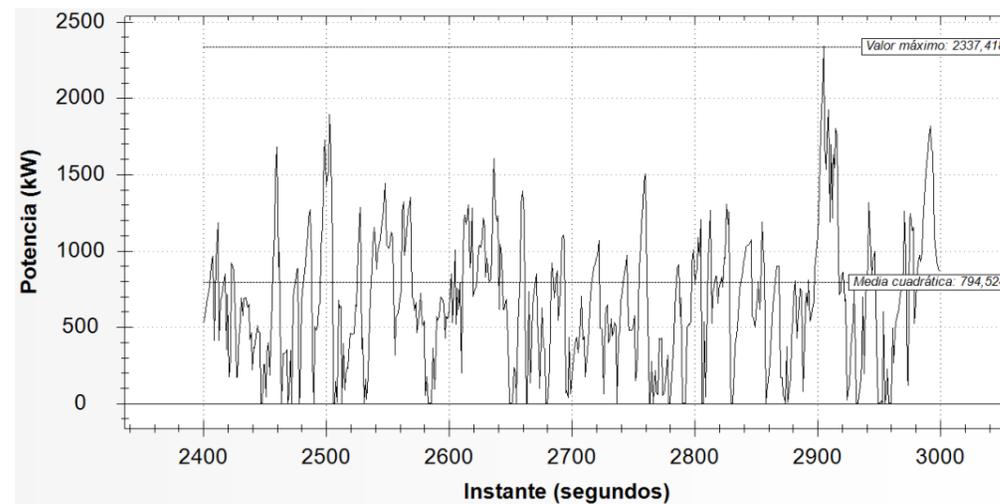


Ilustración 19. Potencia S/E 1 para escenario 2

▪ Potencia subestación (S/E 1):

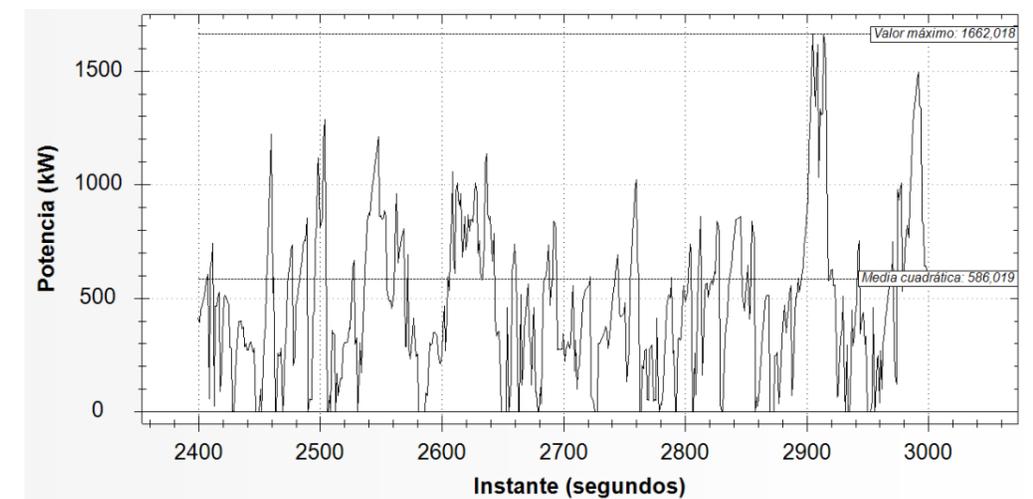


Ilustración 21. Potencia S/E 1 para escenario 3

– Escenario 4 (S/E 5 desactivada)

▪ Caída de tensión:

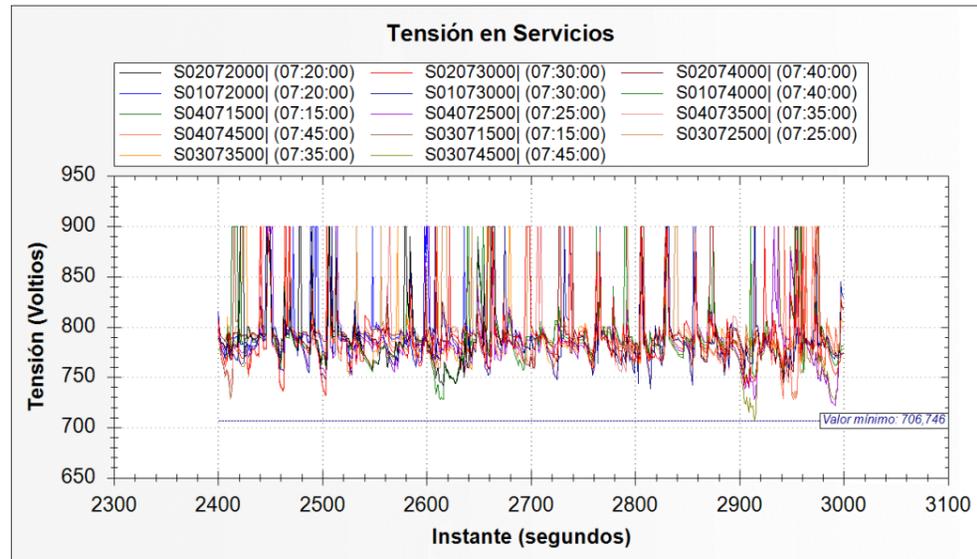


Ilustración 22. Caída de tensión escenario 4

▪ Potencia subestación (S/E 1):

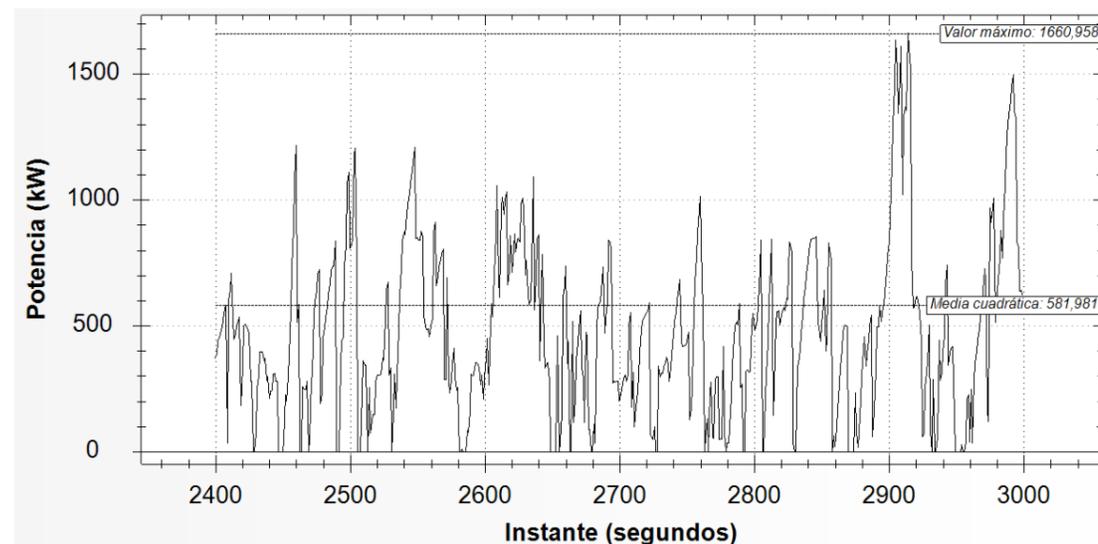


Ilustración 23. Potencia S/E 1 para escenario 4

12.4.2. Simulaciones con configuración doble

12.4.2.1. Escenario con todas las subestaciones activas

Tabla 12. Situación subestaciones

S/E 1	S/E 2	S/E 3	S/E 4	S/E 5	S/E 6
Activada	Activada	Activada	Activada	Activada	Activada

– Curva de caída de tensión en servicio

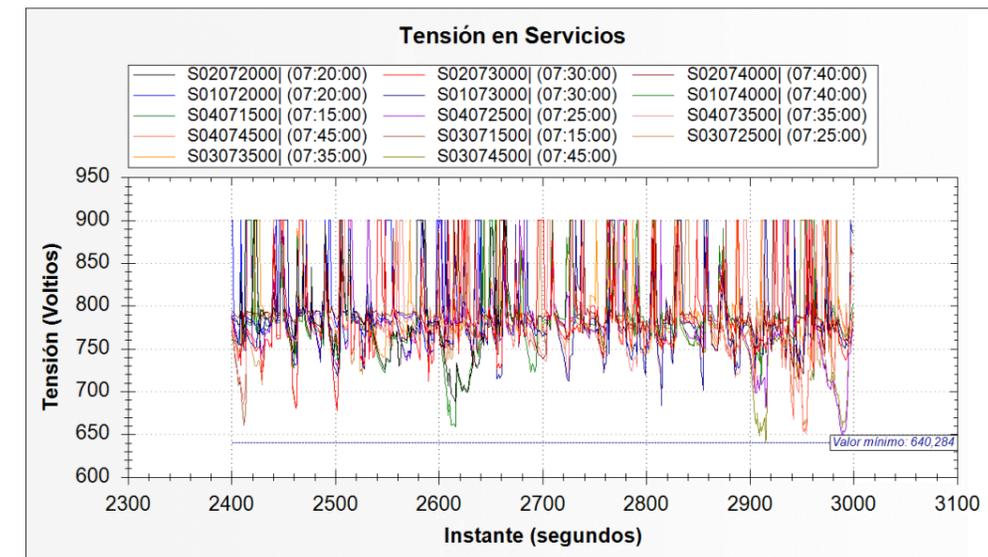


Ilustración 24. Caída de tensión con configuración doble

– Curvas de potencia de subestaciones:

▪ S/E 1:

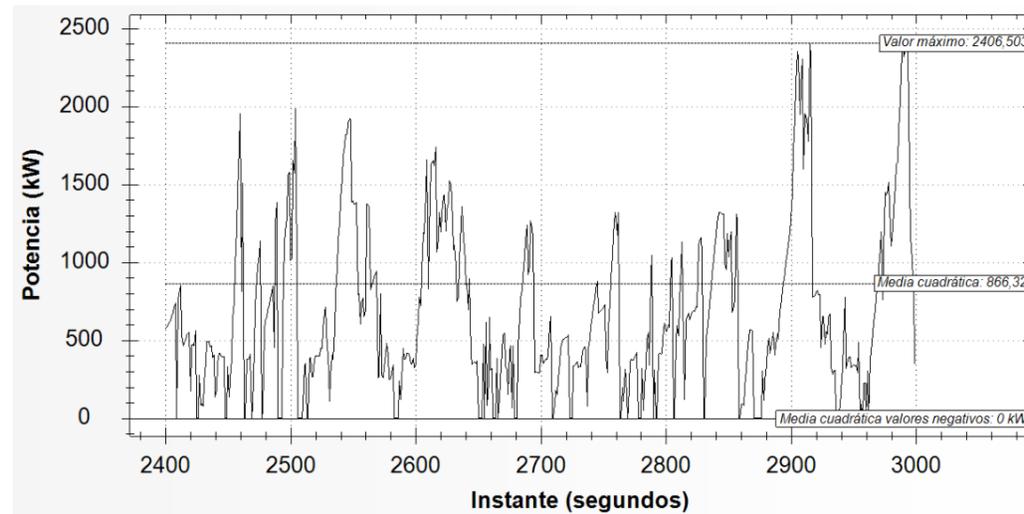


Ilustración 25. Curva potencia S/E 1

▪ S/E 2:

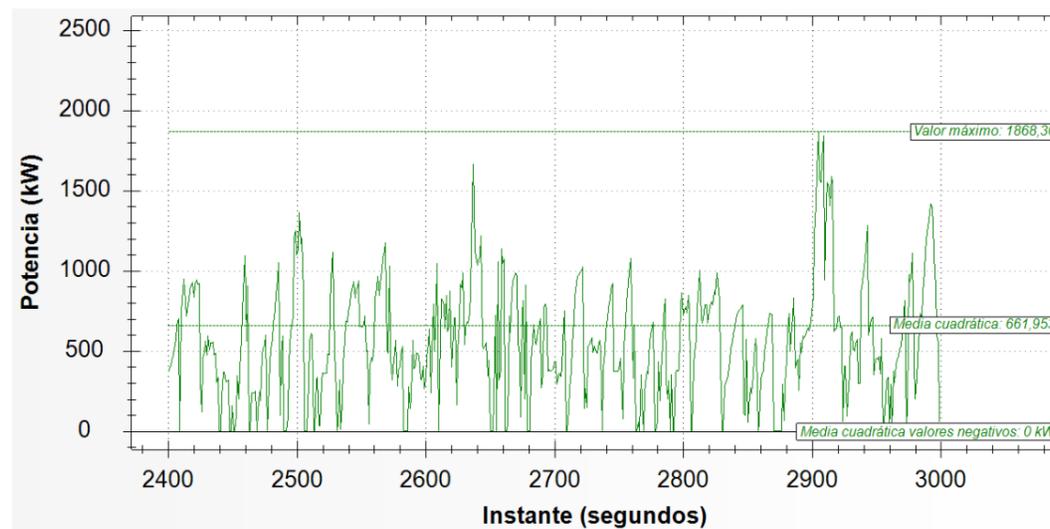


Ilustración 26. Curva potencia S/E 2

▪ S/E 3:

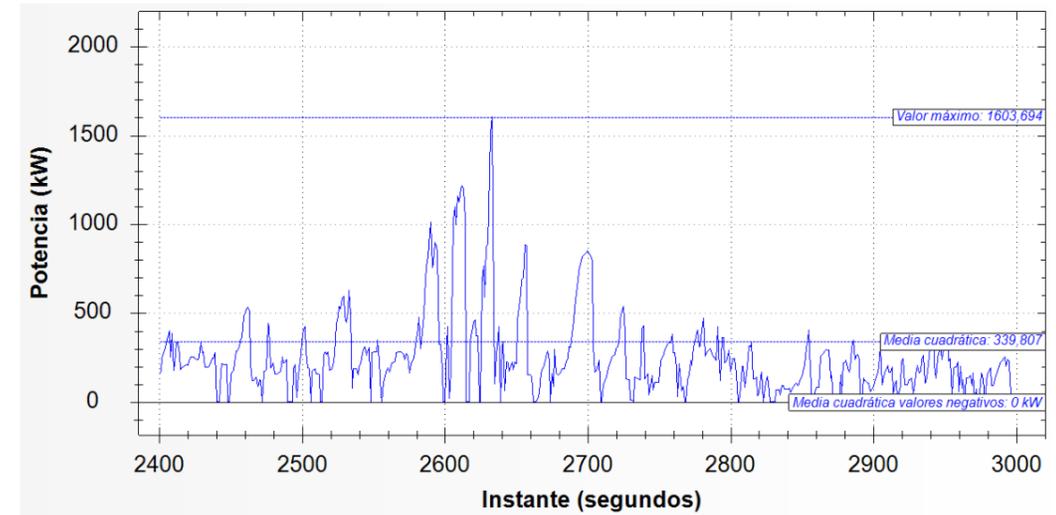


Ilustración 27. Curva potencia S/E 3

▪ S/E 4:

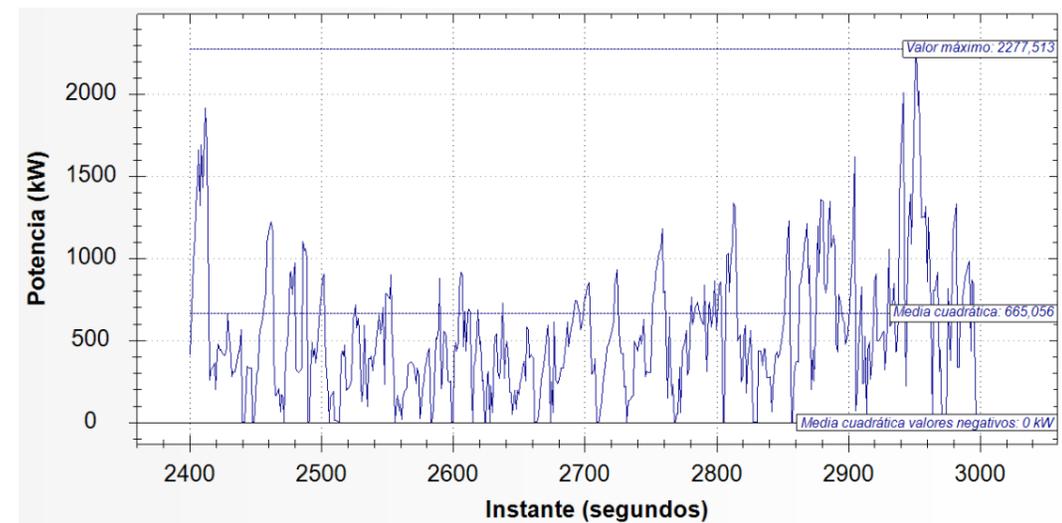


Ilustración 28. Curva potencia S/E 4

- S/E 5:

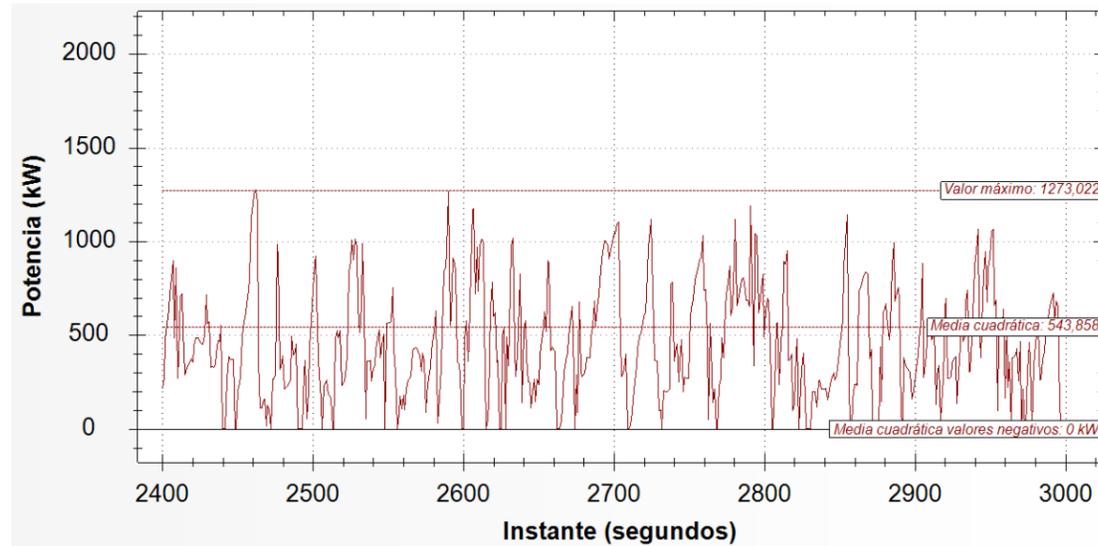


Ilustración 29. Curva potencia S/E 5

- S/E 6:

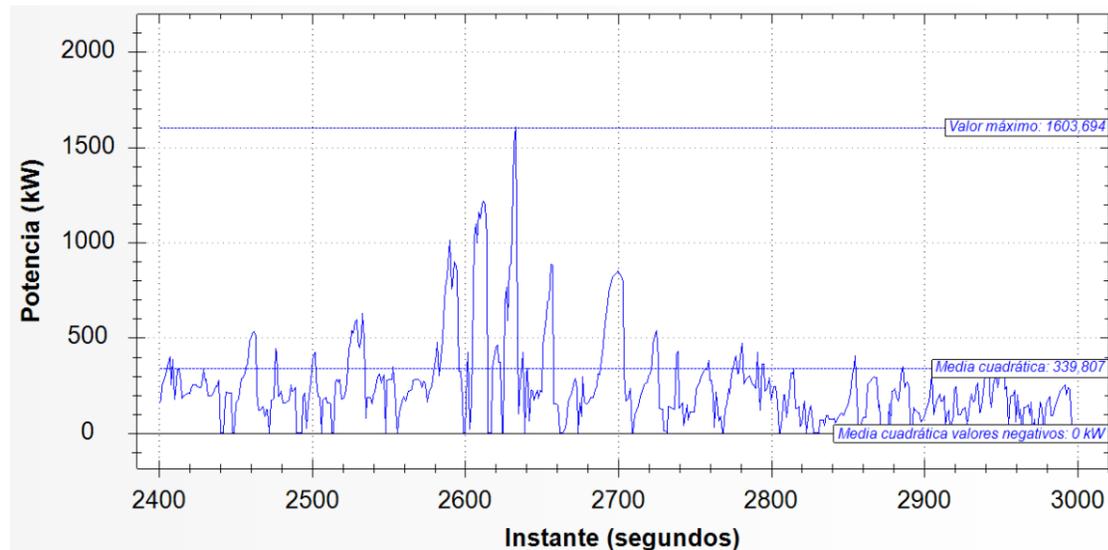


Ilustración 30. Curva potencia S/E 6

12.4.2.2. Escenarios degradados

Tabla 13. Escenarios degradados para unidades dobles

	S/E 1	S/E 2	S/E 3	S/E 4	S/E 5	S/E 6
Escenario 1	Desactivada	Activada	Activada	Activada	Activada	Desactivada
Escenario 2	Activada	Desactivada	Activada	Desactivada	Activada	Activada
Escenario 3	Activada	Activada	Desactivada	Activada	Activada	Activada
Escenario 4	Activada	Activada	Activada	Activada	Desactivada	Activada

- Escenario 1 (S/E 1 y S/E 6 desactivadas)

- Caída de tensión:

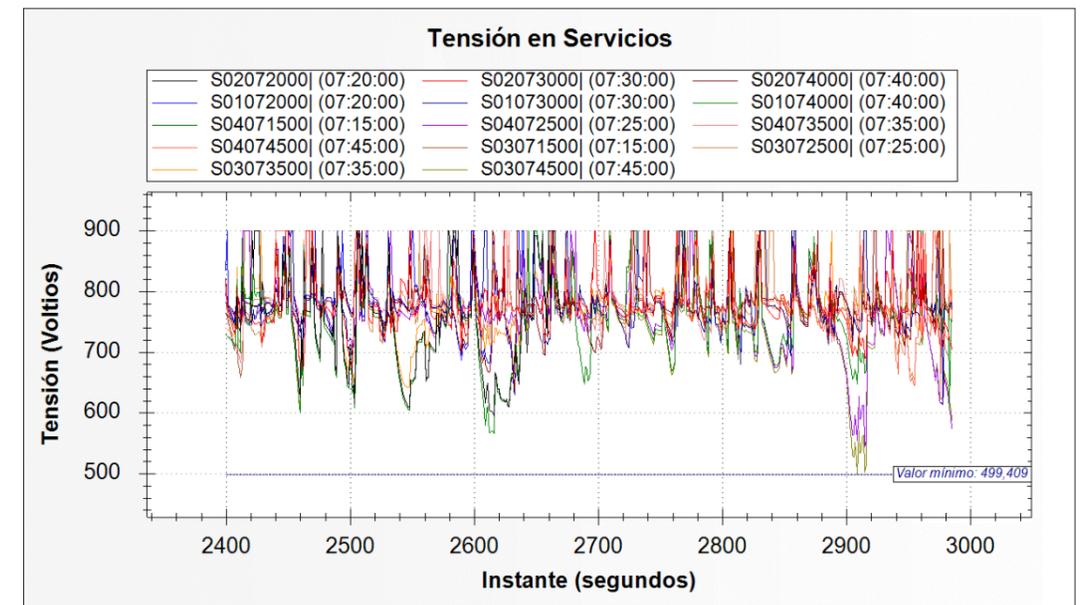


Ilustración 31. Caída de tensión escenario 1

- Potencia subestación (S/E 2):

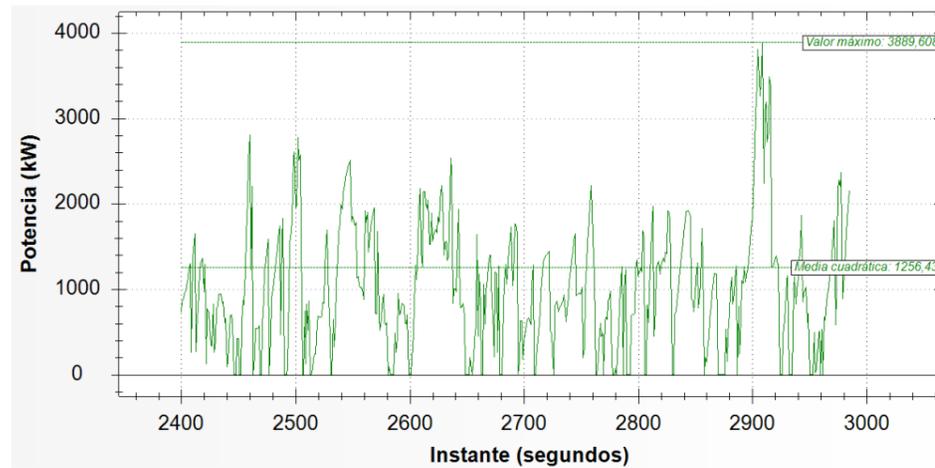


Ilustración 32. Potencia S/E 2 para escenario 1

- Escenario 2 (S/E 2 y S/E 4 desactivadas):

- Caída de tensión:

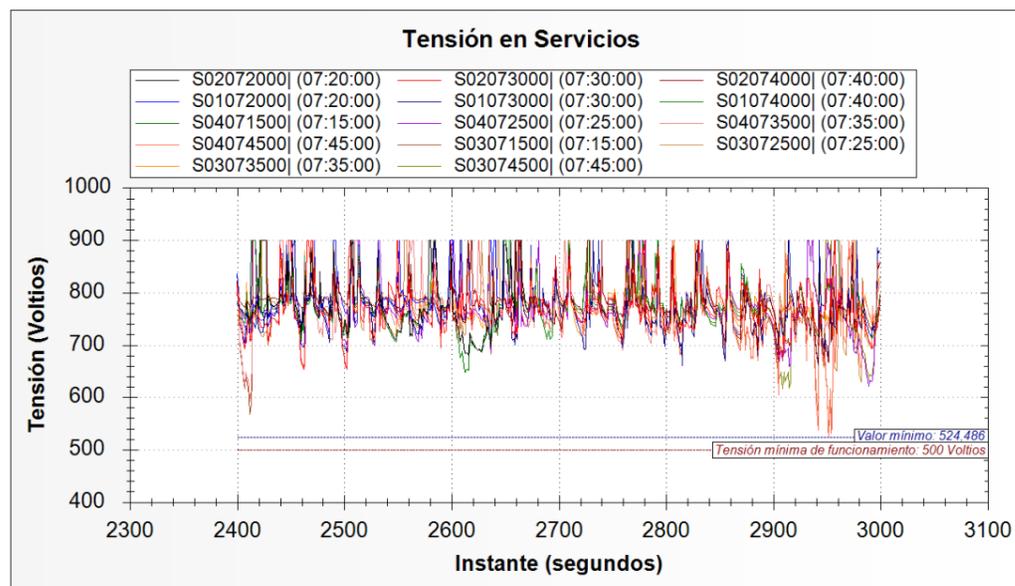


Ilustración 33. Caída de tensión escenario 2

- Potencia subestación (S/E 2):

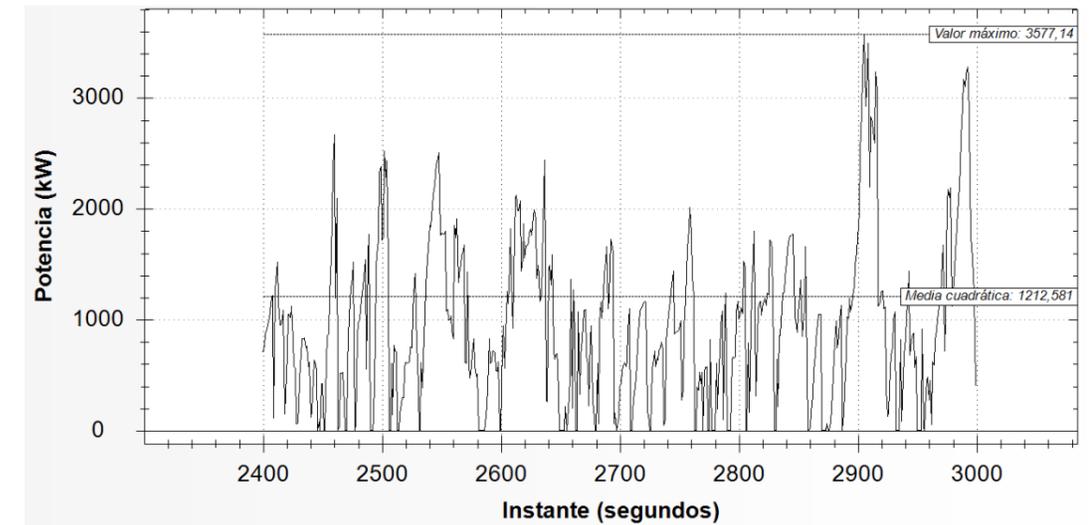


Ilustración 34. Potencia S/E 2 para escenario 2

- Escenario 3 (S/E 3 desactivada)

- Caída de tensión:

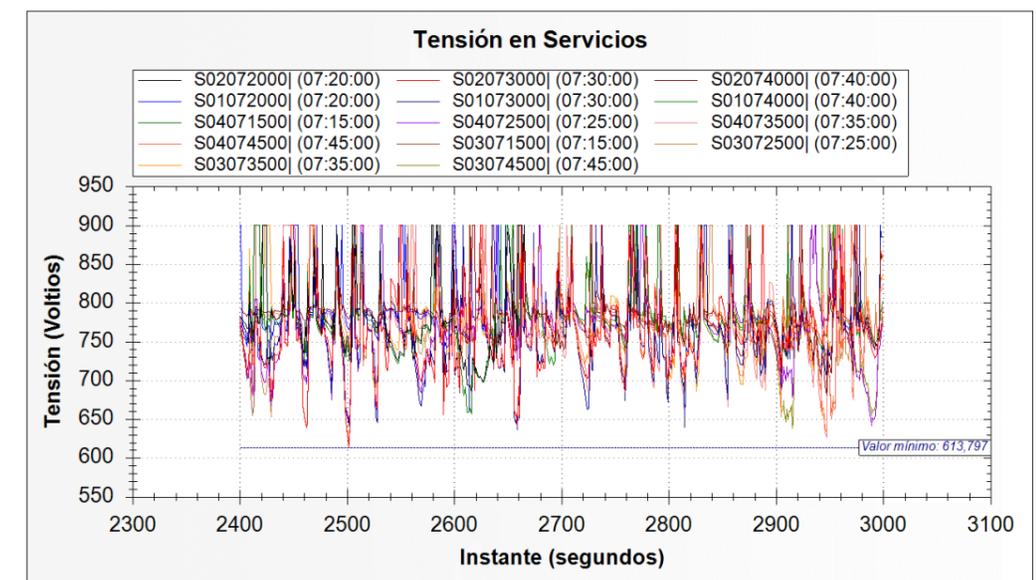


Ilustración 35. Caída de tensión escenario 3

- Potencia subestación (S/E 1):

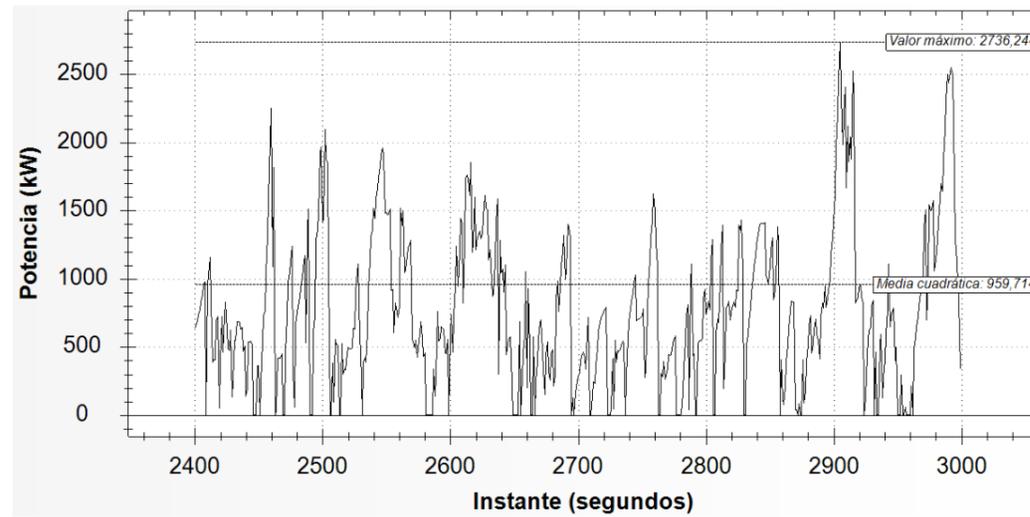


Ilustración 36. Potencia S/E 1 para escenario 3

- Potencia subestación (S/E 4):

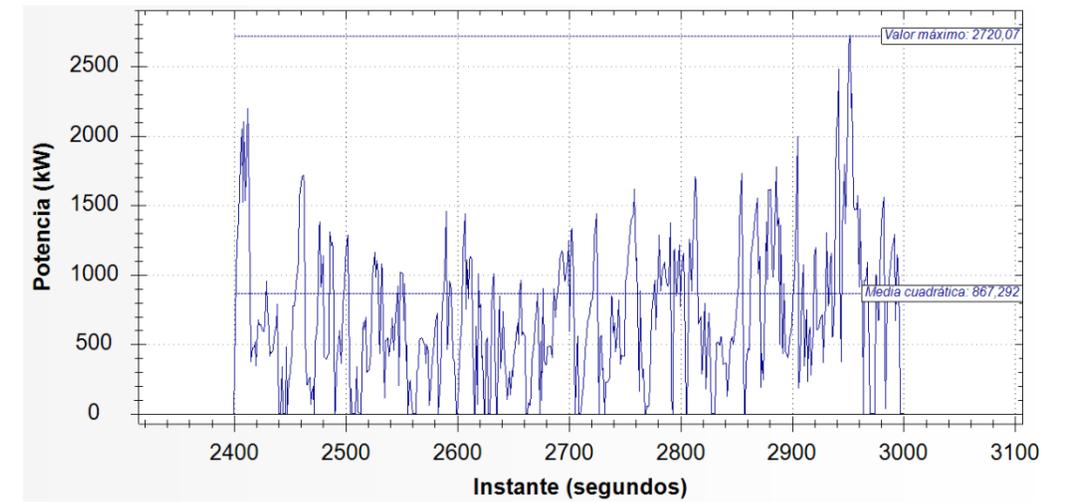


Ilustración 38. Potencia S/E 4 escenario 4

- Escenario 4 (S/E 5 desactivada)

- Caída de tensión:

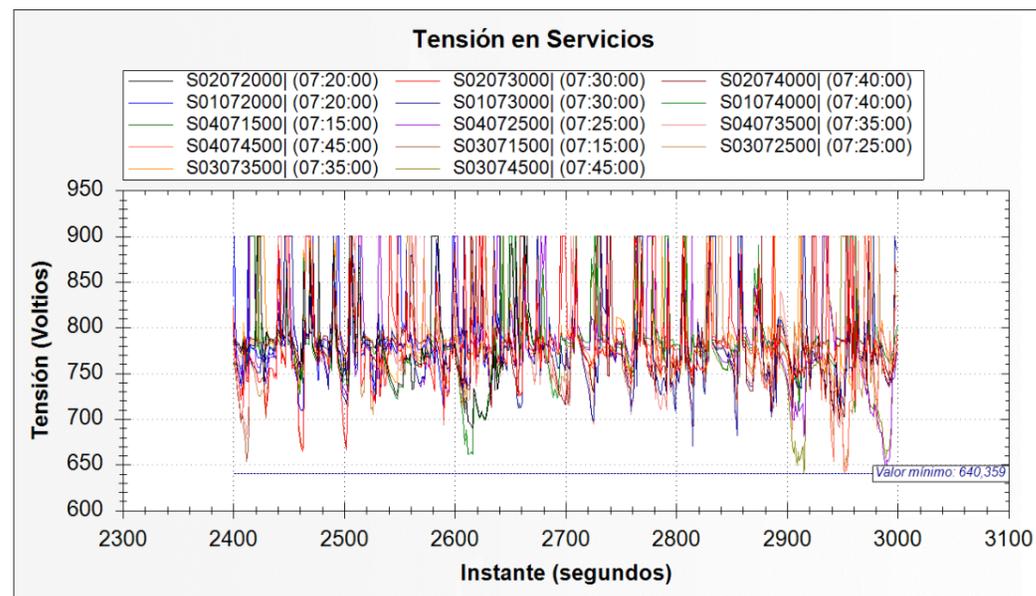


Ilustración 37. Caída de tensión escenario 4

12.5. CONCLUSIONES

A través de las simulaciones realizadas se comprueba que con la configuración mostrada se garantiza en todo momento el correcto funcionamiento del servicio con las frecuencias descritas aun en el caso de fallo de una subestación. Se muestra a continuación una tabla resumen para el funcionamiento normal del servicio con todas las subestaciones activas y posteriormente el valor mínimo de tensión registrado durante las simulaciones para los escenarios degradados planteados.

Tabla 14. Resumen potencias con unidades simples

	POTENCIAS DE TRACCIÓN [kW]		CAIDA DE TENSIÓN DE SERVICIOS [Vcc]
	Pico Máxima	Media Cuadrática	
S/E 1	1655,59	579,98	706,89
S/E 3	1308,52	506,41	
S/E 4	1048,81	332,29	
S/E 5	622,06	274,41	
S/E 6	779,29	168,66	

Tabla 15. Resumen caídas de tensión para unidades simples

Situación	Tensión mínima [Vcc]
Escenario 1	504,7
Escenario 2	680,6
Escenario 3	677,2
Escenario 4	706,7

En el caso de que fuese necesaria la ampliación a unidades con composición doble sería necesaria una nueva subestación adicional (S/E 2) para poder seguir prestando el servicio con las garantías exigidas manteniendo las frecuencias de servicios. Se muestra la tabla resumen para el caso de servicio normal con todas las subestaciones activas.

Tabla 16. Resumen potencias con unidades dobles

	POTENCIAS DE TRACCIÓN [kW]		CAIDA DE TENSIÓN DE SERVICIOS [Vcc]
	Pico Máxima	Media Cuadrática	
S/E 1	2406,50	866,32	640,28
S/E 2	1868,36	661,95	
S/E 3	2219,95	821,81	
S/E 4	2277,51	665,06	
S/E 5	1273,02	543,86	
S/E 6	1603,69	339,81	

Tabla 17. Resumen caídas de tensión para unidades dobles

Situación	Tensión mínima [Vcc]
Escenario 1	499,5
Escenario 2	524,5
Escenario 3	613,8
Escenario 4	640,4

12.6. DATOS GEOMÉTRICOS EMPLEADOS

12.6.1. Tronco común – Ramal Las Fuentes: Planta

Tabla 18. Geometría planta Tronco común - Las Fuentes

P.K.	Morfología	Radio [m]
0	Recta	0,000
580	Acuerdo	-554,103
601	Curva	-295,000
668	Acuerdo	-342,376
674	Curva	-403,400
875	Acuerdo	-481,709
891	Curva	-600,000
947	Acuerdo	-498,493
967	Curva	-400,000
993	Acuerdo	-400,000
1038	Acuerdo	-4322,680
1084	Curva	275,000
1210	Acuerdo	823,856
1224	Recta	0,000
1334	Acuerdo	246,841
1346	Curva	150,000
1395	Acuerdo	745,311
1426	Curva	-100,000
1495	Acuerdo	-179,098
1509	Recta	0,000
1560	Acuerdo	108,216
1569	Curva	60,000
1606	Acuerdo	115,666
1616	Recta	0,000
1668	Acuerdo	-813,359
1675	Curva	-400,000

P.K.	Morfología	Radio [m]
1702	Acuerdo	14897,165
1715	Curva	500,000
1735	Acuerdo	989,240
1742	Recta	0,000
2066	Acuerdo	-1581,373
2070	Curva	-804,000
2088	Acuerdo	-19756,008
2097	Curva	796,000
2111	Acuerdo	1727,878
2115	Recta	0,000
2200	Acuerdo	-49,586
2203	Curva	-29,000
2252	Acuerdo	624,408
2263	Curva	81,000
2315	Acuerdo	172,761
2321	Recta	0,000
2453	Acuerdo	958,382
2463	Curva	500,000
2495	Acuerdo	1001,275
2505	Recta	0,000
2625	Acuerdo	59,082
2632	Curva	30,000
2663	Acuerdo	57,706
2671	Recta	0,000
3319	Acuerdo	-170,846
3331	Curva	-80,000
3359	Acuerdo	-142,939
3372	Recta	0,000
3507	Acuerdo	219,764
3520	Curva	120,000
3623	Acuerdo	206,571



P.K.	Morfología	Radio [m]
3639	Curva	-1000,000
3732	Acuerdo	-501,139
3737	Curva	-330,000
3785	Acuerdo	-594,025
3793	Recta	0,000
3842	Acuerdo	-653,553
3849	Curva	-330,000
3898	Acuerdo	-660,935
3905	Recta	0,000
4021	Acuerdo	99,054
4030	Curva	50,000
4058	Acuerdo	93,436
4068	Recta	0,000
4266	Acuerdo	-281,095
4281	Curva	-150,000
4320	Acuerdo	-268,948
4338	Recta	0,000
4607	Acuerdo	312,633
4623	Curva	150,000
4680	Acuerdo	274,122
4697	Recta	0,000
4741	Acuerdo	-933,685
4776	Acuerdo	-2848,468
4794	Curva	500,000
4817	Acuerdo	1017,627
4825	Recta	0,000
4953	Acuerdo	-80,347
4961	Curva	-44,000
5024	Acuerdo	-81,825
5034	Recta	0,000
5204	Acuerdo	153,309

P.K.	Morfología	Radio [m]
5215	Curva	80,000
5249	Acuerdo	119,065
5256	Curva	216,000
5333	Acuerdo	369,526
5349	Curva	1200,000
5379	Acuerdo	707,098
5386	Curva	496,000
5492	Acuerdo	-519,109
5511	Curva	-70,000
5576	Acuerdo	-140,887
5587	Recta	0,000
5686	Acuerdo	-138,991
5697	Curva	-70,000
5739	Acuerdo	-142,048
5750	Curva	700,000
5892	Acuerdo	97,484
5899	Curva	50,000
5944	Acuerdo	35,800
5946	Curva	30,000
5977	Acuerdo	64,044
5981	Recta	0,000
6077	Acuerdo	-92,738
6081	Curva	-50,000
6105	Acuerdo	-116,433
6109	Recta	0,000
6149	Acuerdo	-1509,543
6156	Curva	-700,000
6172	Acuerdo	-3054,138
6187	Curva	700,000
6202	Recta	0,000
6289	Acuerdo	268,570

P.K.	Morfología	Radio [m]
6299	Curva	126,000
6328	Acuerdo	256,983
6338	Recta	0,000
6403	Acuerdo	-71,018
6411	Curva	-39,000
6431	Acuerdo	-77,509
6440	Recta	0,000
6600	Acuerdo	-585,526
6606	Curva	-304,000
6631	Acuerdo	-530,061
6638	Recta	0,000
6663	Acuerdo	479,930
6671	Curva	250,000
6689	Acuerdo	512,335
6697	Recta	0,000
7562	Acuerdo	94,141
7571	Curva	45,000
7632	Acuerdo	81,560
7642	Recta	0,000

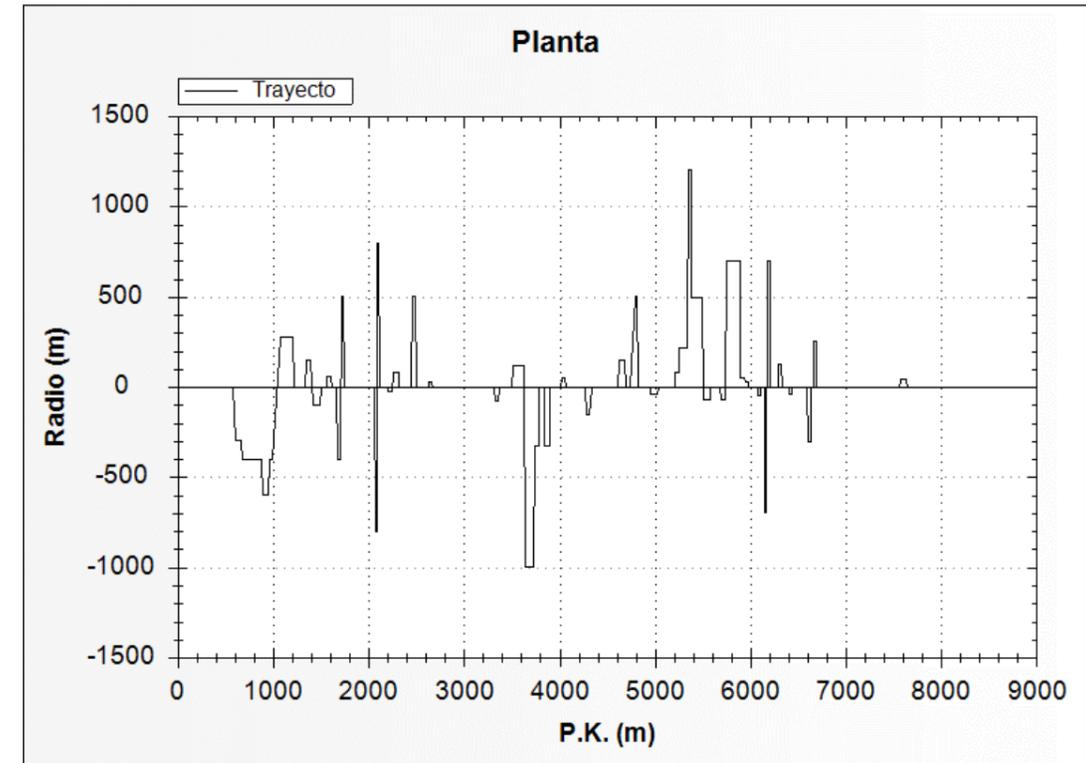


Ilustración 39. Planta Tronco común - Las Fuentes

12.6.2. Ramal Las Fuentes – Tronco común: Planta

Tabla 19. Geometría planta Las Fuentes - Tronco común

P.K.	Morfología	Radio [m]
0	Recta	0,000
120	Acuerdo	1125,710
128	Curva	600,000
152	Acuerdo	1166,750
160	Acuerdo	-1235,180
175	Curva	-600,000
200	Acuerdo	-1212,570
208	Recta	0,000
221	Acuerdo	143,490
228	Curva	70,000
244	Acuerdo	138,940
251	Acuerdo	-137,980
264	Curva	-70,000
280	Acuerdo	-141,140
287	Recta	0,000
310	Acuerdo	78,160
317	Curva	35,000
365	Acuerdo	73,840
373	Recta	0,000
567	Curva	10000,000
572	Recta	0,000
983	Acuerdo	137,490
990	Curva	80,000
1008	Acuerdo	191,630
1015	Recta	0,000
1110	Acuerdo	378,830
1118	Curva	200,000
1136	Acuerdo	450,350

P.K.	Morfología	Radio [m]
1145	Acuerdo	-415,350
1159	Curva	-200,000
1239	Acuerdo	-451,000
1248	Acuerdo	522,900
1262	Curva	254,000
1278	Acuerdo	476,930
1286	Recta	0,000
1311	Acuerdo	-537,140
1318	Curva	-300,000
1342	Acuerdo	-602,670
1349	Recta	0,000
1510	Acuerdo	-59,550
1519	Curva	-35,000
1536	Acuerdo	-64,810
1543	Recta	0,000
1611	Acuerdo	256,980
1621	Curva	126,000
1650	Acuerdo	268,570
1660	Curva	-5900,000
1747	Curva	700,000
1762	Acuerdo	-3054,140
1777	Curva	-700,000
1793	Acuerdo	-1509,540
1800	Recta	0,000
1840	Acuerdo	-116,430
1844	Curva	-50,000
1868	Acuerdo	-92,740
1872	Recta	0,000
1968	Acuerdo	64,040
1972	Curva	30,000
2003	Acuerdo	35,800



P.K.	Morfología	Radio [m]
2005	Curva	50,000
2050	Acuerdo	97,480
2057	Curva	700,000
2199	Acuerdo	-142,050
2210	Curva	-70,000
2252	Acuerdo	-138,990
2263	Recta	0,000
2362	Acuerdo	-140,890
2373	Curva	-70,000
2438	Acuerdo	-519,110
2457	Curva	496,000
2563	Acuerdo	707,100
2570	Curva	1200,000
2600	Acuerdo	369,530
2616	Curva	216,000
2693	Acuerdo	119,060
2700	Curva	80,000
2734	Acuerdo	153,310
2745	Recta	0,000
2915	Acuerdo	-81,830
2925	Curva	-44,000
2988	Acuerdo	-80,350
2996	Recta	0,000
3124	Acuerdo	1017,630
3132	Curva	500,000
3155	Acuerdo	-2848,470
3173	Acuerdo	-933,680
3208	Recta	0,000
3252	Acuerdo	274,120
3269	Curva	150,000
3326	Acuerdo	312,630

P.K.	Morfología	Radio [m]
3342	Recta	0,000
3611	Acuerdo	-268,950
3629	Curva	-150,000
3668	Acuerdo	-281,100
3683	Recta	0,000
3881	Acuerdo	93,440
3891	Curva	50,000
3919	Acuerdo	99,050
3928	Recta	0,000
4044	Acuerdo	-660,940
4051	Curva	-330,000
4100	Acuerdo	-653,550
4107	Recta	0,000
4156	Acuerdo	-594,020
4164	Curva	-330,000
4212	Acuerdo	-501,140
4217	Curva	-1000,000
4310	Acuerdo	206,570
4326	Curva	120,000
4429	Acuerdo	219,760
4442	Recta	0,000
4577	Acuerdo	-142,940
4590	Curva	-80,000
4618	Acuerdo	-170,850
4630	Recta	0,000
5278	Acuerdo	57,710
5286	Curva	30,000
5317	Acuerdo	59,080
5324	Recta	0,000
5444	Acuerdo	1001,280
5454	Curva	500,000

P.K.	Morfología	Radio [m]
5486	Acuerdo	958,380
5496	Recta	0,000
5628	Acuerdo	172,760
5634	Curva	81,000
5686	Acuerdo	624,410
5697	Curva	-29,000
5746	Acuerdo	-49,590
5749	Recta	0,000
5834	Acuerdo	1727,880
5838	Curva	796,000
5852	Acuerdo	-19756,010
5861	Curva	-804,000
5879	Acuerdo	-1581,370
5883	Recta	0,000
6207	Acuerdo	989,240
6214	Curva	500,000
6234	Acuerdo	14897,160
6247	Curva	-400,000
6274	Acuerdo	-813,360
6281	Recta	0,000
6333	Acuerdo	115,670
6343	Curva	60,000
6380	Acuerdo	108,220
6389	Recta	0,000
6440	Acuerdo	-179,100
6454	Curva	-100,000
6523	Acuerdo	745,310
6554	Curva	150,000
6603	Acuerdo	246,840
6615	Recta	0,000
6725	Acuerdo	823,860

P.K.	Morfología	Radio [m]
6739	Curva	275,000
6865	Acuerdo	-4322,680
6911	Acuerdo	-400,000
6956	Curva	-400,000
6982	Acuerdo	-498,490
7002	Curva	-600,000
7058	Acuerdo	-481,710
7074	Curva	-403,400
7275	Acuerdo	-342,380
7281	Curva	-295,000
7348	Acuerdo	-554,100
7369	Recta	0,000
7949	Recta	0,000

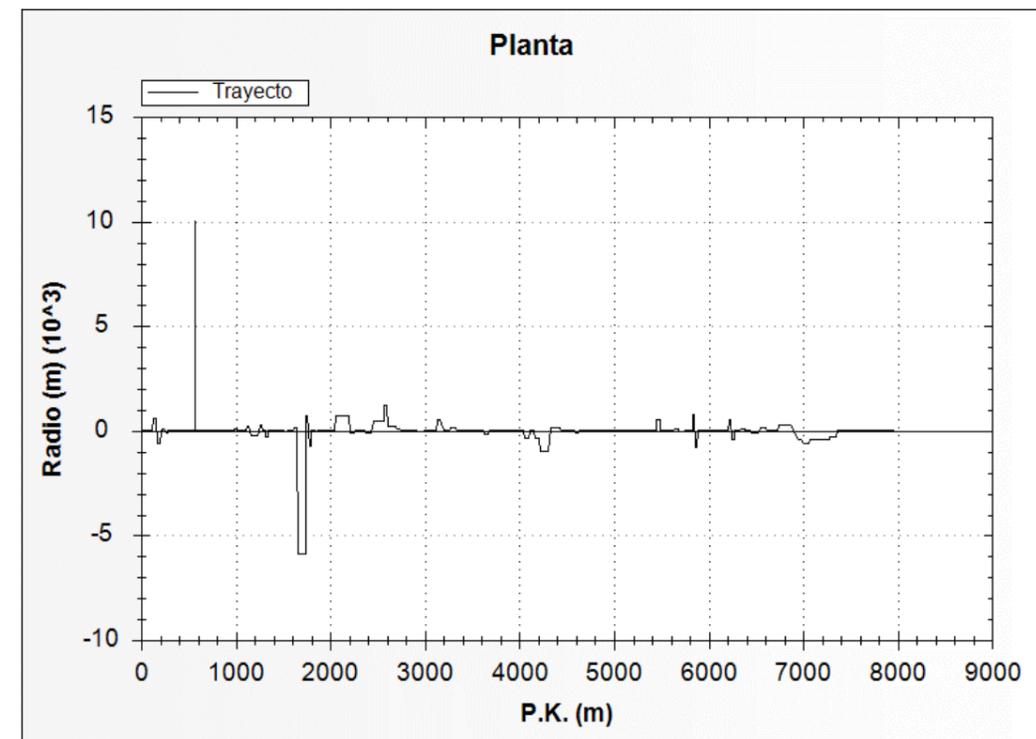


Ilustración 40. Planta Las Fuentes (vuelta) - Tronco común

12.6.3. Tronco común – Ramal Las Fuentes: Alzado

Tabla 20. Geometría alzado Tronco común - Las Fuentes

P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
0	238,938	-0,13
370	238,467	-1,07
424	237,891	-0,30
425	237,888	-2,00
426	237,868	-2,90
480	236,3	-3,80
539	234,058	-2,95
571	233,114	-2,20
625	231,926	-2,20
626	231,904	-1,53
716	230,528	-0,90
1066	227,378	-1,92
1199	224,828	-2,90
1307	221,696	-2,90
1308	221,667	-2,43
1369	220,186	-2,00
1535	216,866	-2,00
1536	216,846	-1,28
1605	215,964	-0,60
1702	215,382	-0,50
1703	215,377	-0,02
1722	215,374	0,45
1799	215,72	0,50
1800	215,725	0,33
1852	215,898	0,23
2202	216,703	-0,46
2256	216,457	-1,11
2536	213,352	-3,90

P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
2588	211,323	-6,50
2610	209,894	-2,22
2668	208,607	1,85
2781	210,698	1,80
2782	210,716	1,32
2811	211,098	0,85
3021	212,883	0,80
3022	212,891	-0,33
3140	212,502	-1,48
3328	209,72	-1,76
3356	209,228	-2,00
3399	208,368	-1,90
3400	208,349	0,23
3446	208,456	2,30
3477	209,169	1,48
3512	209,688	0,74
3527	209,799	-1,03
3574	209,316	-2,65
3585	209,024	-1,01
3635	208,519	0,55
3724	209,008	-0,17
3768	208,934	-0,85
3818	208,51	-0,25
3862	208,4	0,30
3924	208,586	0,69
4001	209,121	1,07
4124	210,442	0,98
4158	210,776	0,90
4267	211,757	-0,05
4323	211,727	-0,95
4374	211,243	-0,36



Co-financed by the Connecting Europe
Facility of the European Union

P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
4488	210,83	0,20
4527	210,908	-0,08
4593	210,854	-0,35
4656	210,634	-0,05
4686	210,62	0,25
4776	210,845	-0,06
4821	210,817	-0,35
5006	210,17	-0,76
5069	209,689	-1,15
5153	208,723	-1,89
5239	207,097	-2,60
5249	206,837	-2,24
5277	206,21	-1,93
5381	204,205	-1,50
5421	203,606	-1,09
5433	203,475	-0,18
5531	203,294	0,70
5549	203,42	0,60
5550	203,426	-0,33
5587	203,303	-1,25
5670	202,266	-0,72
5689	202,13	-0,25
5888	201,634	1,01
5916	201,916	2,10
5942	202,462	1,18
5997	203,112	0,28
6112	203,434	0,49
6175	203,745	0,70
6405	205,355	0,20
6434	205,412	-0,28
6495	205,241	-0,97

P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
6521	204,988	-1,60
6542	204,652	-1,16
6584	204,163	-0,75
6657	203,616	-0,80
6658	203,608	-0,94
6674	203,458	-1,33
6697	203,152	-1,55
6996	198,517	-1,89
7015	198,158	-2,20
7125	195,739	-1,93
7138	195,488	-1,52
7150	195,306	-1,04
7167	195,13	-0,60
7176	195,076	-0,45
7280	194,608	-0,08
7297	194,595	0,25
7501	195,105	0,16
7515	195,127	-0,04
7533	195,12	-0,21
7541	195,103	-0,25
7607	194,939	-0,15
7622	194,917	0,05
7637	194,924	0,22
7650	194,953	0,30
7735	195,208	0,15
7748	195,227	-0,09
7759	195,217	-0,20
7863	195,01	0,00

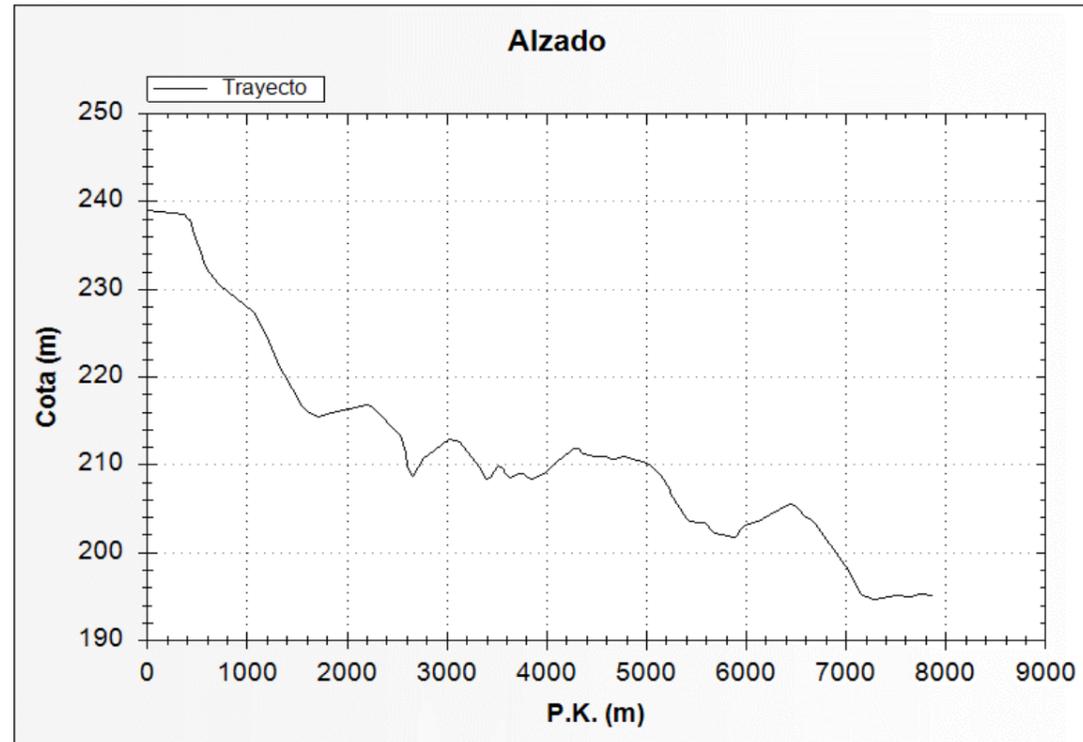


Ilustración 41. Alzado Tronco común - Las Fuentes

12.6.4. Ramal Las Fuentes – Tronco común: Alzado

Tabla 21. Geometría alzado Las Fuentes - Tronco común

P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
0	238,938	-0,13
370	238,467	-0,14
424	237,891	-1,96
425	237,888	-1,97
426	237,868	-2,00
480	236,3	-3,80
539	234,058	-3,75
571	233,114	-2,20
625	231,926	-2,19
626	231,904	-2,17
716	230,528	-0,90
1066	227,378	-0,93
1199	224,828	-2,90
1307	221,696	-2,88
1308	221,667	-2,86
1369	220,186	-2,00
1535	216,866	-1,99
1536	216,846	-1,97
1605	215,964	-0,60
1702	215,382	-0,54
1703	215,377	-0,49
1722	215,374	0,45
1799	215,72	0,44
1800	215,725	0,44
1852	215,898	0,23
2202	216,703	0,22
2256	216,457	-1,11
2536	213,352	-1,30



Co-financed by the Connecting Europe
Facility of the European Union

P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
2588	211,323	-6,50
2610	209,894	-6,36
2668	208,607	1,85
2781	210,698	1,83
2782	210,716	1,80
2811	211,098	0,85
3021	212,883	0,85
3022	212,891	0,83
3140	212,502	-1,48
3328	209,72	-1,50
3356	209,228	-2,00
3399	208,368	-1,95
3400	208,349	-1,86
3446	208,456	2,30
3477	209,169	2,24
3512	209,688	0,74
3527	209,799	0,65
3574	209,316	-2,66
3585	209,024	-2,61
3635	208,519	0,55
3724	209,008	0,52
3768	208,934	-0,85
3818	208,51	-0,81
3862	208,4	0,30
3924	208,586	0,31
4001	209,121	1,07
4124	210,442	1,07
4158	210,776	0,90
4267	211,757	0,87
4323	211,727	-0,95
4374	211,243	-0,93

P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
4488	210,83	0,20
4527	210,908	0,19
4593	210,854	-0,35
4656	210,634	-0,35
4686	210,62	0,25
4776	210,845	0,24
4821	210,817	-0,35
5006	210,17	-0,37
5069	209,689	-1,15
5153	208,723	-1,18
5239	207,097	-2,60
5249	206,837	-2,57
5277	206,21	-1,93
5381	204,205	-1,91
5421	203,606	-1,09
5433	203,475	-1,08
5531	203,294	0,70
5549	203,42	0,64
5550	203,426	0,59
5587	203,303	-1,25
5670	202,266	-1,19
5689	202,13	-0,25
5888	201,634	-0,12
5916	201,916	2,10
5942	202,462	2,10
5997	203,112	0,28
6112	203,434	0,29
6176	203,737	0,70
6177	203,744	0,70
6407	205,347	0,68
6420	205,407	0,25

P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
6436	205,404	-0,28
6495	205,239	-0,32
6509	205,145	-1,02
6521	204,987	-1,60
6542	204,651	-1,58
6562	204,376	-1,18
6576	204,23	-0,90
6584	204,165	-0,75
6666	203,55	-0,77
6678	203,443	-1,01
6688	203,332	-1,20
6929	200,44	-1,24
6943	200,234	-1,70
6956	199,984	-2,14
6976	199,49	-2,80
7057	197,223	-2,77
7074	196,799	-2,21
7086	196,559	-1,81
7102	196,313	-1,27
7127	196,099	-0,45
7271	195,451	-0,45
7292	195,384	-0,19
7310	195,371	0,04
7327	195,395	0,25
7359	195,475	0,23
7375	195,496	0,03
7392	195,483	-0,18
7406	195,445	-0,35
7611	194,728	-0,33
7629	194,689	-0,10
7648	194,692	0,14

P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
7662	194,723	0,30
7813	195,176	0,30
7829	195,208	0,10
7843	195,21	-0,08
7853	195,196	-0,20

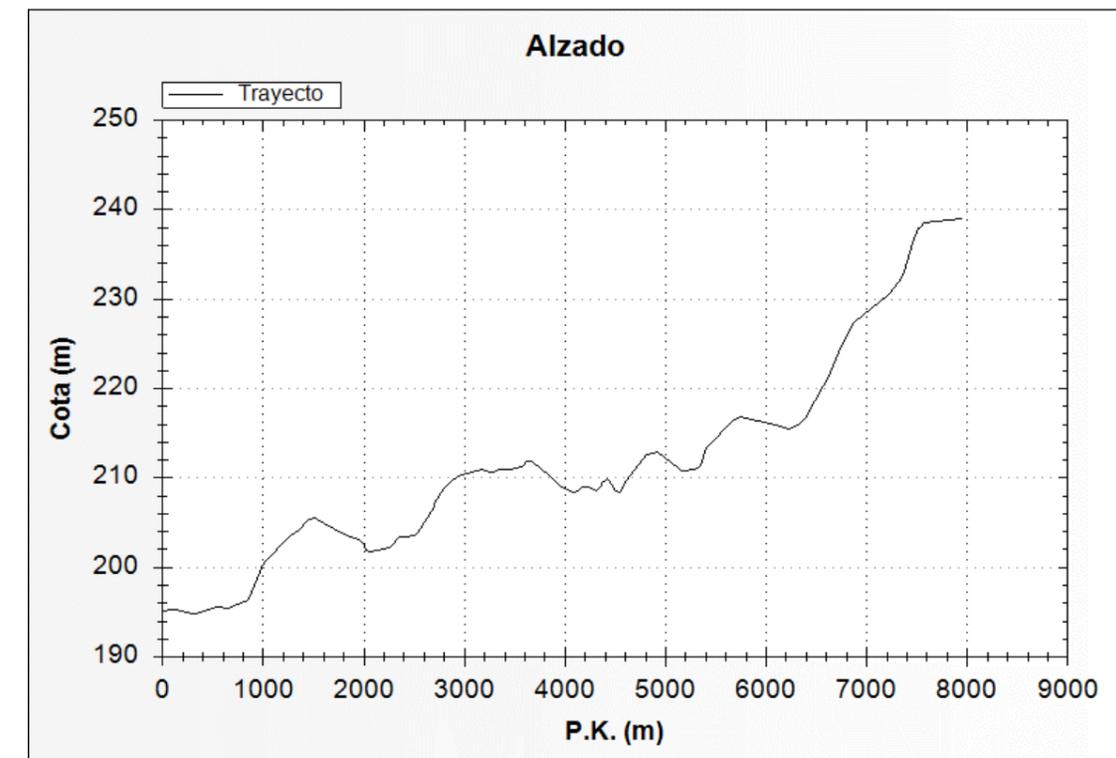


Ilustración 42. Alzado Las Fuentes - Tronco común

12.6.5. Tronco común – Ramal San José: Planta

Tabla 22. Geometría planta Tronco común - San José

P.K. [m]	Morfología	Radio [m]
0	Recta	0,000
580	Acuerdo	-554,103
601	Curva	-295,000
668	Acuerdo	-342,376
674	Curva	-403,400
875	Acuerdo	-481,709
891	Curva	-600,000
947	Acuerdo	-498,493
967	Curva	-400,000
993	Acuerdo	-400,000
1038	Acuerdo	-4322,680
1084	Curva	275,000
1210	Acuerdo	823,856
1224	Recta	0,000
1334	Acuerdo	246,841
1346	Curva	150,000
1395	Acuerdo	745,311
1426	Curva	-100,000
1495	Acuerdo	-179,098
1509	Recta	0,000
1560	Acuerdo	108,216
1569	Curva	60,000
1606	Acuerdo	115,666
1616	Recta	0,000
1668	Acuerdo	-813,359
1675	Curva	-400,000
1702	Acuerdo	14897,165
1715	Curva	500,000

P.K. [m]	Morfología	Radio [m]
1735	Acuerdo	989,240
1742	Recta	0,000
2066	Acuerdo	-1581,373
2070	Curva	-804,000
2088	Acuerdo	-19756,008
2097	Curva	796,000
2111	Acuerdo	1727,878
2115	Recta	0,000
2200	Acuerdo	-49,586
2203	Curva	-29,000
2252	Acuerdo	624,408
2263	Curva	81,000
2315	Acuerdo	172,761
2321	Recta	0,000
2453	Acuerdo	958,382
2463	Curva	500,000
2495	Acuerdo	1001,275
2505	Recta	0,000
2625	Acuerdo	59,082
2632	Curva	30,000
2663	Acuerdo	57,706
2671	Recta	0,000
3319	Acuerdo	-170,846
3331	Curva	-80,000
3359	Acuerdo	-142,939
3372	Recta	0,000
3507	Acuerdo	219,764
3520	Curva	120,000
3623	Acuerdo	206,571
3639	Curva	-1000,000
3732	Acuerdo	-501,139



P.K. [m]	Morfología	Radio [m]
3737	Curva	-330,000
3785	Acuerdo	-594,025
3793	Recta	0,000
3842	Acuerdo	-653,553
3849	Curva	-330,000
3898	Acuerdo	-660,935
3905	Recta	0,000
4021	Acuerdo	99,054
4030	Curva	50,000
4058	Acuerdo	93,436
4068	Recta	0,000
4266	Acuerdo	-281,095
4281	Curva	-150,000
4320	Acuerdo	-268,948
4338	Recta	0,000
4607	Acuerdo	312,633
4623	Curva	150,000
4680	Acuerdo	274,122
4697	Recta	0,000
4741	Acuerdo	-933,685
4776	Acuerdo	-2848,468
4794	Curva	500,000
4817	Acuerdo	1017,627
4825	Recta	0,000
4953	Acuerdo	-80,347
4961	Curva	-44,000
5024	Acuerdo	-81,825
5034	Recta	0,000
5204	Acuerdo	153,309
5215	Curva	80,000
5249	Acuerdo	119,065

P.K. [m]	Morfología	Radio [m]
5256	Curva	216,000
5333	Acuerdo	369,526
5349	Curva	1200,000
5379	Acuerdo	707,098
5386	Curva	496,000
5492	Acuerdo	-519,109
5511	Curva	-70,000
5576	Acuerdo	-140,887
5587	Recta	0,000
5686	Acuerdo	-138,991
5697	Curva	-70,000
5739	Acuerdo	-142,048
5750	Curva	700,000
5892	Acuerdo	97,484
5899	Curva	50,000
5944	Acuerdo	35,800
5946	Curva	30,000
5977	Acuerdo	64,044
5981	Recta	0,000
6077	Acuerdo	-92,738
6081	Curva	-50,000
6105	Acuerdo	-116,433
6109	Recta	0,000
6149	Acuerdo	-1509,543
6156	Curva	-700,000
6172	Acuerdo	-3054,138
6187	Curva	700,000
6202	Curva	-5900,000
6289	Acuerdo	268,570
6299	Curva	126,000
6328	Acuerdo	256,983

P.K. [m]	Morfología	Radio [m]
6338	Recta	0,000
6395	Recta	0,000
6397	Curva	46,000
6407	Curva	76,500
6455	Recta	0,000
6710	Curva	4050,000
6801	Recta	0,000
7069	Acuerdo	212,773
7081	Curva	120,000
7116	Acuerdo	182,956
7126	Curva	400,000
7183	Acuerdo	740,154
7194	Recta	0,000
7309	Acuerdo	-3979,785
7315	Curva	-2003,500
7331	Acuerdo	-3720,085
7338	Recta	0,000
7467	Curva	4996,500
7520	Recta	0,000
7672	Curva	9996,500
7702	Recta	0,000
7723	Curva	4996,500
7758	Curva	36996,500
7929	Curva	-1203,500
7950	Curva	1196,500
8015	Acuerdo	177,889
8023	Curva	90,000
8043	Acuerdo	179,756
8051	Recta	0,000
8100	Acuerdo	-141,786
8111	Curva	-67,500

P.K. [m]	Morfología	Radio [m]
8146	Acuerdo	-135,604
8171	Curva	31,200
8205	Acuerdo	59,033
8213	Recta	0,000
8252	Curva	496,500

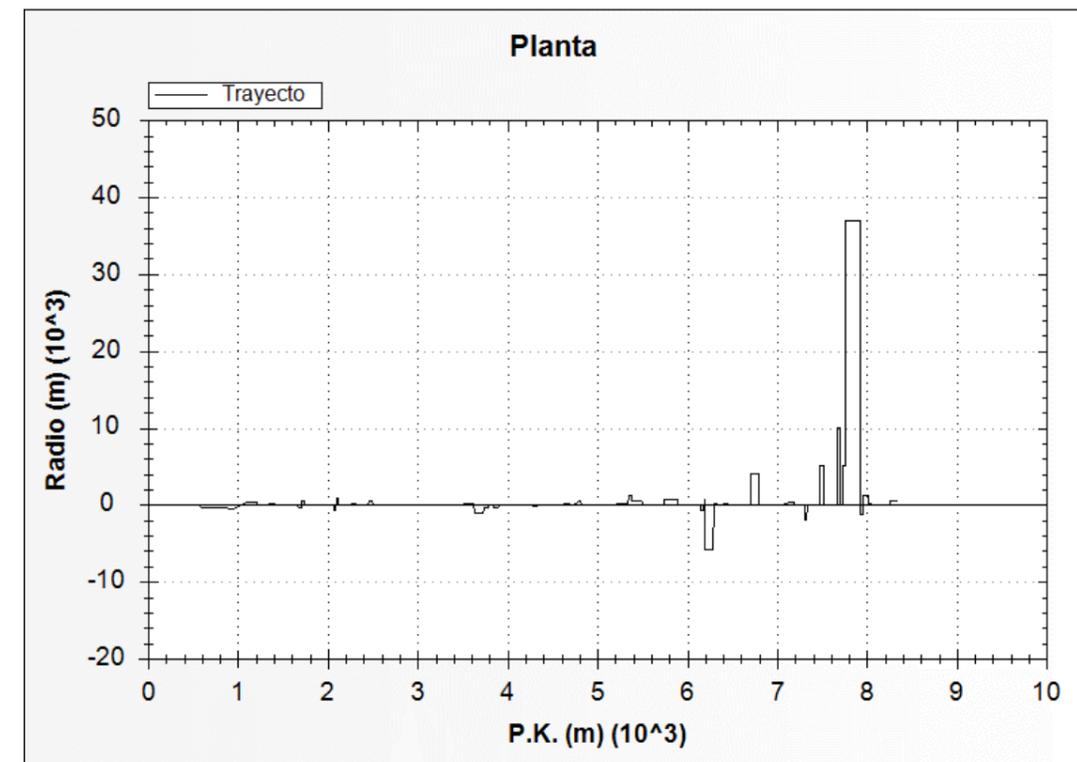


Ilustración 43. Planta tronco común - San José

12.6.6. Ramal San José – Tronco común: Planta

Tabla 23. Geometría San José - Tronco común

P.K. (m)	Morfología	Radio (m)
0	Curva	496,500
79	Recta	0,000
118	Acuerdo	59,030
126	Curva	31,200
160	Acuerdo	-135,600
185	Curva	-67,500
220	Acuerdo	-141,790
231	Recta	0,000
280	Acuerdo	179,760
288	Curva	90,000
308	Acuerdo	177,890
316	Curva	1196,500
381	Curva	-1203,500
402	Curva	36996,500
573	Curva	4996,500
608	Recta	0,000
629	Curva	9996,500
659	Recta	0,000
811	Curva	4996,500
864	Recta	0,000
993	Acuerdo	-3720,080
1000	Curva	-2003,500
1016	Acuerdo	-3979,780
1022	Recta	0,000
1137	Acuerdo	740,150
1148	Curva	400,000
1205	Acuerdo	182,960
1215	Curva	120,000

P.K. (m)	Morfología	Radio (m)
1250	Acuerdo	212,770
1262	Recta	0,000
1530	Curva	4050,000
1621	Recta	0,000
1876	Curva	76,500
1924	Curva	46,000
1934	Recta	0,000
1936	Recta	0,000
1993	Acuerdo	256,980
2003	Curva	126,000
2032	Acuerdo	268,570
2042	Curva	-5900,000
2129	Curva	700,000
2144	Acuerdo	-3054,140
2159	Curva	-700,000
2175	Acuerdo	-1509,540
2182	Recta	0,000
2222	Acuerdo	-116,430
2226	Curva	-50,000
2250	Acuerdo	-92,740
2254	Recta	0,000
2350	Acuerdo	64,040
2354	Curva	30,000
2385	Acuerdo	35,800
2387	Curva	50,000
2432	Acuerdo	97,480
2439	Curva	700,000
2581	Acuerdo	-142,050
2592	Curva	-70,000
2634	Acuerdo	-138,990
2645	Recta	0,000



Co-financed by the Connecting Europe
Facility of the European Union

P.K. (m)	Morfología	Radio (m)
2744	Acuerdo	-140,890
2755	Curva	-70,000
2820	Acuerdo	-519,110
2839	Curva	496,000
2945	Acuerdo	707,100
2952	Curva	1200,000
2982	Acuerdo	369,530
2998	Curva	216,000
3075	Acuerdo	119,060
3082	Curva	80,000
3116	Acuerdo	153,310
3127	Recta	0,000
3297	Acuerdo	-81,830
3307	Curva	-44,000
3370	Acuerdo	-80,350
3378	Recta	0,000
3506	Acuerdo	1017,630
3514	Curva	500,000
3537	Acuerdo	-2848,470
3555	Acuerdo	-933,680
3590	Recta	0,000
3634	Acuerdo	274,120
3651	Curva	150,000
3708	Acuerdo	312,630
3724	Recta	0,000
3993	Acuerdo	-268,950
4011	Curva	-150,000
4050	Acuerdo	-281,100
4065	Recta	0,000
4263	Acuerdo	93,440
4273	Curva	50,000

P.K. (m)	Morfología	Radio (m)
4301	Acuerdo	99,050
4310	Recta	0,000
4426	Acuerdo	-660,940
4433	Curva	-330,000
4482	Acuerdo	-653,550
4489	Recta	0,000
4538	Acuerdo	-594,020
4546	Curva	-330,000
4594	Acuerdo	-501,140
4599	Curva	-1000,000
4692	Acuerdo	206,570
4708	Curva	120,000
4811	Acuerdo	219,760
4824	Recta	0,000
4959	Acuerdo	-142,940
4972	Curva	-80,000
5000	Acuerdo	-170,850
5012	Recta	0,000
5660	Acuerdo	57,710
5668	Curva	30,000
5699	Acuerdo	59,080
5706	Recta	0,000
5826	Acuerdo	1001,280
5836	Curva	500,000
5868	Acuerdo	958,380
5878	Recta	0,000
6010	Acuerdo	172,760
6016	Curva	81,000
6068	Acuerdo	624,410
6079	Curva	-29,000
6128	Acuerdo	-49,590

P.K. (m)	Morfología	Radio (m)
6131	Recta	0,000
6216	Acuerdo	1727,880
6220	Curva	796,000
6234	Acuerdo	-19756,010
6243	Curva	-804,000
6261	Acuerdo	-1581,370
6265	Recta	0,000
6589	Acuerdo	989,240
6596	Curva	500,000
6616	Acuerdo	14897,160
6629	Curva	-400,000
6656	Acuerdo	-813,360
6663	Recta	0,000
6715	Acuerdo	115,670
6725	Curva	60,000
6762	Acuerdo	108,220
6771	Recta	0,000
6822	Acuerdo	-179,100
6836	Curva	-100,000
6905	Acuerdo	745,310
6936	Curva	150,000
6985	Acuerdo	246,840
6997	Recta	0,000
7107	Acuerdo	823,860
7121	Curva	275,000
7247	Acuerdo	-4322,680
7293	Acuerdo	-400,000
7338	Curva	-400,000
7364	Acuerdo	-498,490
7384	Curva	-600,000
7440	Acuerdo	-481,710

P.K. (m)	Morfología	Radio (m)
7456	Curva	-403,400
7657	Acuerdo	-342,380
7663	Curva	-295,000
7730	Acuerdo	-554,100
7751	Recta	0,000
8331	Curva	496,500

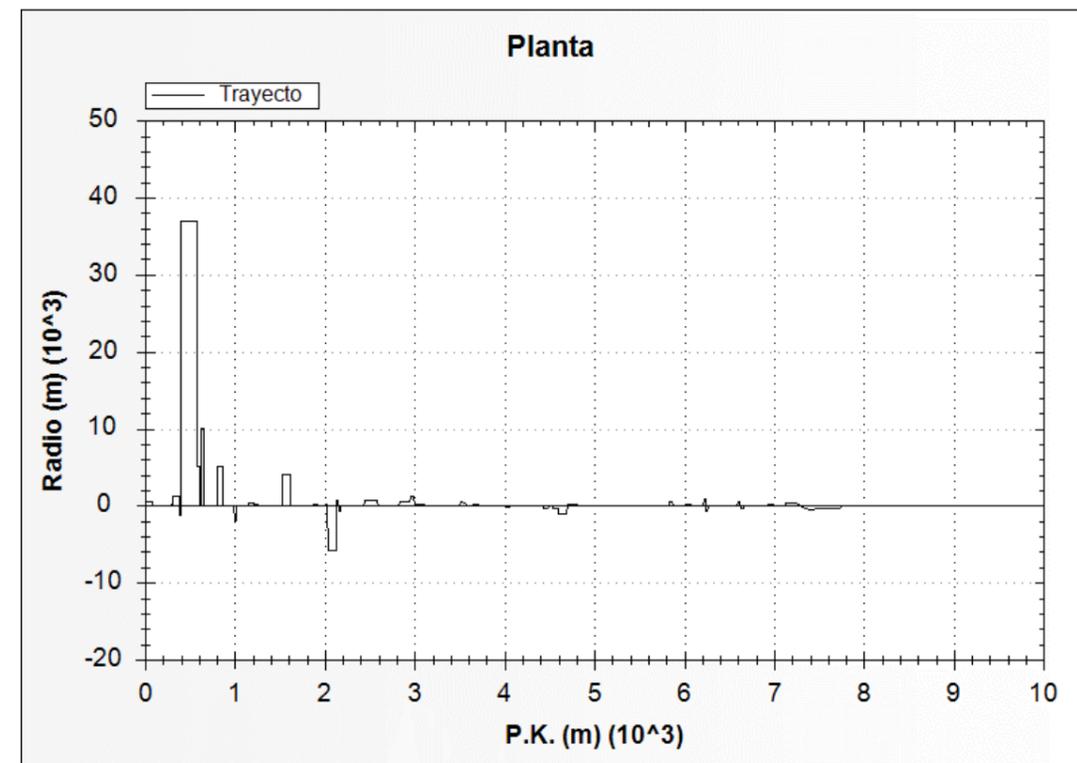


Ilustración 44. Planta San José - Tronco común

12.6.7. Tronco común – Ramal San José: Alzado

Tabla 24. Geometría alzado Tronco común - San José

P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
0	238,938	-0,13
370	238,467	-0,14
424	237,891	-1,96
425	237,888	-1,97
426	237,868	-2,00
480	236,3	-3,80
539	234,058	-3,75
571	233,114	-2,20
625	231,926	-2,19
626	231,904	-2,17
716	230,528	-0,90
1066	227,378	-0,93
1199	224,828	-2,90
1307	221,696	-2,88
1308	221,667	-2,86
1369	220,186	-2,00
1535	216,866	-1,99
1536	216,846	-1,97
1605	215,964	-0,60
1702	215,382	-0,54
1703	215,377	-0,49
1722	215,374	0,45
1799	215,72	0,44
1800	215,725	0,44
1852	215,898	0,23
2202	216,703	0,22
2256	216,457	-1,11
2536	213,352	-1,30

P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
2588	211,323	-6,50
2610	209,894	-6,36
2668	208,607	1,85
2781	210,698	1,83
2782	210,716	1,80
2811	211,098	0,85
3021	212,883	0,85
3022	212,891	0,83
3140	212,502	-1,48
3328	209,72	-1,50
3356	209,228	-2,00
3399	208,368	-1,95
3400	208,349	-1,86
3446	208,456	2,30
3477	209,169	2,24
3512	209,688	0,74
3527	209,799	0,65
3574	209,316	-2,66
3585	209,024	-2,61
3635	208,519	0,55
3724	209,008	0,52
3768	208,934	-0,85
3818	208,51	-0,81
3862	208,4	0,30
3924	208,586	0,31
4001	209,121	1,07
4124	210,442	1,07
4158	210,776	0,90
4267	211,757	0,87
4323	211,727	-0,95
4374	211,243	-0,93



Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union



P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
4488	210,83	0,20
4527	210,908	0,19
4593	210,854	-0,35
4656	210,634	-0,35
4686	210,62	0,25
4776	210,845	0,24
4821	210,817	-0,35
5006	210,17	-0,37
5069	209,689	-1,15
5153	208,723	-1,18
5239	207,097	-2,60
5249	206,837	-2,57
5277	206,21	-1,93
5381	204,205	-1,91
5421	203,606	-1,09
5433	203,475	-1,08
5531	203,294	0,70
5549	203,42	0,64
5550	203,426	0,59
5587	203,303	-1,25
5670	202,266	-1,19
5689	202,13	-0,25
5888	201,634	-0,12
5916	201,916	2,10
5942	202,462	2,10
5997	203,112	0,28
6112	203,434	0,29
6175	203,745	0,70
6411	205,39	0,65
6412	205,397	0,60
6332	204,844	0,70

P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
6423	205,432	0,05
6434	205,408	-0,50
6486	205,148	-0,50
6504	205,078	-0,27
6523	205,049	-0,04
6540	205,061	0,18
6557	205,109	0,39
6569	205,164	0,54
6582	205,245	0,70
6643	205,672	0,70
6656	205,753	0,55
6669	205,816	0,41
6679	205,851	0,30
6763	206,103	0,30
6781	206,153	0,25
6799	206,193	0,20
6818	206,225	0,14
6835	206,245	0,09
6853	206,257	0,04
6871	206,26	-0,01
6889	206,254	-0,06
6912	206,232	-0,13
6949	206,166	-0,23
6962	206,133	-0,27
6973	206,102	-0,30
7016	205,973	-0,28
7034	205,964	0,17
7054	206,048	0,65
7094	206,308	0,60
7103	206,342	0,15
7111	206,338	-0,25

P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
7188	206,145	-0,24
7205	206,141	0,19
7223	206,215	0,64
7242	206,381	1,11
7254	206,533	1,40
7325	207,527	1,43
7341	207,787	1,83
7357	208,111	2,20
7456	210,289	2,18
7475	210,642	1,55
7486	210,792	1,20
7569	211,788	1,21
7583	211,991	1,68
7599	212,302	2,20
7722	215,008	2,21
7735	215,316	2,53
7752	215,783	2,96
7772	216,425	3,46
7800	217,491	4,16
7827	218,705	4,83
7842	219,459	5,21
7861	220,493	5,68
7880	221,618	6,16
7898	222,767	6,61
7920	224,282	7,16
7934	225,308	7,50
8009	230,933	7,43
8032	232,51	6,28
8085	235,138	3,63
8103	235,711	2,73
8142	236,397	0,78

P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
8168	236,431	-0,50
8283	235,856	-0,49
8303	235,839	0,31
8316	235,913	0,83
8326	236,015	1,20

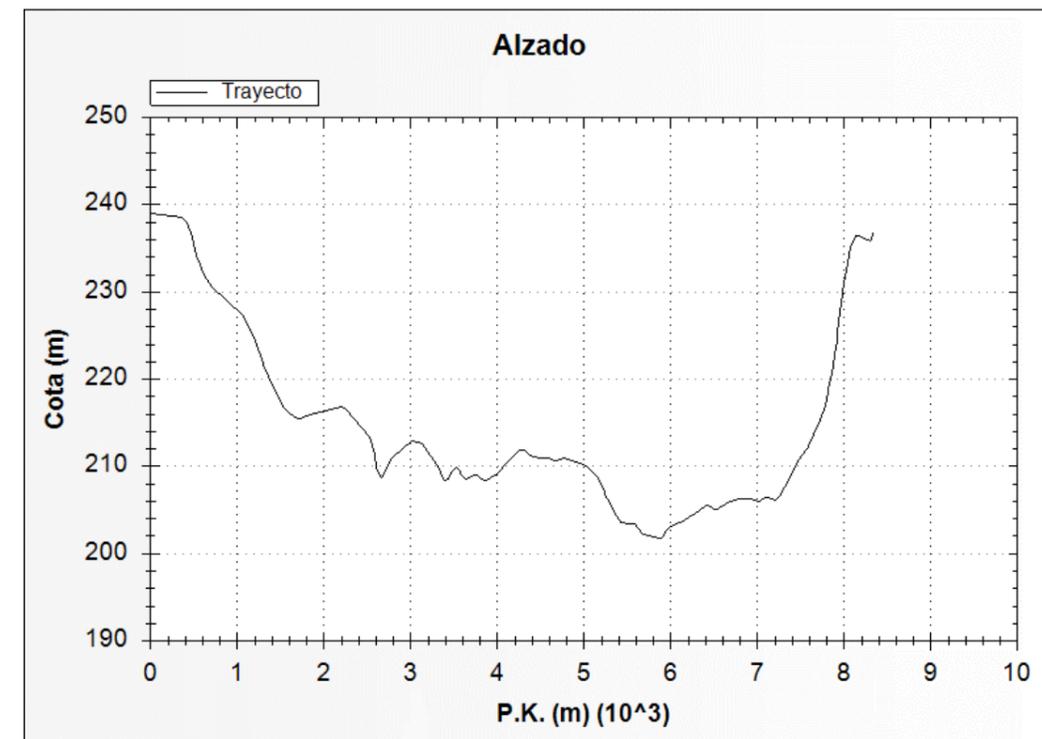


Ilustración 45. Alzado Tronco común - San José

12.6.8. Ramal San José – Tronco común: Alzado

Tabla 25. Geometría alzado San José - Tronco común

P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
0	236,75	-14,70
5	236,015	-1,02
15	235,913	-0,57
28	235,839	0,08
48	235,856	0,50
163	236,431	-0,13
189	236,397	-1,76
228	235,711	-3,18
246	235,138	-4,96
299	232,51	-6,86
322	230,933	-7,50
397	225,308	-7,33
411	224,282	-6,89
433	222,767	-6,38
451	221,618	-5,92
470	220,493	-5,44
489	219,459	-5,03
504	218,705	-4,50
531	217,491	-3,81
559	216,425	-3,21
579	215,783	-2,75
596	215,316	-2,37
609	215,008	-2,20
732	212,302	-1,94
748	211,991	-1,45
762	211,788	-1,20
845	210,792	-1,36
856	210,642	-1,86

P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
875	210,289	-2,20
974	208,111	-2,02
990	207,787	-1,63
1006	207,527	-1,40
1077	206,533	-1,27
1089	206,381	-0,87
1108	206,215	-0,41
1126	206,141	0,02
1143	206,145	0,25
1220	206,338	0,05
1228	206,342	-0,38
1237	206,308	-0,65
1277	206,048	-0,42
1297	205,964	0,05
1315	205,973	0,30
1358	206,102	0,28
1369	206,133	0,25
1382	206,166	0,18
1419	206,232	0,10
1442	206,254	0,03
1460	206,26	-0,02
1478	206,257	-0,07
1496	206,245	-0,12
1513	206,225	-0,17
1532	206,193	-0,22
1550	206,153	-0,28
1568	206,103	-0,30
1652	205,851	-0,35
1662	205,816	-0,48
1675	205,753	-0,62
1688	205,672	-0,70



Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union

P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
1749	205,245	-0,62
1762	205,164	-0,46
1774	205,109	-0,28
1791	205,061	-0,07
1808	205,049	0,15
1827	205,078	0,39
1845	205,148	0,50
1897	205,408	0,22
1908	205,432	-0,65
1919	205,397	-0,70
1920	205,39	-0,70
1999	204,844	0,00
2156	203,745	-0,49
2219	203,434	-0,28
2334	203,112	-1,18
2389	202,462	-2,10
2415	201,916	-1,01
2443	201,634	0,25
2642	202,13	0,72
2661	202,266	1,25
2744	203,303	0,33
2781	203,426	-0,60
2782	203,42	-0,70
2800	203,294	0,18
2898	203,475	1,09
2910	203,606	1,50
2950	204,205	1,93
3054	206,21	2,24
3082	206,837	2,60
3092	207,097	1,89
3178	208,723	1,15

P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
3262	209,689	0,76
3325	210,17	0,35
3510	210,817	0,06
3555	210,845	-0,25
3645	210,62	0,05
3675	210,634	0,35
3738	210,854	0,08
3804	210,908	-0,20
3843	210,83	0,36
3957	211,243	0,95
4008	211,727	0,05
4064	211,757	-0,90
4173	210,776	-0,98
4207	210,442	-1,07
4330	209,121	-0,69
4407	208,586	-0,30
4469	208,4	0,25
4513	208,51	0,85
4563	208,934	0,17
4607	209,008	-0,55
4696	208,519	1,01
4746	209,024	2,65
4757	209,316	1,03
4804	209,799	-0,74
4819	209,688	-1,48
4854	209,169	-2,30
4885	208,456	-0,23
4931	208,349	1,90
4932	208,368	2,00
4975	209,228	1,76
5003	209,72	1,48

P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
5191	212,502	0,33
5309	212,891	-0,80
5310	212,883	-0,85
5520	211,098	-1,32
5549	210,716	-1,80
5550	210,698	-1,85
5663	208,607	2,22
5721	209,894	6,50
5743	211,323	3,90
5795	213,352	1,11
6075	216,457	0,46
6129	216,703	-0,23
6479	215,898	-0,33
6531	215,725	-0,50
6532	215,72	-0,45
6609	215,374	0,02
6628	215,377	0,50
6629	215,382	0,60
6726	215,964	1,28
6795	216,846	2,00
6796	216,866	2,00
6962	220,186	2,43
7023	221,667	2,90
7024	221,696	2,90
7132	224,828	1,92
7265	227,378	0,90
7615	230,528	1,53
7705	231,904	2,20
7706	231,926	2,20
7760	233,114	2,95
7792	234,058	3,80

P.K. [m]	Cota [m]	Pendiente (%)
7851	236,3	2,90
7905	237,868	2,00
7906	237,888	0,30
7907	237,891	1,07
7961	238,467	0,13
8331	238,938	0,00

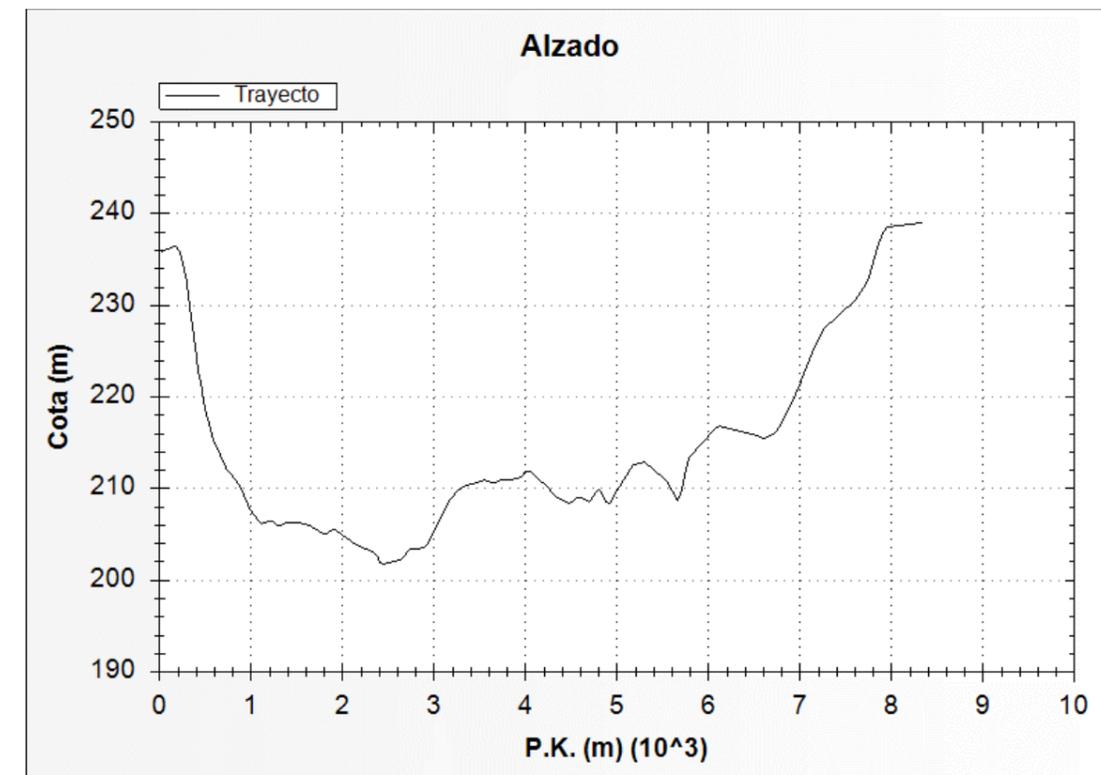


Ilustración 46. Alzado San José - Tronco común