



ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO-MEDITERRÁNEO

TRAMO BILBAO-SANTANDER

FASE II

ANEJO 16 ELECTRIFICACIÓN E INSTALACIONES DE SEGURIDAD Y COMUNICACIONES

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1	2.5.3. Aisladores.....	15
2. SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN	1	2.5.4. Atirantados	15
2.1. Objeto y alcance	1	2.5.5. Ménsulas	15
2.2. Metodología.....	2	2.5.6. Catenaria en viaducto	15
2.3. Planteamiento de la problemática	2	2.5.7. Equipamiento en estación	16
2.3.1. Introducción.....	2	2.5.8. Efectos en túneles	16
2.3.2. Datos e hipótesis de partida	3	2.5.9. Compensación de tensiones	17
2.4. Electrificación	5	2.5.10. Puntos fijos.....	17
2.4.1. Tecnología a implantar en la línea aérea de contacto	5	2.5.11. Seccionamientos.....	17
2.4.2. Sistema de electrificación monofásica a 25 kV, 50 Hz.....	6	2.5.12. Colas y tirantes de anclaje	18
2.4.3. Conceptos generales para las subestaciones de alimentación principales.....	7	2.5.13. Sistemas de retorno y puesta a tierra	18
2.4.4. Acometidas de energía.....	8	2.5.14. Zonas neutras	19
2.4.5. Tipo de catenaria	8	2.6. Propuesta de ubicación de las subestaciones.....	19
2.4.6. Dimensionado mecánico	9	2.6.1. Descripción de las estaciones transformadoras	19
2.4.7. Tensiones de los conductores compensadores	10	2.6.2. Criterios generales.....	19
2.4.8. Criterios geométricos	10	2.6.3. Justificación de la potencia adoptada	20
2.4.9. Vanos	11	2.6.4. Dimensionamiento sin respaldo desde la VSF	24
2.5. Equipo de vía general.....	11	2.6.5. Dimensionamiento con respaldo desde la VSF	25
2.5.1. Postes.....	11	2.6.6. Alternativas de ubicación de subestaciones	26
2.5.2. Macizos	13	3. INSTALACIONES DE SEGURIDAD Y COMUNICACIONES	28
		3.1. Introducción.....	28
		3.2. Instalaciones de seguridad	28

3.2.1. Enclavamientos y bloqueos 29

3.2.2. Telemando 30

3.2.3. Protección automática de tren (ATP)..... 30

3.2.4. Suministro de energía 33

3.3. TELECOMUNICACIONES 33

3.3.1. Infraestructura..... 33

3.3.2. Transmisión 33

3.3.3. Telefonía automática 34

3.3.4. Radiotelefonía tren-tierra 34

3.3.5. Datos..... 35

APÉNDICE 1: LOCALIZACIÓN DE SUBESTACIONES DE TRACCIÓN

APÉNDICE 2: TRAZADOS DE ACOMETIDAS

APÉNDICE 3: SIMULACIONES DE TRACCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El presente anejo tiene como objetivo describir los sistemas principales para la explotación de la línea ferroviaria de altas prestaciones objeto del presente Estudio Informativo: la red de tracción eléctrica (catenaria, subestaciones y sus líneas de acometida) y los sistemas de seguridad y comunicaciones.

Las líneas ferroviarias de alta velocidad españolas que se encuentran actualmente en servicio, en fase de construcción o de proyecto han adoptado el sistema de electrificación 2 x 25 kV y tras el análisis de las diferentes propuestas, la opción que se ha considerado finalmente para el tramo Bilbao - Santander ha sido el sistema de electrificación 2 x 25 kV. Además, este esquema de electrificación es el previsto en todo el ámbito de la "Y" Vasca y en la Variante Sur Ferroviaria (VSF).

Por ello, a lo largo del presente anejo se ha procedido a la descripción y definición de todas las instalaciones necesarias para la implantación de dicho sistema de tracción, haciendo especial hincapié en la ubicación de las subestaciones y la longitud de las líneas de acometida.

Por último, se describen las instalaciones necesarias para garantizar la seguridad y comunicaciones de los trenes que circulen por la futura infraestructura. Dicho sistema será el denominado como ERTMS/ETCS Nivel 2, con sistema de respaldo ASFA Digital (Aviso de señales y frenado automático), de acuerdo con la E.T.I. Control y Mando y Señalización. Se ha atendido a toda la normativa vigente de Adif, así como las recomendaciones que aparecen en las Normas CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica).

En cualquier caso, las instalaciones definidas en este anejo para el tramo Bilbao - Santander cumplirán los parámetros y especificaciones relativos a la interoperabilidad del sistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad recogidas en el Real Decreto 1434/2010, de 5 de noviembre, sobre interoperabilidad del sistema ferroviario de la Red Ferroviaria de Interés General.

2. SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN

2.1. Objeto y alcance

Este anejo tiene por objeto la propuesta, desde el punto de vista técnico y funcional, del sistema de electrificación a aplicar en el tramo objeto del Estudio.

Dicho sistema, constituido por tres subsistemas interrelacionados entre sí: (i) línea aérea de contacto, (ii) subestaciones de tracción eléctrica y (iii) red de suministro de energía para su alimentación (líneas de alta tensión para la acometida), tendrá que satisfacer las siguientes condiciones:

- La tensión en el pantógrafo de los trenes, en todos los puntos a lo largo del recorrido de la línea aérea de contacto, deberá alimentar satisfactoriamente los equipos de tracción y auxiliares de los trenes, con objeto de conseguir una marcha regular de cada tren en circulación y obtener la máxima eficiencia en la tracción.
- Dicha tensión no podrá descender por debajo de un valor mínimo a partir del cual no puedan funcionar correctamente los equipos de tracción y los sistemas auxiliares embarcados en los trenes.
- La potencia instalada y su distribución espacial será tal que pueda absorber las demandas del conjunto de trenes que circulen simultáneamente.
- Los componentes conductores de la línea aérea de contacto serán tales que la intensidad eléctrica que circule por ellos no podrá ser superior a los valores máximos permitidos.
- La factibilidad de suministro de energía al sistema de electrificación deberá ser total.

Por ello, el desarrollo del estudio debe de permitir proponer la tecnología a implantar en la línea aérea de contacto y el del sistema de acometida de energía para su alimentación, desde el punto de vista técnico, para la electrificación de la Red Ferroviaria objeto del Estudio, para la circulación en alta velocidad con el alcance y contenidos siguientes:

- Estudio de la tecnología a implantar en la línea aérea de contacto, que comprende:
 - Tecnologías de línea aérea de contacto existentes y susceptibles de ser implantadas. Electrificación en corriente continua y en alterna monofásica.
 - Propuesta de la más adecuada para su implantación. Características más singulares.
- Diseño del sistema de acometida de energía, que, a su vez, comprende el siguiente desarrollo:
 - Planteamiento de alternativas de ubicación de las subestaciones. Estimación del número de subestaciones para satisfacer la demanda.
 - Estudio de posibles alternativas de puntos de conexión desde la Red Eléctrica de Transporte de Alta Tensión a cada subestación eléctrica de tracción.
 - Estudio y desarrollo de alternativas de acometida de alimentación de las subestaciones a partir de los puntos de conexión. Establecimiento de posibles bandas superficiales de terreno para el tendido de las líneas de acometida.
 - Estimación de la valoración económica del montante de las inversiones necesarias para cada alternativa de alimentación eléctrica.
 - Propuesta de alternativa a desarrollar.

2.2. Metodología

Para la definición del sistema eléctrico más ventajoso, se debe llevar a cabo un proceso interrelacionado y realimentado de actividades, estructurado en las siguientes etapas:

1. Planteamiento del problema. Establecimiento del marco de referencia: Datos e hipótesis de partida. (Punto 2.3).

Se exponen las condiciones que debe cumplir el sistema de electrificación y se establece el marco de referencia en el que se basa su estructura y dimensionamiento.

2. Análisis de las tecnologías existentes de línea aérea de contacto. Definición de la tecnología a implantar en la Nueva Red Ferroviaria. (Puntos 2.4 y 2.5).

Se describen las tecnologías de línea aérea de contacto en uso y mediante la aplicación de criterios de elección se selecciona la estimada como más adecuada para su aplicación.

3. En función de los datos e hipótesis de partida se procede al planteamiento de alternativas de ubicación de subestaciones a lo largo del tramo, de modo que se supone que, en todo momento, se garantiza la marcha de los trenes según el programa de explotación previsto. Ubicación y elección del emplazamiento de las subestaciones. (Punto 2.6).

Establecidas las alternativas de ubicación de las subestaciones y estimada la potencia eléctrica requerida en ellas, se establecen alternativas de posibles puntos de conexión, se plantean las posibles acometidas de alimentación de las subestaciones y las opciones básicas de trazado desde ellos, estimando el desarrollo longitudinal aproximado y la zona de paso.

2.3. Planteamiento de la problemática

2.3.1. Introducción

Como se ha mencionado anteriormente, el sistema eléctrico en cuanto a características y dimensión, deberá de satisfacer las siguientes condiciones:

- A. La tensión eléctrica en el pantógrafo de los trenes en circulación deberá alimentar de manera satisfactoria los equipos de tracción y auxiliares, y no podrá caer por debajo de un valor mínimo prefijado.

La caída de tensión eléctrica desde la salida de la subestación hasta el pantógrafo a lo largo de la línea depende de:

 - El valor de la tensión eléctrica de salida de la subestación.

- Los valores límite prefijados de la tensión eléctrica en la línea aérea de contacto.
- La intensidad absorbida por la locomotora a través del pantógrafo.
- La posición en cada instante de los trenes en circulación y su distancia a la subestación.
- La impedancia del circuito de tracción: línea aérea de contacto y retorno a la subestación, que a su vez depende de la longitud de dicho circuito, es decir, desde la subestación hasta la posición del tren o trenes en circulación.

B. La potencia instalada será tal que pueda absorber las demandas del conjunto de trenes que circulen simultáneamente por la nueva red ferroviaria, y los componentes conductores de la línea aérea de contacto serán tales que la intensidad eléctrica que circule por ellos no podrá ser superior a los valores máximos permitidos. La potencia eléctrica que tiene que suministrarse a una red (potencia a instalar en las subestaciones) es la resultante de la integración en el tiempo de las potencias instantáneas demandadas por los sistemas auxiliares y por los motores de tracción. En cuanto a los motores, en cada instante dependerá del esfuerzo en llanta necesario para que la masa total del tren en circulación supere el perfil ferroviario a la velocidad requerida. La intensidad eléctrica que por ella circula depende de la tensión de alimentación de la red (tensión de salida de las subestaciones), de su impedancia (impedancia del circuito de tracción), y de la potencia instantánea demandada por el sistema de tracción, estando limitada su capacidad de conducción eléctrica por las propias características de los materiales que componen el circuito.

Por lo tanto, se puede concluir que la condición exigida depende de:

- El perfil de la nueva red ferroviaria.
- La posición en cada instante de los trenes en circulación y su distancia a la subestación.
- El valor de la tensión eléctrica de salida de la subestación.
- La impedancia del circuito de tracción: línea aérea de contacto y retorno a la subestación

De los datos anteriores, los relativos a las características del circuito eléctrico de tracción se establecen en el próximo capítulo 2.4 Electrificación.

Las características de trazado son conocidos y disponibles, en el nivel de desarrollo del presente Estudio Informativo.

La estructura de la red eléctrica de alta tensión está recogida en la información de la red de transporte (www.ree.es) y en la planificación prevista de la misma.

Para el desarrollo del sistema de electrificación, se establecen datos e hipótesis definidos en el siguiente apartado 2.3.2.

2.3.2. Datos e hipótesis de partida

Los datos e hipótesis de partida tomados para el desarrollo de los trabajos y la obtención de la propuesta más ventajosa son los relativos a:

2.3.2.1. Generales

Se establecieron como datos e hipótesis de trabajo las siguientes:

- Sistema de alimentación desde la red pública de transporte de energía eléctrica.
- Los condicionantes del plan de operación de la línea han sido tomadas de referencia del Anejo 8 del presente Estudio Informativo. Dicho plan de operación ha sido desarrollado por Sener Mobility, S.A.U.
- Dado el carácter mixto de la línea (pasajeros + mercancías), se suponen trenes de pasajeros de alta velocidad (S-130) con una velocidad de circulación de al menos 250 km/h, potencia nominal del orden de 4.800 kW, y trenes de mercancías compuestos por la locomotora S-256 con una carga remolcada de 1.100 Tm.
- La velocidad máxima de diseño es de 250 km/h. Se estudia un primer escenario limitándose la operación a 200 km/h por el tráfico mixto y sus efectos aerodinámicos con los trenes de mercancías. Se estudian escenarios

adicionales en previsión a que los efectos que limitan la velocidad se resuelven y los trenes de pasajeros circulen a 250 km/h.

- Situaciones singulares correspondientes a posibles averías o puesta fuera de servicio por necesidades de mantenimiento de alguna de las subestaciones (N-1).
- El sistema de alimentación de la línea Palencia – Santander es a 3000 V. Este sistema de electrificación no es idóneo para líneas de altas prestaciones, por lo que habrá una zona neutra que separe la unión con esta línea.
- Instalación de dos transformadores de potencia en cada subestación.
- Ante la falta de definición precisa del diseño eléctrico de uno de los tramos colaterales en su situación definitiva (fase 1 y 2 de variante sur ferroviaria) que precedería a la ejecución del tramo Bilbao - Santander en el momento de redactar este anejo, el tramo objeto del estudio se diseña como energéticamente independiente de los tramos colaterales y viable en condiciones de funcionamiento degradado; con el objeto de alcanzar, en esta fase de planificación de la infraestructura, un diseño de máximos susceptible de revisarse para optimizar en fases de diseño más avanzadas.

2.3.2.2. Características geométricas de la línea férrea a electrificar

Las características geométricas del trazado de cada alternativa, tanto en planta como en alzado, se obtienen a partir del presente estudio informativo.

Los valores más significativos son:

- El trazado se ha diseñado con los parámetros técnicos de una línea de alta velocidad (velocidad de diseño 250 km/h), con posibilidad de uso para tráfico mixto.
- El tramo de la línea ferroviaria objeto de este estudio está proyectado en vía doble. En Castro Urdiales hay previsto un cambiador de ancho, quedando el ancho de vía en ibérico entre Santander y Castro Urdiales, y en ancho mixto

desde el cambiador mencionado hasta Bilbao Abando. La velocidad se limita a 160 km/h al circular por tramos de tercer carril.

- Rampa máxima de 12,5 milésimas.
- Radio mínimo normal en planta de 2.550 m.
- Tras la fase I del Estudio Informativo, se han considerado como soluciones más ventajosas a desarrollar en esta segunda fase los corredores denominados A1 y C1. Ambos tienen tramos comunes en los extremos de la línea, diferenciándose en el tramo intermedio por la opción de servir a una parada intermedia en Laredo.
- Ambas alternativas se disponen de grandes túneles y viaductos como consecuencia de la orografía del terreno.

2.3.2.3. Estructura de la red eléctrica de alta tensión en el entorno de la nueva red ferroviaria

La red eléctrica de alta tensión desde la que se realizará la acometida de energía a las subestaciones de tracción de la nueva red ferroviaria, es la que se recoge en la documentación oficial de la compañía Red Eléctrica de España S.A. (www.ree.es) y de la planificación oficial prevista en la zona, en el documento: *Planificación de la red de transporte 2015-2020 Cantabria*.

A grandes rasgos, y desde el punto de vista de la red eléctrica de transporte, en la zona de estudio existen varias líneas de transporte próximas relativamente a los trazados propuestos:

- Línea PENAGOS – GÜEÑES 400 kV
- Línea CICERO – SOLÓRZANO 220 kV

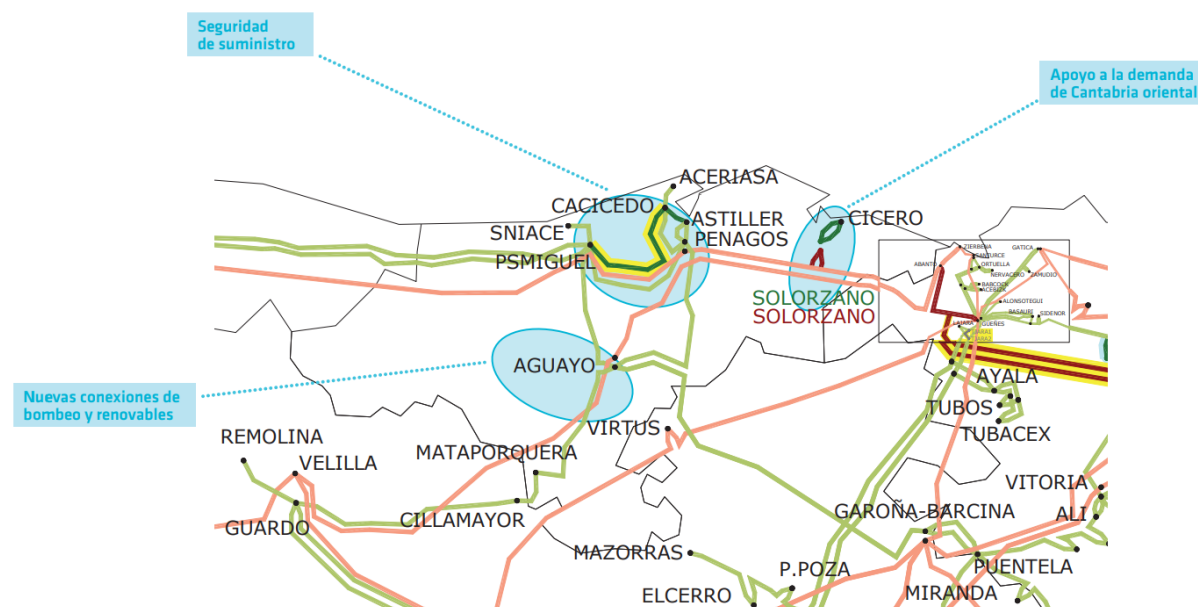


Imagen 1: Planificación de la red de transporte 2015-2020 en Cantabria.

2.4. Electrificación

2.4.1. Tecnología a implantar en la línea aérea de contacto

Los sistemas de electrificación de tracción se pueden dividir en los siguientes grupos:

- Sistema en corriente continua a 3.000 V de tensión nominal. Se transforma la corriente eléctrica trifásica a 50 Hz mediante grupos rectificadores estáticos formados por puentes de elementos semiconductores.
- Sistema en corriente alterna monofásica a 25 kV y frecuencia industrial de 50 Hz. Se reduce la tensión eléctrica de la red general a la tensión eléctrica de alimentación de la tracción mediante transformadores estáticos.
- Sistema en corriente alterna monofásica a 16 2/3 Hz. Se reduce la tensión eléctrica de la red a la tensión de tracción y se transforma la frecuencia de 50 Hz de la red general a la de 16 2/3 Hz mediante grupos rotatorios de bajo rendimiento o variadores estáticos de frecuencia.

Esta última tecnología se descarta porque no toma la energía de la red eléctrica de transporte, ya que debido a su frecuencia especial necesita centrales

productoras de energía y una red de transporte propia del ferrocarril que coexiste con la red general trifásica de transporte y distribución.

Por lo demás, la elección de una tecnología u otra se suele establecer, entre otros criterios, en función de:

- La velocidad de circulación de los trenes. Si bien no existe una clara delimitación de cuál es la velocidad para elegir el sistema de alterna monofásica o el sistema de continua, la experiencia muestra que hoy en día se está llevando a cabo satisfactoriamente la explotación de líneas ferroviarias en corriente continua con velocidades en el entorno de 220 km/h, por lo que parece que dicho valor podría ser el umbral de velocidad para la elección de uno u otro sistema.
- El montante de la inversión y el rendimiento energético. En el caso de la electrificación en corriente continua a 3000 V, las intensidades que circularían por la línea aérea de contacto podrían ser muy altas para las potencias que se manejan en las líneas de alta velocidad. Esto conllevaría una amplia sección de cobre con una línea aérea de contacto pesada, que supondría un elevado montante de inversión y elevadas pérdidas por efecto Joule y bajo rendimiento energético. En cambio, en la alimentación en alterna monofásica a 25 kV, las intensidades eléctricas son más bajas y por lo tanto la línea aérea de contacto es muy ligera, con menores costes de inversión y menores pérdidas de energía por efecto Joule. También es necesario tener en cuenta que para una misma red a electrificar el número de subestaciones a implantar en alterna monofásica es menor que en la electrificación en continua, lo que implica una menor inversión económica.
- La red ferroviaria donde va a ser aplicada la electrificación se conectará al resto de la red de alta velocidad, por lo que debería de ser electrificada con la misma tecnología.
- El material móvil a utilizar en la explotación. La nueva red ferroviaria estará conectada a la red existente en el lado de Santander, por lo que por ella circulará un material móvil que deberá ser bitensión.

Las prestaciones de la alta velocidad ferroviaria imponen la necesidad de una fuerte potencia eléctrica; por ello es necesario aplicar una tensión de catenaria suficientemente alta que limite las caídas de tensión y la densidad de corriente en los conductores.

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

La solución en corriente continua a 3.000 V, utilizada generalmente en la red convencional de Adif, no resulta técnicamente viable en este caso. Esto es debido a que exigiría secciones de catenaria enormes, pantógrafos más pesados con mesilla muy superior a la actual y una distancia corta entre subestaciones.

A la vista de los criterios expuestos, la elección del sistema de electrificación a 25 kV y 50 Hz resulta ser el más idóneo para el nuevo trazado propuesto entre Bilbao y Santander.

2.4.2. Sistema de electrificación monofásica a 25 kV, 50 Hz

En términos generales, este sistema consta de:

- Alimentación de las subestaciones de tracción mediante dos fases del sistema trifásico de la red de transporte. Preferiblemente, a tensión eléctrica igual o superior a 220 kV.
- Sistema de subestaciones equipadas con transformadores con regulación automática de tensión de salida a catenaria en función de la carga monofásica y la fluctuación de la tensión primaria.
- Alimentación de catenaria en corriente alterna monofásica con tensión de 25 kV respecto al carril y frecuencia industrial de 50 Hz. Se admite hasta una

tensión eléctrica mínima permanentemente de 19 kV en el pantógrafo de los trenes y de 17,5 kV, siempre que no discurren más de diez minutos, de acuerdo con la norma europea EN 50.163 de CENELEC.

- Instalación de puestos de puesta en paralelo de las líneas aéreas de contacto, en el caso de doble vía.
- Cada sección de la línea aérea de contacto es alimentada por una subestación y se aísla eléctricamente de la subestación colateral mediante una zona neutra de separación entre fases eléctricas. Esta zona neutra suele ubicarse equidistante de las subestaciones colaterales.
- La instalación de zonas neutras en la línea aérea de contacto delante de cada subestación, con objeto de poder alimentar de un modo independiente, sin interferencia de fases, a cada sección de línea aérea de contacto existente a ambos lados de la subestación.

En este sistema se tienen dos opciones, denominadas 1 x 25 kV y 2 x 25 kV. Se opta por el 2 x 25 kV, ya que permite una distancia mayor entre subestaciones mediante el uso de autotransformadores. Además, este sistema reduce la contaminación electromagnética en el entorno de la línea ferroviaria.

El 2 x 25 kV se usa en la mayoría de líneas de alta velocidad españolas que se encuentran actualmente en servicio, en fase de construcción o de proyecto. Es, además, el sistema de electrificación previsto en todo el ámbito de la "Y" Vasca en la fase II de la Variante Sur Ferroviaria.

2.4.2.1. Sistema de alimentación en 2 x 25 kV

A lo largo de la línea férrea se instalan subestaciones de tracción, separadas del orden de 70 - 90 km entre sí.

Las subestaciones disponen de dos transformadores, cada uno de ellos con una potencia máxima estimada de 30 MVA, con alimentación de entrada en alta tensión monofásica y salida en monofásica a 50 kV.

En el lado de salida, los transformadores disponen de una toma, en el punto central del arrollamiento del secundario, conectada al carril de cada vía y a tierra. Una de

las salidas del secundario, con tensión de 25 kV, alimenta a la línea aérea de contacto. La otra salida, con tensión a -25 kV y en oposición de fase con la anterior, alimenta a un feeder que discurre a lo largo de la línea ferroviaria.

En resumen, el sistema 2 x 25 kV está basado en un transformador A.T./50 kV en el que el arrollamiento secundario dispone de tres tomas: dos extremas y una intermedia. Las tomas extremas, entre las cuales hay una tensión de 50 kV (2 x 25 kV), se conectan respectivamente a la catenaria y a un feeder que constituye el circuito principal de retorno. La toma intermedia, situada en el punto central del arrollamiento secundario y por tanto a una tensión de 25 kV con respecto a las tomas extremas, se conecta al carril de rodadura trabajando así como circuito secundario de retorno.

A lo largo de la citada línea, cada 10 - 15 km, se instalan centros de autotransformación 50/25 kV, con autotransformadores de 10 MVA, conectados a línea aérea de contacto y al feeder negativo, con toma central a la vía.

Los autotransformadores aseguran la distribución de la corriente absorbida por el vehículo motor entre línea aérea de contacto y feeder negativo. En todo caso, el vehículo motor está alimentado a 25 kV entre la línea aérea de contacto y la vía.

La corriente absorbida por el tren se distribuye como sigue:

- En el trayecto entre subestación y autotransformadores, entre los que no se encuentre intercalado el tren, la corriente se distribuye entre la línea de alimentación y el feeder. La potencia se transmite a la tensión de 50 kV.
- En el trayecto comprendido entre los autotransformadores donde está intercalado el tren, se efectúa una alimentación bilateral al vehículo motor, siendo la corriente en la línea aérea de contacto como en carril inferiores a las absorbidas por el tren.

Dicha distribución de corriente presenta un menor efecto inductivo y resistivo (carril - tierra) que en los sistemas 1 x 25 kV. La corriente de retorno por el carril queda limitada al tramo comprendido entre los autotransformadores en que se

encuentra intercalado el tren, ya que en el resto del circuito fundamentalmente circula por el feeder conectado a -25 kV en oposición de alternancia.

Como ventajas técnicas fundamentales, el sistema 2 x 25 kV presenta una reducción en las perturbaciones inducidas por la corriente de retorno en las corrientes débiles que circulan por el carril de rodadura. Asimismo, la tensión resultante de 50 kV conlleva menores intensidades de circulación de corriente eléctrica por los conductores de electrificación ferroviaria y, en consecuencia, menores pérdidas por transmisión o caídas de tensión. La menor intensidad y menor pérdida de tensión, junto a la menor impedancia, permite instalar las subestaciones a mayor distancia que en el caso del sistema 1 x 25 kV. Ello hace que disminuyan los costes de inversión en acometidas de alta tensión y que se minimice el impacto ambiental.

La principal característica de esta catenaria es la introducción de un hilo para la corriente de retorno o feeder negativo. La tensión existente entre el feeder de alimentación y el de retorno es de 50 kV y 25 kV entre carriles y catenaria. De esta forma un mismo material móvil puede circular por líneas con diferente sistema de tracción. El transporte de intensidad por la línea se realiza a 50 kV y la alimentación a 25 kV, de esta forma las caídas de tensión disminuyen prácticamente a la mitad, con lo que las subestaciones se pueden distanciar el doble que en el sistema 1 x 25 kV. En el sistema de electrificación 2 x 25 kV, si bien se consigue una disminución en el número de subestaciones a implantar, éstas son de mayor potencia instalada.

2.4.3. Conceptos generales para las subestaciones de alimentación principales

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

La separación entre subestaciones principales para el sistema de electrificación 2 x 25 kV permite el espaciamiento entre las mismas de unos 70 - 90 km.

Con el fin de optimizar el coste de construcción de estas subestaciones, los principios que prevalecen a la hora de seleccionar su localización son los siguientes:

- Al borde de las vías férreas
- Alejadas de los haces importantes de vías y de los túneles
- Lo más cerca posible de la red viaria existente
- Minimización de expropiaciones necesarias para su implantación
- Lo más cerca posible de las líneas de A.T. existentes para minimizar la longitud de tendido de las acometidas.

Como criterio general, cada subestación de tracción constará de dos transformadores iguales. En el caso de que alguna de las subestaciones quede fuera de servicio por procederse a su mantenimiento o por fallo de la misma, deben entrar en servicio los transformadores de las subestaciones colaterales.

Para una correcta valoración de las subestaciones es necesario el predimensionamiento de la potencia demandada en el trazado objeto de estudio. La potencia demandada se calcula en MVA, donde influyen factores como la longitud del tramo alimentado por la subestación, el peso total de la composición, el consumo mecánico unitario de la composición y el número de trenes en el tramo en una hora.

Para el caso que nos ocupa, y dado que el tramo objeto del estudio es relativamente de corta longitud (unos 70 km), se partió de la configuración estándar para este tipo de electrificaciones:

Sistema 2 x 25 kV: línea área alimentada por una subestación cada 70 - 90 km, con centros de autotransformación 1 x 10 MVA cada 10 - 15 km. La potencia instalada en cada subestación es de 2 x 30 MVA.

2.4.4. Acometidas de energía

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

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

Para establecer las acometidas es necesaria la existencia de líneas eléctricas con la potencia necesaria para alimentar a las subestaciones al mismo tiempo que continúan prestando su servicio habitual. En el ámbito abarcado por el presente Estudio Informativo el único propietario de las redes existentes es Red Eléctrica Española, REE.

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

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

El empleo de cada una de estas líneas está supeditado a los siguientes factores:

- Viabilidad de acceso y disponibilidad de conexión concedido por el Gestor de la Red Eléctrica de Transporte (REE)
- Potencia suficiente para satisfacer los requerimientos energéticos de la línea.
- Potencia de cortocircuito suficiente de forma que, en el punto de conexión, los desequilibrios producidos por los transformadores de tracción (cargas monofásicas) estén por debajo de los límites máximos exigibles. Este condicionante ha llevado a considerar como prioritarios las líneas de 400 y 220 kV, que además proporcionan una mayor fiabilidad en el suministro.

2.4.5. Tipo de catenaria

La catenaria para circulaciones de alta velocidad posee importantes requisitos. Así, la energía se ha de transmitir a los vehículos de forma segura y sin incidencia en el medio ambiente por efecto de los arcos eléctricos y sin un desgaste elevado del hilo de contacto. Se propone por tanto la catenaria tipo C-350 adaptada a una velocidad máxima de 250 km/h.

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

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

El número de tipologías de catenaria deberá ser el menor posible con la finalidad de reducir los costes de mantenimiento, procurando la interoperabilidad del sistema a instalar en la nueva línea con las catenarias existentes en las líneas próximas a la anterior. También se procurará la interoperabilidad con el pantógrafo normalizado en la UE para los trenes de alta velocidad.

Presentará las siguientes características:

- Se trata de una catenaria simple, poligonal, atirantada, con regulación automática e independiente de la tensión mecánica.
- Está formada por un sustentador de cobre electrolítico de 100 mm² de sección y por un hilo de contacto ranurado de 150 mm² de aleación de sección cobre-manganeso (0,6%) con una alta resistencia mecánica.
- Como circuito de retorno, un hilo de retorno de aluminio-acero de sección LA-28 que conecta todos los postes.
- En el caso de alimentación 2 x 25 kV, un feeder negativo de cable de Al-Ac-180 situado sobre una cruceta, lado campo, y una distancia de 1,30 m del poste. Este feeder puede coexistir con el feeder de acompañamiento que se sitúa lado vía.
- Coeficiente de homogeneidad menor del 10%.

- Debajo de la canaleta de comunicaciones y a todo lo largo del trayecto se necesitará un cable cuya misión es la recolección de todas las puestas a tierra de la instalación.

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

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

2.4.6. Dimensionado mecánico

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

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

Criterios estáticos

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

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

Criterios dinámicos

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

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

Criterios de capacitación de corriente

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

- Criterio de la fuerza de contacto.

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

- Esfuerzo dinámico máximo ($F_m + 3T$) 350 N.
- Esfuerzo dinámico mínimo ($F_m - 3T$) > 0 N.

- Criterio de pérdida de contacto.

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

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

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

2.4.7. Tensiones de los conductores compensadores

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

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

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

2.4.8. Criterios geométricos

2.4.8.1. Criterios geométricos

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

Los vanos máximos serán de 65 m y el descentramiento será de ± 20 cm en vía recta y ± 24 cm en curva. En el caso de la zona de tres carriles se optará por descentramientos de $\pm (250/134)$ cm en recta y $\pm (250/250)$ cm en curva.

2.4.8.2. Altura de catenaria

Siguiendo las recomendaciones de la UIC será:

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

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

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

2.4.8.3. Altura del hilo de contacto

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

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

2.4.9. Vanos

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

Como norma general en este proyecto, la longitud máxima del vano será de 60 metros. El número de vanos de los seccionamientos, serán como mínimo:

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

2.5. Equipo de vía general

2.5.1. Postes

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

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

- Postes de vía general

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

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

- Postes en zona de puentes y viaductos.

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

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

- Postes en Puesto de Banalización y Apartaderos.

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

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

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

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

- Los postes de hormigón serán del tipo troncocónicos con el fin de mejorar la relación peso-resistencia.
- Los postes deberán ser fijados al terreno mediante tubos o cimentaciones especiales.
- Los tubos se colocarán en el terreno mediante hincas o bien mediante perforación.
- La base de los postes se colocará en los tubos, debiendo penetrar la longitud necesaria.
- La serie de postes de hormigón a utilizar será definida en función de la tecnología del sistema de catenaria a utilizar.

Los postes metálicos deben cumplir las siguientes normas y condiciones:

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

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

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

a) Acciones sobre el poste

Las acciones consideradas sobre el poste son:

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

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

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

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

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

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

b) Verificación tensional

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

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

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

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

$$H_{montantes} = \frac{2 M_x \tan \alpha}{d}$$

La fuerza residual que produce los momentos secundarios es:

$$H_{reducido} = H_x - H_{montantes}$$

Y el momento secundario es:

$$M_{secundario} = H_{reducido} * \frac{s}{4}$$

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

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

2.5.2. Macizos

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$M_v > M_t$$

a) Momentos actuantes

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

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

Las acciones consideradas sobre el poste son:

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

b) Momento volcador macizos

Macizos tipo Md (desmonte)

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

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

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

Con:

$$\text{Peso} = 2200 \cdot a \cdot b \cdot h + K$$

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

El momento respecto la base del poste se obtiene con:

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

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

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

Macizos tipo Mt (terraplén)

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

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

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

Macizos tipo Ma (anclaje)

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

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

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

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

2.5.3. Aisladores

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

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

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

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

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

2.5.4. Atirantados

El hilo de contacto se atirantará 200 mm alternativamente en cada poste salvo en zonas de tres carriles que se optará por $\pm (250/134)$ cm y $\pm (250/250)$ cm en curva.

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

2.5.5. Ménsulas

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

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

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

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

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

2.5.6. Catenaria en viaducto

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

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

2.5.7. Equipamiento en estación

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

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

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

2.5.8. Efectos en túneles

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

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

2.5.9. Compensación de tensiones

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

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

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

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

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

2.5.10. Puntos fijos

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

- La longitud de los semicantones deberá ser lo más igual posible para evitar desplazamientos de los conductores.
- El cable de arriostamiento podrá ser de cobre o bronce.
- La carga de trabajo del cable se determinará según la norma EN 50119.
- En caso de condiciones ambientales diferentes en ambos equipos de compensación, es conveniente que los puntos fijos lleven latiguillos.

- Los latiguillos, de existir, deberán instalar entre la 2ª y 3ª péndolas normales, de longitud aproximada cinco veces la altura entre el sustentador y el hilo de contacto.
- El cable de los latiguillos podrá ser de bronce BzII o de Cu.

2.5.11. Seccionamientos

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

- Situados como máximo a cada lado de un cantón de: 1.200-1.280 m.
- Altura de hilo de contacto: 5,08 - 5,30 m.
- La separación de las catenarias en un seccionamiento será:
 - Tipo compensación > 200 mm.
 - Tipo lámina de aire > 400 mm.
- Número de vanos de un seccionamiento:
 - Tipo compensación a cielo abierto > 4 vanos.
 - Tipo lámina de aire a cielo abierto > 4 vanos.

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

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

- No se deben instalar seccionamientos de compensación en túneles cortos, procurando desplazarlos al exterior.
- No se deben instalar seccionamientos de compensación en puentes cortos ni bajo pasos superiores.

- Se recomienda no situar seccionamientos en puentes y viaductos debido al difícil acceso en caso de incidencias o en caso de trabajos de mantenimiento preventivo.
- Debe evitarse la instalación de seccionamientos en zonas de agujas aéreas, debido a la complicada ejecución de la instalación de la catenaria en cruce.

2.5.12. Colas y tirantes de anclaje

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

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

2.5.13. Sistemas de retorno y puesta a tierra

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

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

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

El cable de retomo está formado por un cable de aleación acero-aluminio desnudo de 180 mm² de sección.

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

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

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

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

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

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

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

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

Las conexiones entre los cables de retorno, colector de tierras y carriles se realizarán mediante cables de cobre aislado 0,6/1 kV flexible de sección mínima de 50 mm², y/o reutilizando el cable de Cu-150 sobrante.

2.5.14. Zonas neutras

Las zonas neutras impiden que el pantógrafo pueda cortocircuitar dos catenarias alimentadas con distinta fase o tensión de la línea de alta.

Los puntos de separación de fases deben estar constituidos de modo que en ningún caso se produzca un puenteo de los puestos de seccionamiento por parte de los pantógrafos de los vehículos motores. La longitud total de la zona neutra ha de ser como mínimo de 402 m, según lo determinado en las especificaciones técnicas de interoperabilidad. Por otro lado, los puntos de separación de fases sólo deben presentar un mínimo de medidas que restrinjan el servicio.

Estas zonas neutras se instalan:

- En el punto medio entre dos subestaciones, marcando el límite de alimentación de cada una de ellas.
- En el punto de cambio de tensión de electrificación
- En un punto cercano a cada subestación para poder alimentar desde las subestaciones adyacentes en caso de avería de la subestación.

2.6. Propuesta de ubicación de las subestaciones

2.6.1. Descripción de las estaciones transformadoras

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

Todos los aparatos ligados a la línea de alimentación se diseñan para ser instalados a la intemperie, así como los transformadores con la tensión y potencia requeridos en este proyecto, e igualmente los equipos necesarios para la instalación de 2 x 25 kV, cuya tensión máxima de servicio es de 50 kV, entre fases (feeder de alimentación y feeder de retorno o negativo).

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

A continuación, se representa el sistema de electrificación 2 x 25 kV

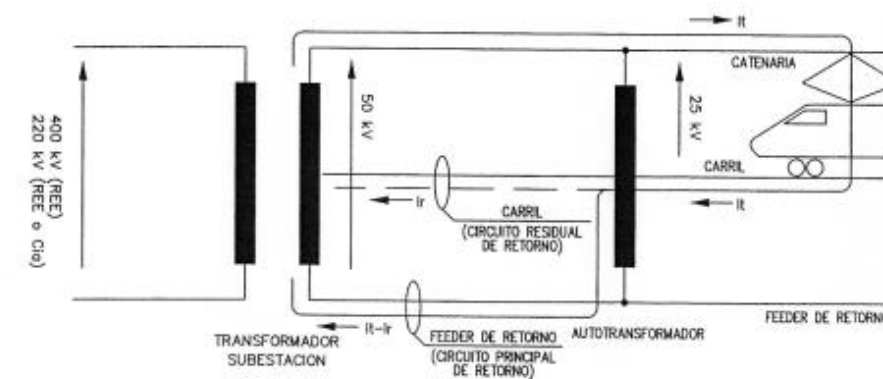


Imagen 2: Sistema de electrificación 2 x 25 kV

2.6.2. Criterios generales

Los criterios básicos utilizados en la propuesta de ubicación de subestaciones, se resumen en los siguientes puntos:

- Se plantea un diseño que funciona independientemente de la alimentación de la “Y” Vasca, incluso en situaciones degradadas. A raíz del N-1, se propone prever la línea Bilbao Santander de dos subestaciones eléctricas de tracción ubicadas en los dos extremos de la línea.
- Este planteamiento de máximos es debido a que a la hora de redactar este anejo no se dispone de una definición precisa del diseño eléctrico en situación final de la fase 1 y 2 de Variante Sur Ferroviaria que permita realizar un análisis completo con la VSF y la “Y” Vasca en conjunto. Si este análisis se llevara a cabo y no se requiriera ejecutar una segunda subestación, no se ejecutaría. Aún y todo es conveniente preverlo para no descartar su

construcción, amparándola en el presente Estudio Informativo y considerando las máximas afecciones potenciales en el Estudio de Impacto Ambiental.

- En el otro extremo de la línea (salto de carnero de Guarnizo), el sistema de electrificación del tramo colateral es de corriente continua a 3000 V, hasta la estación de Santander. El tramo desde Guarnizo hasta Santander tiene prevista la ejecución de una nueva subestación eléctrica de tracción: *Proyecto Constructivo de la Nueva Subestación Eléctrica de Tracción de Santander*, proyecto actualmente en redacción por parte de Sener Mobility, S.A.U. El refuerzo de potencia necesario para los tráficos previstos entre Bilbao y Santander no se contempla en dicho proyecto, por lo que en el futuro debería de ser objeto de estudio.
- La implantación de subestaciones se ha realizado siguiendo los criterios generales indicados anteriormente. Cada 70 - 90 km para el tipo de electrificación 2 x 25 kV.
- Se ha evitado plantear subestaciones de tracción alejadas de la red eléctrica de transporte y en trazados con presencia de túneles y viaductos, dada la escasa factibilidad de plantear una instalación de dicho tipo en tales condiciones.

2.6.3. Justificación de la potencia adoptada

Para una correcta valoración del dimensionamiento de la red de tracción, los parámetros básicos que condicionarán el diseño son:

- Potencia necesaria para alimentar a todos los vehículos.
- Caída de tensión máxima admisible s/ UNE — EN 50163.

El tramo propuesto para electrificar a 2 x 25 kV presenta una longitud aproximada de 70 km, entre el salto de carnero de Guarnizo y la Variante Sur Ferroviaria. Circularán vehículos con velocidades máximas de 200 km/h o 250 km/h, dependiendo del escenario explotación con tráfico mixto. A continuación, se muestran las mallas de circulación para las alternativas de trazado A1 y C1.

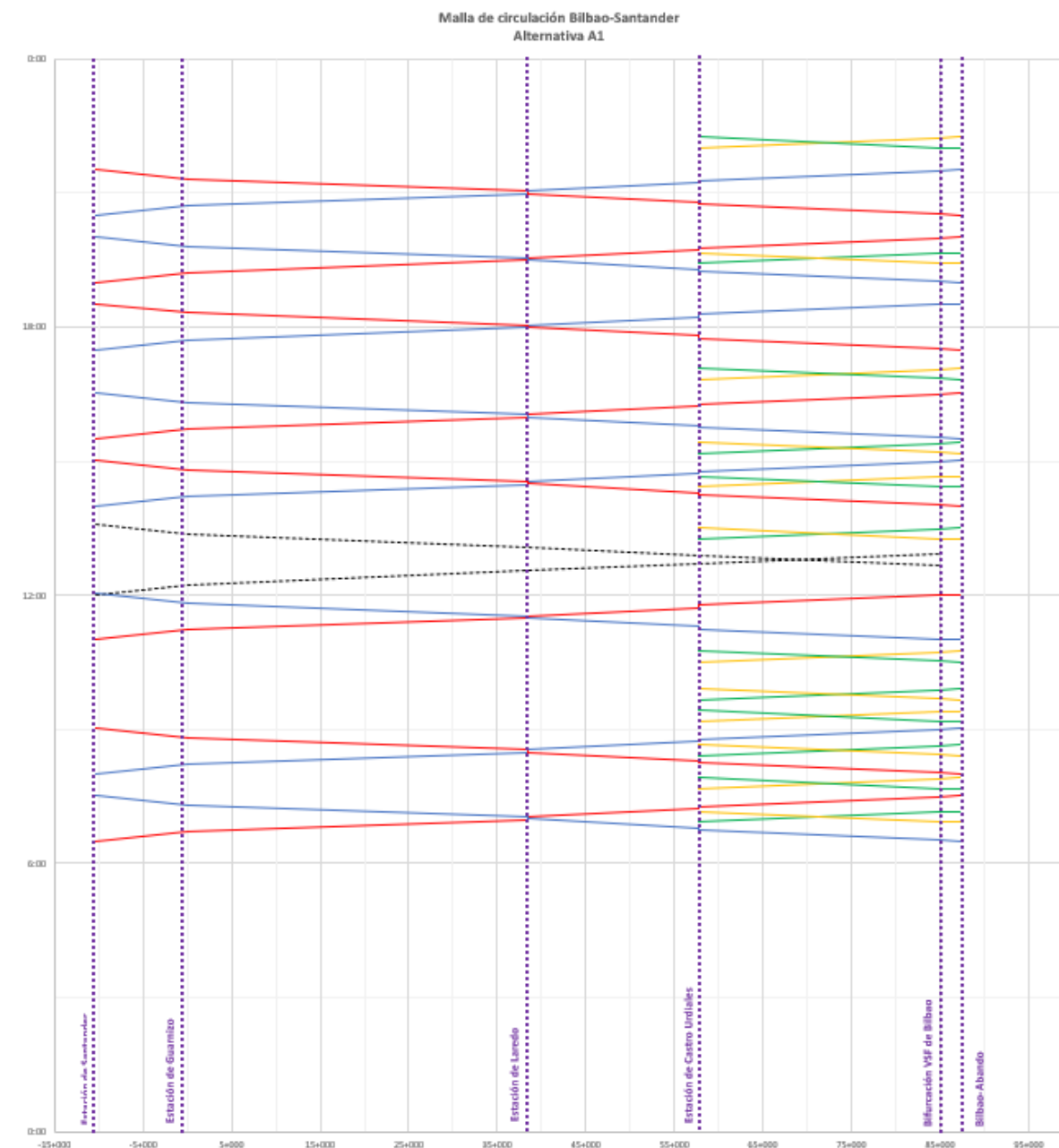


Imagen 3: Malla de circulación para la alternativa A1

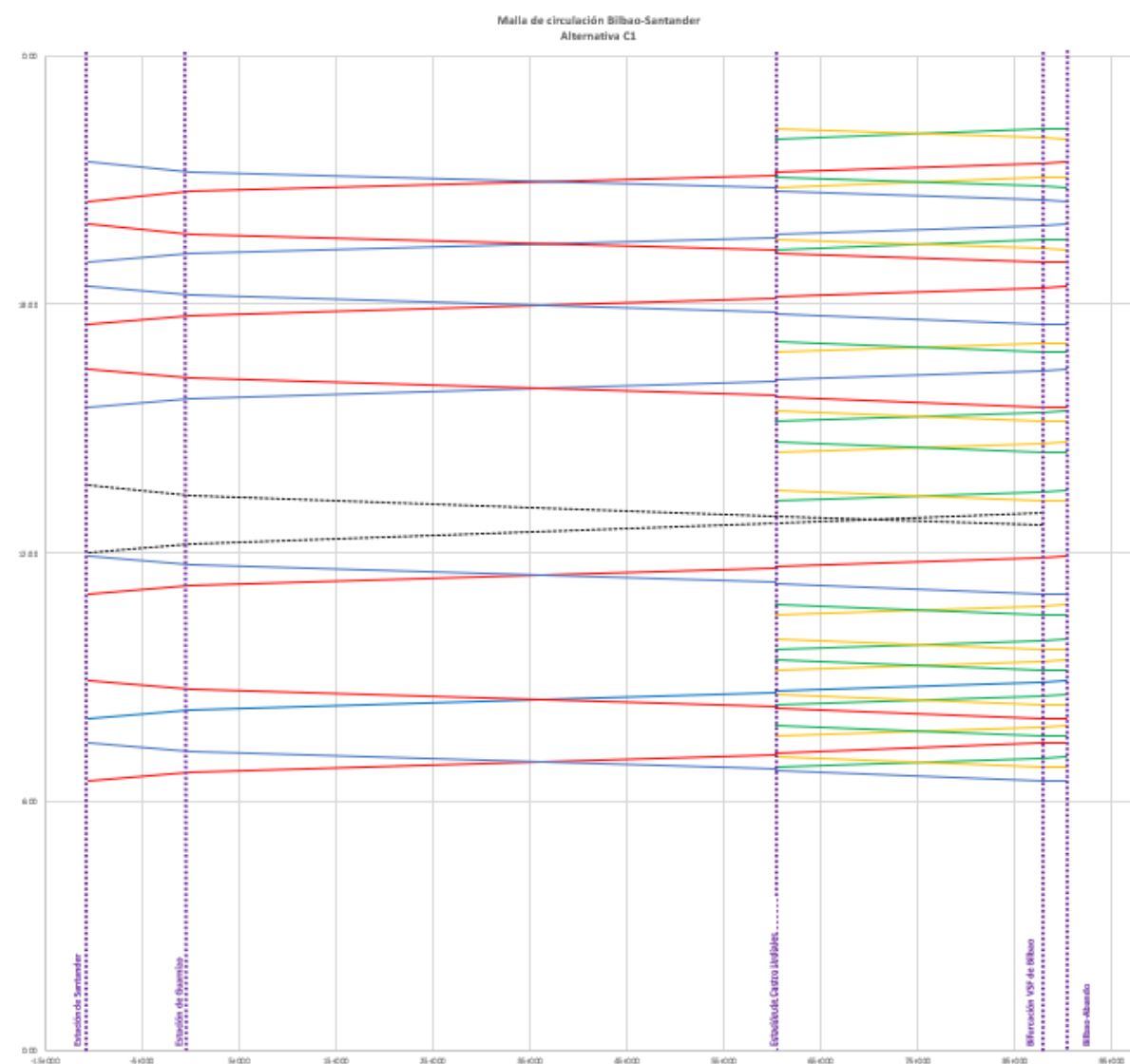


Imagen 4: Malla de circulación para la alternativa C1

La situación más restrictiva que contempla el esquema de explotación es de 6 trenes de viajeros simultáneos; 3 por sentido, entre la Variante Sur Ferroviaria y el salto de carnero de Guarnizo. Esta situación se da entre las 8:00 y 9:30 de la mañana y se considera que es la misma en los tres escenarios.

Se han contemplado estos tres escenarios para las simulaciones de marchas:

- 1) Velocidad máxima de los trenes de pasajeros limitada a 200 km/h por efectos aerodinámicos en cruces con trenes de mercancías y 160 km/h en el tramo con ancho mixto.

- 2) Velocidad máxima de los trenes de pasajeros a 250 km/h y 160 km/h en el tramo con ancho mixto (se solventa la limitación aerodinámica).
- 3) Velocidad máxima de los trenes de pasajeros a 250 km/h en todos los tramos que permita la geometría del trazado (se solventa la limitación aerodinámica y la limitación del ancho mixto).

También se tiene en cuenta el consumo máximo de los sistemas auxiliares, 400 kW por tren (S-130). Para la electrificación de 2 x 25 kV el coeficiente de pérdidas entre la subestación de tracción y la catenaria se considera del 3 %, y la eficiencia en tracción y auxiliares del 90 %.

2.6.3.1. Escenario 1

En este escenario, la velocidad máxima de los trenes de pasajeros se limita a 200 km/h por efectos aerodinámicos en los cruces con los trenes de mercancías. En el tramo de ancho mixto se circula a 160 km/h.

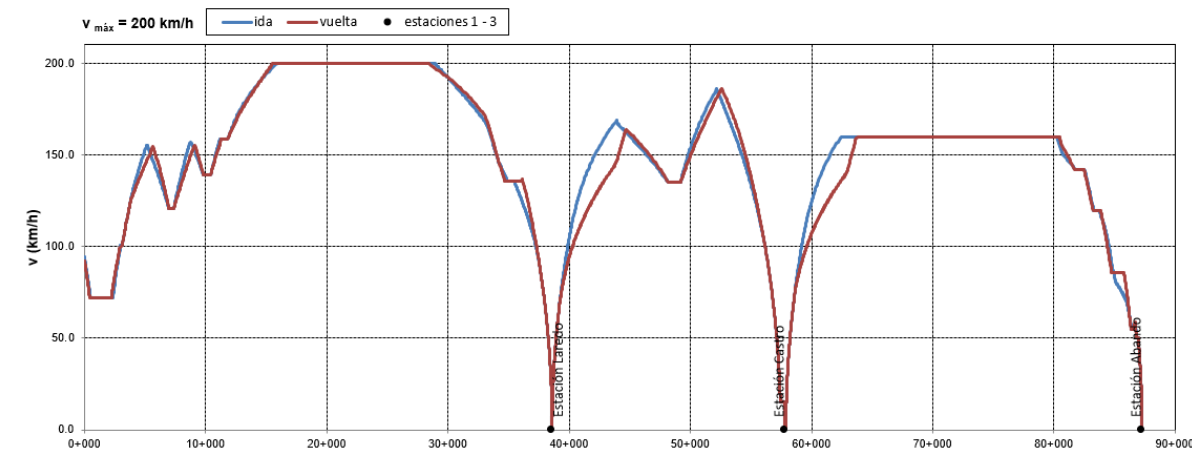


Imagen 5: Escenario 1, perfil de velocidad de los trenes de pasajeros por la alternativa A1

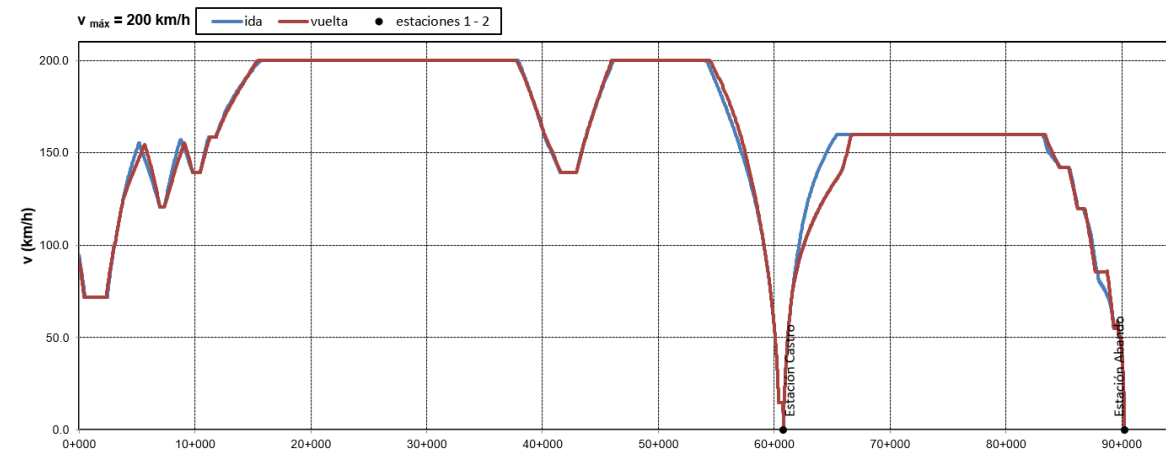


Imagen 6: Escenario 1, perfil de velocidad de los trenes de pasajeros por la alternativa C1

De este modo obtenemos las siguientes potencias medias demandadas por tren para la tracción, sin incluir auxiliares:

Para la alternativa de trazado A1:

- Salto de carnero Guarnizo – Bilbao Abando. Según simulación 982 kWh en 48 m 11 s (0,8 h), equivale a una potencia media de:

$$\frac{982 \text{ kWh}}{0,8 \text{ h}} = 1223 \text{ kW}$$

- Bilbao Abando – Salto de carnero Guarnizo. Según simulación 1033 kWh en 48 m 39 s (0,8 h), equivale a una potencia media de:

$$\frac{1033 \text{ kWh}}{0,8 \text{ h}} = 1286 \text{ kW}$$

Añadiendo auxiliares e incluyendo las pérdidas de tracción y catenaria, obtenemos:

$$\frac{(1223 + 400) \times 3 + (1286 + 400) \times 3}{0,9 \times 0,97} = 11371 \text{ kVA}$$

Para la alternativa de trazado C1:

- Salto de carnero Guarnizo – Bilbao Abando. Según simulación 911 kWh en 42 m 16 s (0,7 h), equivale a una potencia media de:

$$\frac{911 \text{ kWh}}{0,7 \text{ h}} = 1293 \text{ kW}$$

- Bilbao Abando – Salto de carnero Guarnizo. Según simulación 978 kWh en 42 m 28 s (0,7 h), equivale a una potencia media de:

$$\frac{978 \text{ kWh}}{0,7 \text{ h}} = 1388 \text{ kW}$$

Añadiendo auxiliares e incluyendo las pérdidas de tracción y catenaria, obtenemos:

$$\frac{(1293 + 400) \times 3 + (1388 + 400) \times 3}{0,9 \times 0,97} = 11962 \text{ kVA}$$

Entre las dos alternativas de trazado, la potencia media total más demandante es del 11,96 MVA.

2.6.3.2. Escenario 2

En este escenario, la velocidad máxima de los trenes de pasajeros es de 250 km/h. Se asume que no hay limitaciones de velocidad por efectos aerodinámicos. En el tramo de ancho mixto se circula a 160 km/h.

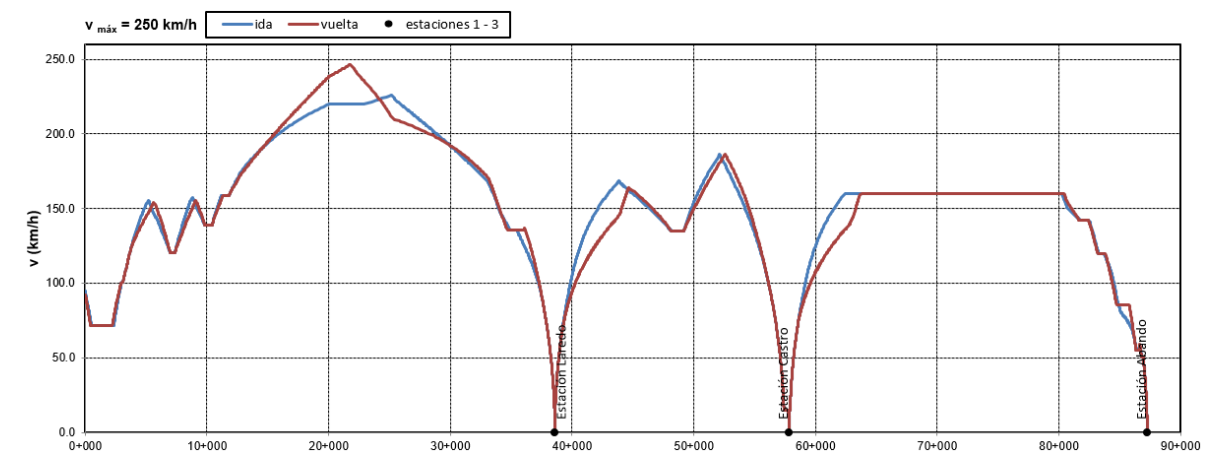


Imagen 7: Escenario 2, perfil de velocidad de los trenes de pasajeros por la alternativa A1

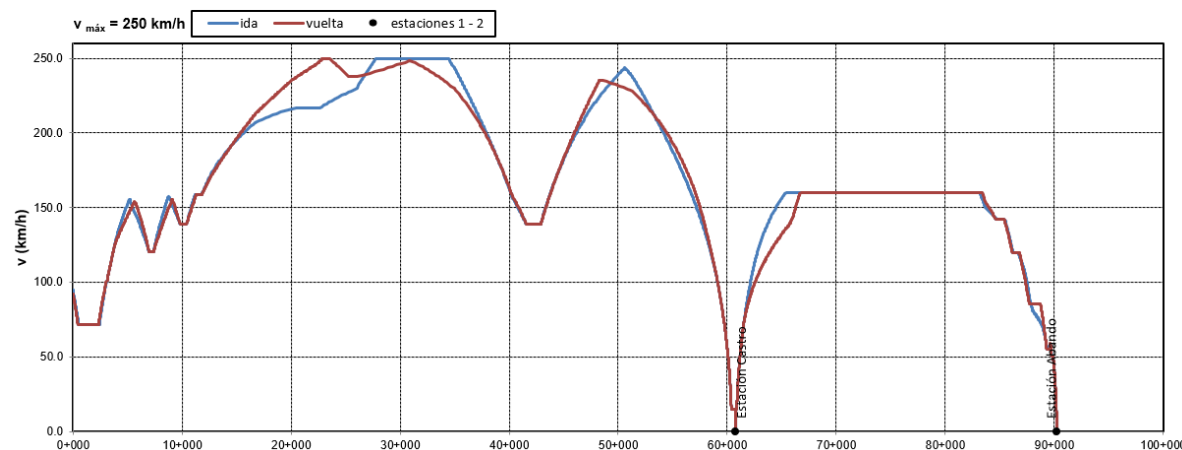


Imagen 8: Escenario 2, perfil de velocidad de los trenes de pasajeros por la alternativa C1

De este modo obtenemos las siguientes potencias medias demandadas por tren para la tracción, sin incluir auxiliares:

Para la alternativa de trazado A1:

- Salto de carnero Guarnizo – Bilbao Abando. Según simulación 1031 kWh en 47 m 56 s (0,80 h), equivale a una potencia media de:

$$\frac{1031 \text{ kWh}}{0,80 \text{ h}} = 1291 \text{ kW}$$

- Bilbao Abando – Salto de carnero Guarnizo. Según simulación 1108 kWh en 48 m 19 s (0,81 h), equivale a una potencia media de:

$$\frac{1108 \text{ kWh}}{0,81 \text{ h}} = 1376 \text{ kW}$$

Añadiendo auxiliares e incluyendo las pérdidas de tracción y catenaria, obtenemos:

$$\frac{(1291 + 400) \times 3 + (1376 + 400) \times 3}{0,9 \times 0,97} = 11914 \text{ kVA}$$

Para la alternativa de trazado C1:

- Salto de carnero Guarnizo – Bilbao Abando. Según simulación 1028 kWh en 41 m 15 s (0,69 h), equivale a una potencia media de:

$$\frac{1028 \text{ kWh}}{0,69 \text{ h}} = 1495 \text{ kW}$$

- Bilbao Abando – Salto de carnero Guarnizo. Según simulación 1135 kWh en 41 m 20 s (0,69 h), equivale a una potencia media de:

$$\frac{1135 \text{ kWh}}{0,69 \text{ h}} = 1648 \text{ kW}$$

Añadiendo auxiliares e incluyendo las pérdidas de tracción y catenaria, obtenemos:

$$\frac{(1495 + 400) \times 3 + (1648 + 400) \times 3}{0,9 \times 0,97} = 13550 \text{ kVA}$$

Entre las dos alternativas de trazado, la potencia media total más demandante es del 13,55 MVA.

2.6.3.3. Escenario 3

En este escenario, la velocidad máxima de los trenes de pasajeros es de 250 km/h, donde el trazado lo permita. Se asume que no hay limitaciones de velocidad por efectos aerodinámicos ni por el ancho mixto.

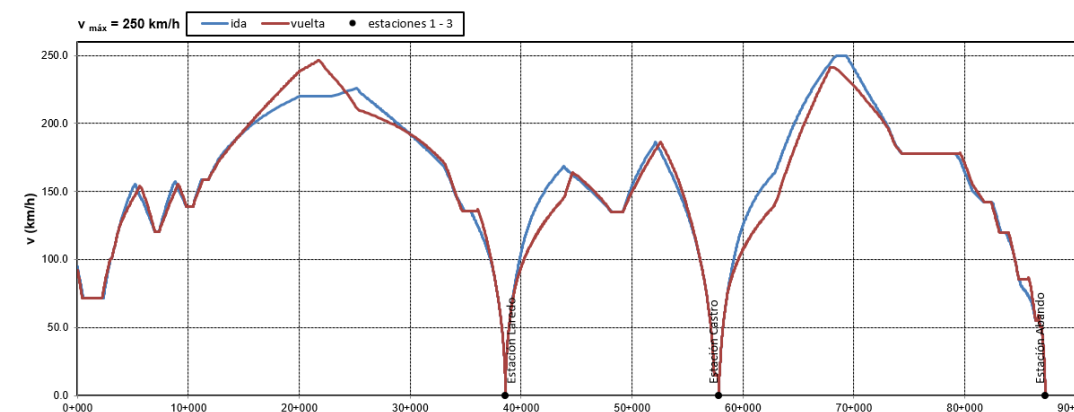


Imagen 9: Escenario 3, perfil de velocidad de los trenes de pasajeros por la alternativa A1

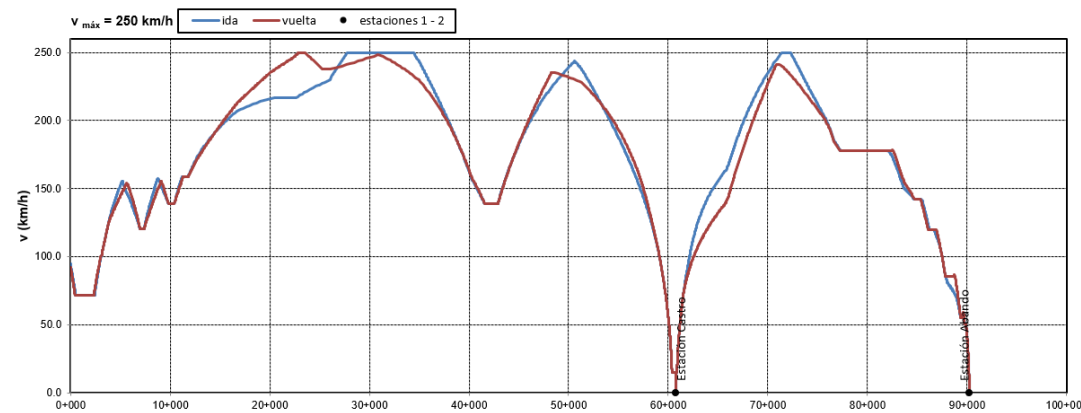


Imagen 10: Escenario 3, perfil de velocidad de los trenes de pasajeros por la alternativa C1

De este modo obtenemos las siguientes potencias medias demandadas por tren para la tracción, sin incluir auxiliares:

Para la alternativa de trazado A1:

- Salto de carnero Guarnizo – Bilbao Abando. Según simulación 1113 kWh en 46 m 39 s (0,78 h), equivale a una potencia media de:

$$\frac{1113 \text{ kWh}}{0,78 \text{ h}} = 1432 \text{ kW}$$

- Bilbao Abando – Salto de carnero Guarnizo. Según simulación 1182 kWh en 47 m 08 s (0,79 h), equivale a una potencia media de:

$$\frac{1182 \text{ kWh}}{0,79 \text{ h}} = 1505 \text{ kW}$$

Añadiendo auxiliares e incluyendo las pérdidas de tracción y catenaria, obtenemos:

$$\frac{(1432 + 400) \times 3 + (1505 + 400) \times 3}{0,9 \times 0,97} = 12842 \text{ kVA}$$

Para la alternativa de trazado C1:

- Salto de carnero Guarnizo – Bilbao Abando. Según simulación 1110 kWh en 39 m 58 s (0,67 h), equivale a una potencia media de:

$$\frac{1110 \text{ kWh}}{0,67 \text{ h}} = 1666 \text{ kW}$$

- Bilbao Abando – Salto de carnero Guarnizo. Según simulación 1209 kWh en 40 m 09 s (0,67 h), equivale a una potencia media de:

$$\frac{1209 \text{ kWh}}{0,67 \text{ h}} = 1807 \text{ kW}$$

Añadiendo auxiliares e incluyendo las pérdidas de tracción y catenaria, obtenemos:

$$\frac{(1666 + 400) \times 3 + (1807 + 400) \times 3}{0,9 \times 0,97} = 14684 \text{ kVA}$$

Entre las dos alternativas de trazado, la potencia media total más demandante es del 14,68 MVA.

2.6.4. Dimensionamiento sin respaldo desde la VSF

Tras obtener las demandas de potencias de los tres escenarios, se propone el siguiente dimensionamiento. En este caso no se contempla el respaldo desde la VSF o la “Y” Vasca ni en situación degradada.

- Interdistancia máxima aproximada entre subestaciones: 50 km
- Número de subestaciones: 2, cada una en los dos extremos de la línea (ubicaciones TC 1 y TC 2)
- Zonas neutras de separación de fases: 5 (2 de subestación, 1 de cambio de tensión en el acceso a Santander, 1 intersubestación y 1 con la VSF)
- Potencia unitaria de las subestaciones: 2 x 30 MVA
- Interdistancia máxima aproximada entre centros de autotransformación: 15 km
- Número de centros de autotransformación: 5 (2 ATI y 3 ATF)
- Potencia unitaria de los centros: 1 x 10 MVA o 2 x 10 MVA con separación de fases

En la siguiente imagen se muestra la configuración del dimensionamiento propuesto con dos subestaciones de tracción.

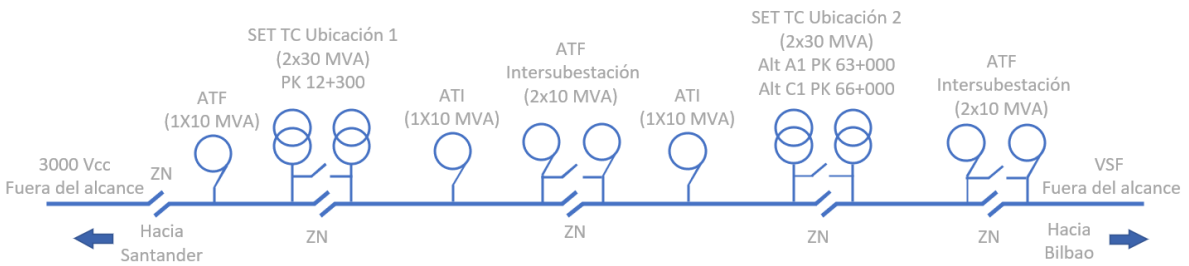


Imagen 11: Configuración para ambas alternativas de trazado sin refuerzo desde la VSF

2.6.5. Dimensionamiento con respaldo desde la VSF

En este caso se contempla la posibilidad de respaldar desde la VSF o la “Y” Vasca en situación degradada, siempre y cuando el análisis mencionado en el apartado 2.6.2. concluya la viabilidad de esta opción.

- Interdistancia máxima aproximada entre subestaciones: 70 - 90 km
- Número de subestaciones: 1
- Zonas neutras de separación de fases: 3 (1 de subestación, 1 de cambio de tensión en el acceso a Santander y 1 con la VSF)
- Potencia unitaria de las subestaciones: 2 x 30 MVA
- Interdistancia máxima aproximada entre centros de autotransformación: 15 km
- Número de centros de autotransformación: 5 (3 ATI y 2 ATF)
- Potencia unitaria de los centros: 1 x 10 MVA o 2 x 10 MVA con separación de fases.

En las siguientes imágenes se muestran las configuraciones posibles para el dimensionamiento propuesto con una subestación de tracción.

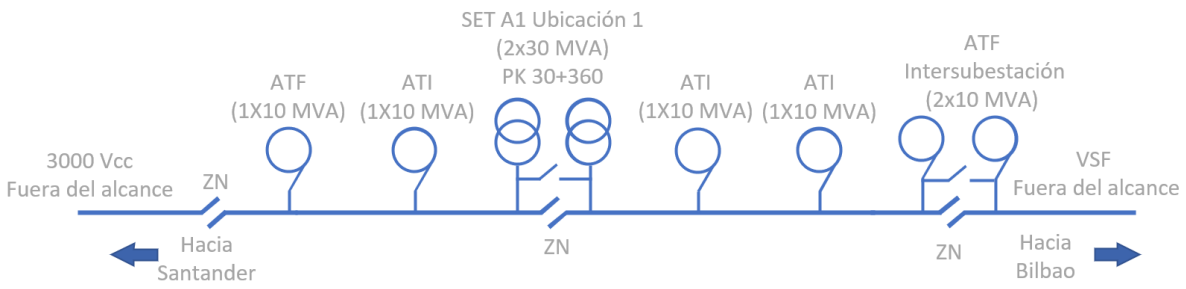


Imagen 12: Ubicación 1 para la alternativa A1 de trazado con refuerzo desde la VSF

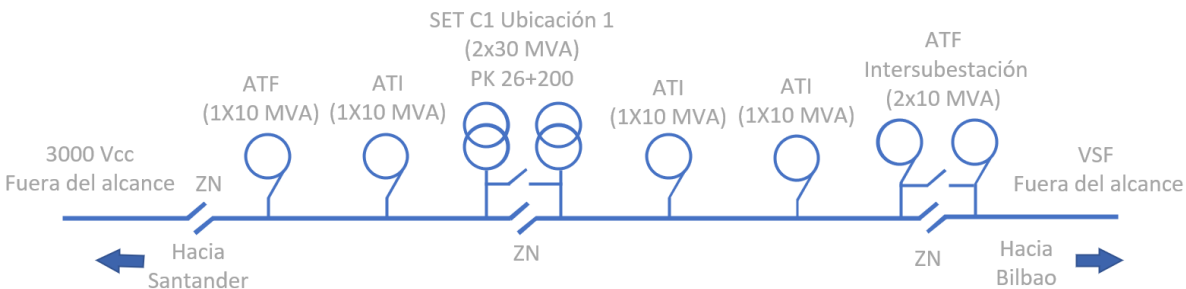


Imagen 13: Ubicación 1 para alternativa C1 de trazado con refuerzo desde la VSF

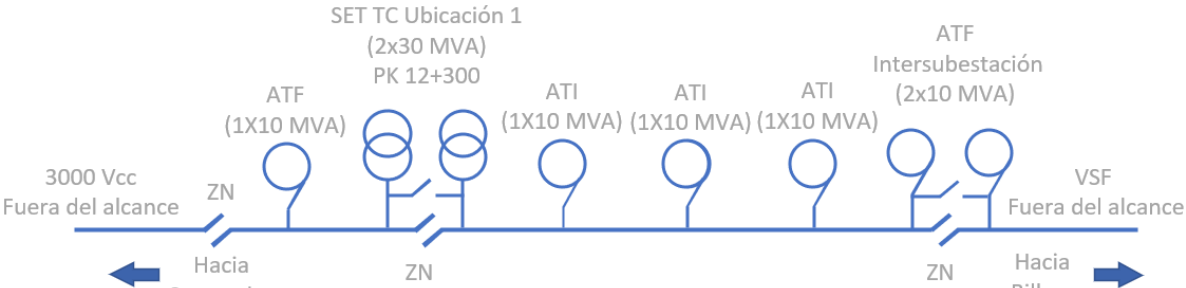


Imagen 14: Ubicación TC 1 para ambas alternativas de trazado con refuerzo desde la VSF

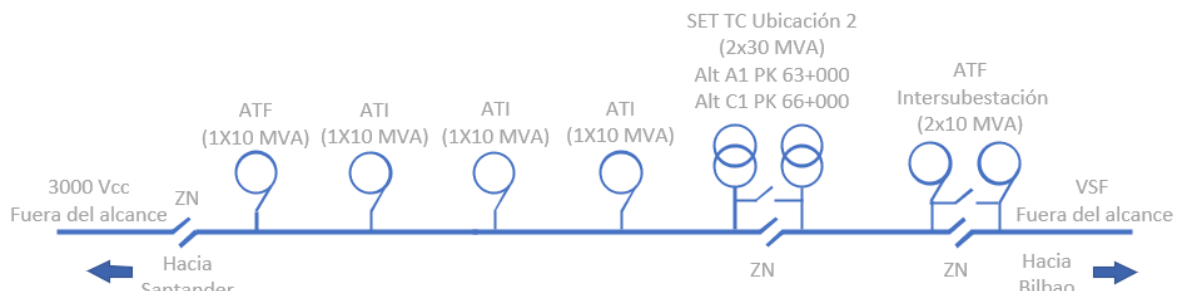


Imagen 15: Ubicación TC 2 para ambas alternativas de trazado con refuerzo desde la VSF

2.6.6. Alternativas de ubicación de subestaciones

Tras considerar el dimensionamiento y los posibles puntos de conexión con la Red de Transporte, se procedió al estudio del entorno de la ubicación inicial de las subestaciones con el fin de elegir la más adecuada de acuerdo con los siguientes criterios:

- Su proximidad al posible punto de conexión, y con ello la minimización de:
 - La inversión en tendido de nuevas líneas eléctricas de alta tensión.
 - La longitud de dichas líneas y, por consiguiente, el impacto ambiental producido por ellas.
- La mejor adecuación a la orografía del terreno de la superficie estimada para cada subestación, y al tipo de trazado de la plataforma ferroviaria: túnel, viaducto, desmonte/terraplén.
- Posibilidad de accesos existentes o los caminos de servicio asociados al tramo ferroviario.

Suponiendo que existen posibilidades reales de suministro de energía eléctrica en todos los posibles puntos de conexión estimados como tales (deberán confirmarse con el Gestor de la Red de Transporte REE), y por aplicación de los anteriores criterios, se establecieron las alternativas de ubicación de las subestaciones pertenecientes a la opción de alimentación 2 x 25 kV.

Se proponen cuatro ubicaciones para localizar las subestaciones eléctricas de tracción. Dependiendo de la posibilidad de respaldo en caso de situación degradada, solo se requerirán una o dos subestaciones. Las alternativas para ubicarlas se basaron en los siguientes criterios:

- Menor número de subestaciones
- Mayor número de subestaciones a pie de vía
- Menor longitud de tendido de nuevas líneas eléctricas de alta tensión
- Menor impacto ambiental de las nuevas líneas eléctricas de alta tensión

- Menor valor estimado de la inversión
- Mayor fiabilidad
- Grado de independencia de los cantones colaterales
- Capacidad para alimentar cantones colaterales.

Corredor	Denominación	Ubicación subestación	Punto de conexión	Distancia línea acometida	Municipio
Tramo A1	A1 Ubicación 1	P.K. 30+360	Línea CICERO – SOLÓRZANO 220 kV	2,3 km	Bárcena de Cicero
Tramo C1	C1 Ubicación 1	P.K. 26+200	Línea CICERO – SOLÓRZANO 220 kV	2,8 km	Voto / Regolfo
Tramo Común	TC Ubicación 1	P.K. 12+300	Subestación del ASTILLERO 220 kV	7 km	Marina de Cudeyo
Tramo Común	TC Ubicación 2	A1: P.K. 63+000	Línea PENAGOS – GÜEÑES 400 kV	1,7 km	Castro Urdiales
		C1: P.K. 66+000			

- Las ubicaciones minimizan el impacto ambiental de las nuevas líneas.
- En cuanto al grado de fiabilidad, se concluyó que las diferentes alternativas presentan grados de fiabilidad similares, al conectarse todas ellas a la red de transporte.

De la comparación de las propuestas planteadas, se dedujo:

- Por potencia sería suficiente con una sola subestación para cada alternativa de corredor (incluyendo los tramos comunes).
- Para disponer de redundancia N-1 en caso de situación degradada sin refuerzo desde la VSF, la configuración recomendada es de dos subestaciones de tracción; una en cada extremo de la línea (ubicaciones TC 1 y TC 2).
- Si se dispusiera de refuerzo en caso de N-1 desde la VSF, se podría prescindir de una subestación, pudiendo ubicar la única subestación en cualquiera de las cuatro localizaciones. En este caso, las ubicaciones intermedias mejorarían ligeramente la caída de tensión.
- En todos los casos las subestaciones se ubican a pie de vía.

3. INSTALACIONES DE SEGURIDAD Y COMUNICACIONES

3.1. Introducción

Las instalaciones de seguridad que se dispongan en el tramo Bilbao - Santander del corredor de altas prestaciones Cantábrico-Mediterráneo, deberán permitir la circulación a velocidades de 250 km/h y la explotación en toda su longitud en vía doble banalizada.

La absoluta seguridad y protección que se exige a la circulación ferroviaria se ve incrementada en el caso de la alta velocidad dado que los tiempos de reacción, tanto de los equipos como del personal humano, implican mayores distancias recorridas, lo que influye en las longitudes de frenado o en la apreciación de la señalización lateral, por ejemplo.

Por ello este tipo de circulaciones necesita un sistema de señalización que integre los enclavamientos de la línea junto con el sistema de ayuda a la conducción (conducción automática).

El sistema constará de un Puesto Central de Control desde el que se gobernará la totalidad de la línea mediante el telemando de señalización.

La línea estará dotada de las instalaciones de seguridad y comunicaciones para la circulación a las velocidades de diseño. En el tramo objeto de estudio se instalará un Bloqueo Automático Banalizado (BAB)

El sistema ATP (*Automatic Train Protection*) de protección automática del tren establecido será el estándar europeo ERTMS/ETCS (*European Railway Traffic Management System / European Train Control System*). Este sistema debe permitir la interoperabilidad técnica, normalizando las funciones de control y protección del tren y las interfaces de intercambio de información entre el tren y la infraestructura de la vía.

El sistema estará respaldado por un sistema ASFA Digital (Aviso de señales y frenado automático) que permite velocidades de hasta 200 km/h.

Se pueden enumerar los diferentes elementos que componen las instalaciones de seguridad y comunicaciones en la línea:

- Señalización:
 - Enclavamientos electrónicos
 - Bloqueos Automáticos Banalizados.
 - Sistemas de Protección Automática de Trenes (ATP) y Conducción Automática de Trenes (ATO).
 - Telemandos de las instalaciones de Señalización.
- Telecomunicaciones:
 - Red de Transmisión por fibra óptica
 - Red GSM-R
 - Radiocomunicación Tren-Puesto Central (Tren-Tierra).
 - Sistemas de Telefonía y datos.
 - Sistemas de información al viajero.
 - Telemando
 - Dispositivos de vigilancia
 - Sistemas de seguridad (contraincendios, robos, CCTV, control de accesos, etc.).
 - Adquisición de datos de instalaciones auxiliares

En este apartado se describen cada uno de los sistemas y sus funciones más características.

3.2. Instalaciones de seguridad

Denominamos Instalaciones de Seguridad el conjunto de sistemas que permiten el movimiento de las circulaciones tanto en el interior de las estaciones como en los trayectos entre las mismas.

Las instalaciones de seguridad ferroviaria tradicionales están formadas básicamente por:

- Enclavamientos.
Son los sistemas de seguridad encargados de mover las circulaciones dentro del límite de una estación, entre las señales de entrada.
- Bloqueos.

Son los sistemas encargados de controlar con total seguridad los recorridos entre estaciones. En nuestro caso se debe instalar un Bloqueo Automático Banalizado, que permite circular en ambos sentidos por cada una de las dos vías.

Para líneas de velocidades superiores a 160 km/h es necesario incrementar los sistemas de seguridad con elementos que impidan el error humano del maquinista ya que los tiempos de reacción tanto de los equipos como del personal y los problemas de apreciación de la señalización lateral implican recorrer grandes distancias, lo que obligaría a aumentar las longitudes de frenado a cantidades inadmisibles. Estos elementos se denominan Protección Automática de Trenes (ATP).

El ATP puede complementarse con un sistema de Operación Automática de Trenes (ATO) que permite la conducción automática sin intervención del maquinista.

3.2.1. Enclavamientos y bloqueos

En todas las estaciones, PAET (Puestos de Adelantamiento y Estacionamiento de Trenes), y PIB (Puestos Intermedios de Banalización), se instalarán enclavamientos electrónicos.

Los enclavamientos electrónicos están formados por:

- Equipos Centrales de Seguridad.
Constituyen el núcleo principal del enclavamiento. En la estructura general básica del enclavamiento electrónico central se distinguen tres niveles:
 - Nivel Superior
Equipos de entrada y salida de datos encargados de la interrelación hombre/sistema. Estará formado por visualizadores de datos (monitores normalmente) y teclados para las comunicaciones de movimientos, itinerarios, etc. Puede ser a nivel local o a nivel central, mediante un sistema de telemando.

La operación del sistema debe ser de una sencillez tal que evite, en lo posible, los errores en la introducción de datos, debiendo el operador

disponer en todo momento de la información que precise para confirmar el correcto funcionamiento de su actuación.

- Nivel Central
Constituye el núcleo principal del sistema. En éste radica la lógica de seguridad del enclavamiento. Supervisará las condiciones de explotación y situación del servicio, asegurando que no se produce ninguna situación contra la seguridad.
- Nivel Inferior
Son elementos que sirven de enlace con los elementos de campo (señales, agujas, circuitos de vía). También se incluyen aquí las comunicaciones de seguridad con los enclavamientos colaterales.

La transferencia de información en los tres niveles deberá demostrar una muy alta seguridad y fiabilidad. A fin de garantizar la disponibilidad del sistema, deben tomarse las medidas necesarias (duplicación de elementos fundamentales, etc.) encaminadas a que el sistema permita al menos un fallo sin verse afectado en su totalidad, incluso la duplicación del cable de transmisión entre enclavamientos o utilización como ruta alternativa de un sistema de comunicaciones existente. Estos equipos se ubican en los Edificios Técnicos de cada Puesto.

- Detectores de presencia de tren, realizados con circuitos de vía de audiofrecuencia.

Envían al enclavamiento información de la situación del tren. Son elementos de seguridad.
- Accionamientos eléctricos de los desvíos, con el adecuado secuenciamiento para mover el espadín.

Cada desvío lleva un número determinado de accionamientos eléctricos. Para los desvíos de alta velocidad se han considerado 8 motores.

- Señales laterales (señal de entrada, salida, maniobra, etc.).
- Red de zanjas, canalizaciones y cables que une cada elemento de campo con los equipos del Edificio Técnico.

Los bloqueos banalizados se realizan entre enclavamientos colaterales. Son de tipo centralizado, es decir, la lógica está en los propios enclavamientos y se utilizan protocolos de comunicaciones de seguridad utilizando los medios de transmisión disponible. A lo largo de la vía se instalan detectores de presencia de tren realizados con circuitos de vía de audiofrecuencia. El tratamiento de la vía a nivel de explotación es como si fuesen dos vías únicas. Toda la infraestructura está separada por vía, es decir, existe una doble red de canalizaciones y una doble red de cables.

3.2.2. Telemando

Todas las instalaciones de señalización se telemandan desde un Puesto Central.

El Puesto Central se comunica con cada puesto a través de los sistemas de transmisión existentes con rutas alternativas para aumentar la fiabilidad del conjunto.

La función básica es el seguimiento de los trenes (que trenes y donde están). Sobre esta base se elaboran horarios, itinerarios automáticos, etc.

El sistema central se compone de una red de ordenadores duplicados por fiabilidad que se encargan de forma distribuida de las funciones de:

- Comunicaciones.
- Proceso de datos.
- Representación de imágenes

La información que se representa en los puestos de operador son básicamente las siguientes:

- Representación esquemática de la línea, donde se dibujan todos los circuitos de vía, aparatos de vía y señales.
- Ocupación de vías.
- Itinerarios establecidos.
- Indicaciones de las señales.
- Número del tren.

- Desviaciones respecto a horario.
- Rotulación de todos los elementos.

En el Puesto Central además del telemando de las instalaciones de señalización se integran los siguientes sistemas:

- Telemando del sistema de alimentación consumidores en línea.
- Terminal del sistema de Conducción Automática.
- Sistema de detección de cajas calientes.
- Sistema de Teleindicadores, megafonía, CCTV.
- Sistema de Radio Comunicaciones con el tren.
- Alarmas (contraincendios, intrusismo, obstáculos en la vía, etc.).

3.2.3. Protección automática de tren (ATP)

Como ya hemos mencionado en la introducción, cuando las velocidades de circulación superan los 160 km/h es necesario complementar las instalaciones de seguridad convencionales con un sistema de ayuda al maquinista que evite fallos de reacción que pueden ir contra la seguridad.

El Sistema de Protección Automática de Tren (ATP) es también un sistema de seguridad (tanto a nivel de las instalaciones fijas como del material rodante). Permite mediante señalización directamente en cabina que el maquinista disponga en su pupitre de control de todos los datos que necesita para la conducción con total garantía de seguridad.

El maquinista conduce guiado por la información que recibe. Todas sus actuaciones están supervisadas por un sistema de seguridad, impidiendo que éstas vayan contra las condiciones de seguridad.

El ATP puede completarse con un sistema de conducción automática (ATO). Las actuaciones sobre el material rodante son realizadas por un “autómata” que sigue las indicaciones que recibe del ATP. A nivel de vía hay que reforzar las instalaciones de ATP con sistemas de precisión del punto de parada.

El sistema de ATP que debe instalarse será del tipo de supervisión continua y transmisión continua. Son válidos sistemas que utilizan bucles de cable o los propios circuitos de vía como medio de comunicaciones entre la vía y el tren. Las indicaciones mínimas que debe recibir el maquinista del ATP son:

- Distancia meta. Distancia a la que se encuentra el próximo punto de parada o de reducción de velocidad.
- Velocidad meta. Velocidad que deberá llevar el tren cuando haya recorrido la distancia que se le indica como distancia meta.
- Velocidad real.
- Límite de velocidad. Es la velocidad máxima a que debe ir en cada momento. Mediante este límite, se le indica al maquinista la curva de aceleración o frenado que debe seguir cuando se produce un cambio en su velocidad meta.

Las características específicas del ATP deben ser:

- Vista eléctrica al maquinista de al menos 10 Km de vía por delante.
- Apertura automática de puertas cuando el tren se encuentra parado en un lugar correcto.
- Aumentar la capacidad de la línea llevando los trenes separados por su distancia de frenado.
- Control de disyuntores y pantógrafos al aproximarse el tren a una zona de cambio de fase o tensión.
- Corrección de deslizamiento.
- Curvas de frenado individuales para cada tren.
- Parada de emergencia en vía contraria en caso de que un maquinista observe un obstáculo que pueda impedir la marcha en la vía contraria.

El sistema de ATP debe disponer de los siguientes datos:

- Curvas, viaductos, pendientes y rampas.
- Túneles y zonas de atmósfera contaminada.
- Zonas de cambio de fase o tensión.
- Posición exacta y longitud de tren.
- Tipo de tren con su curva de frenado y el porcentaje peso freno.
- Posición de agujas, otros trenes e indicación de señales.

La gestión del sistema de ATP se centraliza en el Puesto Central de Control y se relaciona directamente con el telemando de señalización.

A través de la gestión centralizada se pueden variar las marchas tipo de los trenes adaptándolas a los horarios comerciales, actualizar las condiciones de circulación (límites de velocidad, etc...), modificar los puntos de parada y recibir alarmas del sistema.

El sistema ATP (*Automatic Train Protection*) de protección automática del tren establecido será el estándar europeo ERTMS/ETCS (*European Railway Traffic Management System / European Train Control System*). Este sistema debe permitir la interoperabilidad técnica, normalizando las funciones de control y protección del tren y las interfaces de intercambio de información entre el tren y la infraestructura de la vía

Los distintos niveles ETCS/ERTMS se diferencian en los medios de transmisión y detección empleados:

- El nivel 1 del ERTMS, European Railway Traffic Management System. En este sistema los trenes son detectados por circuitos de vía. La información del estado de las señales es transmitida de forma puntual a los trenes a través de las Eurobalizas. Utilizando el Euroloop o la radio infill, es posible adelantar posibles cambios en el aspecto de la señal precedente para evitar la entrada de la curva de frenado cuando la señal cambia a un aspecto permisivo.

- El nivel 2 emplea como sistema de transmisión principal el sistema GSM-R y Eurobalizas. La detección del tren sigue recayendo en circuitos de vía por lo que el cantonamiento es fijo. La Eurobaliza sólo transmite información pasiva (punto kilométrico, gradiente de la vía, etc.), siendo la información de seguridad relativa al cantonamiento transmitida a través de la red GSM-R.
- El nivel 3 emplea GSM-R y Eurobalizas para definir la localización a lo largo de la vía, pero la función de determinar la posición real del tren se realiza a bordo, y no en circuitos de vía, ya que la integridad del tren la asegura el propio tren. Este nivel permite la implementación de cantones móviles.

Los dos últimos niveles se basan en el uso del sistema radio tren-tierra GSM-R para asegurar los intercambios de información, y en el empleo de balizas en la vía que permitan a los trenes reubicarse periódicamente.

Con toda la información del conjunto de trenes en circulación, se hace llegar a cada uno de ellos la autorización de circular hasta la última posición transmitida a la vía por el tren precedente.

De esta forma el conductor está informado en todo momento del campo libre de que dispone delante del tren por una pantalla que le indica: velocidad de tren, velocidad máxima a no rebasar en cada instante teniendo en cuenta la distancia que le separa del tren precedente, el perfil de la línea, las posibilidades de frenado de su material, etc.

En el caso de que el conductor rebase la velocidad prescrita, un automatismo de control obliga a frenar.

Este sistema de señalización se fundamenta en un refuerzo de los intercambios de información entre tierra y tren. Las balizas deben proporcionar al tren su posición precisa en la línea. La radio debe permitir a cada tren facilitar regularmente su posición, y el equipamiento fijo actualiza, con la mayor frecuencia posible, la nueva posición del tren precedente.

Asimismo, cada tren debe proporcionar al equipamiento fijo toda la información sobre su posición y longitud. Estos equipos indicarán a cada tren la posición precisa hasta la que puede circular sin riesgo de alcanzar al tren que le precede.

Las instalaciones fijas de este nuevo sistema son mucho menos complejas que las tradicionales ya que carecen de equipamientos eléctricos a lo largo de la vía (cimientos de vía, ni paneles de señalización). Únicamente algunas balizas precisan mantenimiento, aunque no necesitan alimentación de energía ya que son telealimentadas al paso del tren.

Es necesario poner en servicio estaciones repetidoras de radio para establecer las conexiones continuas entre los móviles y tierra.

Para las características de la línea objeto de este estudio informativo, el sistema ATP de protección automática será el ERTMS Nivel 2 y un sistema ASFA Digital de respaldo.

El sistema ASFA es un sistema de control que envía a través de las balizas situadas en la vía (emisores), a pie de señal y en una posición previa a la señal, la información correspondiente al aspecto de la señal en cada momento al tren (receptor).

El sistema procesa la información procedente de las señales y la envía a los trenes utilizando para ello las balizas como medio de transmisión. El sistema embarcado utiliza esta información para generar las curvas de control correspondientes, y actúa sobre el freno cuando detecta que se está excediendo el límite de la velocidad supervisada.

Las balizas ASFA instaladas en la vía proporcionan información previa del aspecto de la señal más próxima al tren en su sentido de marcha (baliza previa) e información al paso de dicha señal (baliza de pie de señal); también envían información de las señales de Pasos a Nivel, Zonas Límite de Parada, Limitaciones de Velocidad y Cambios de Señalización (AV-CONV).

El sistema de captación del tren consiste en un circuito resonante que oscila a una determinada frecuencia (Frecuencia Permanente, FP). Cuando el captador pasa por encima de una baliza, pasa a oscilar a la frecuencia de resonancia del circuito

establecido en la baliza, con la que sintoniza mediante acoplamiento inductivo, y recibiendo así el aspecto de la señal correspondiente.

El sistema ASFA Digital proporciona una mejora respecto al tratamiento de la información proporcionada por las balizas ASFA actuales. Con el nuevo sistema ASFA se consigue aumentar el número de informaciones enviadas desde la vía para que puedan ser captadas por los nuevos equipos embarcados.

Las líneas colaterales al tramo objeto del presente estudio informativo tienen asociados diferentes proyectos y estudios informativos en los que se indica el sistema ATP utilizado en cada uno de ellos:

- Proyecto Constructivo de duplicación de vía en el tramo Renedo-Guarnizo y otras actuaciones en la línea de cercanías C-1 entre Torrelavega y Renedo: ASFA Digital
- Estudio Informativo para la reordenación de espacios en la estación de Santander: ASFA Digital
- Estudio Informativo de la Variante Sur Ferroviaria de Bilbao: ASFA Digital
- Estudio Informativo de la nueva red ferroviaria del País Vasco. corredor de acceso y estación de Bilbao-Abando: ERTMS Nivel 2 (ASFA Digital como sistema de respaldo)

3.2.4. Suministro de energía

Las instalaciones de seguridad y comunicaciones necesitan un suministro de energía de alta disponibilidad.

En cada puesto de explotación, donde se centralizan la gran mayoría de los equipos, debe existir una alimentación desde la catenaria, una alimentación auxiliar de la red pública y una SAI para los equipos considerados de emergencia.

En caso de no existir red pública en un puesto, deberá disponerse un equipo electrógeno como alimentación auxiliar.

3.3. TELECOMUNICACIONES

Tanto la operatividad, como las características que definen una línea de alta velocidad, marcan el diseño de las telecomunicaciones que deben instalarse.

La automatización y centralización de los sistemas que gobiernan y controlan la línea se apoyan en los sistemas integrales de telecomunicaciones. Este hecho impone una ingeniería con un alto grado de disponibilidad que debe conseguirse con técnicas de redundancias (equipos, medios físicos, enlaces, transmisión).

3.3.1. Infraestructura

Debe existir una infraestructura redundante en la red de canalizaciones para independizar la explotación de las dos vías. Las telecomunicaciones utilizarán esta misma infraestructura para diseñar sus medios redundantes.

Se tenderán dos cables de fibra óptica (una por cada canalización) en un mínimo de 64 fibras ópticas cada uno de ellos. Este cable será accesible en todos los puestos de explotación (estaciones, PAET y PIB).

Además, se instalarán dos cables de conductores de cobre agrupados en pares o cuadretes que servirán como rutas alternativas para determinados servicios y como soporte de sistemas repartidos por los trayectos (Tren-Tierra, Detectores de ejes calientes, detectores de obstáculos, detección de intrusos, etc.).

3.3.2. Transmisión

Como sistema de transmisión troncal (backbone) que soporte todas las necesidades de comunicaciones se deberá instalar un sistema SDH (Jerarquía Digital Síncrona) utilizando como soporte la fibra óptica.

Se considerará equipar el SDH con un STM-4 (Módulo de transmisión síncrona de nivel 4) de 622 Mbs de velocidad, que permite transportar 252 tramas de 2 Mbs (30 canales telefónicos), es decir, un equivalente a 7.560 canales telefónicos.

Sobre este sistema troncal se insertarán con los interfaces adecuados los principales servicios que se requieran (por ejemplo, redes de datos WAN, ATM, FRAME

RELAY), enlaces entre centralitas automáticas, canales de datos de servicios de explotación (Telemandos, Venta de billetes, etc.).

Las informaciones de las instalaciones que se encuentran en el trayecto entre los puestos con equipos técnicos se transmitirán hasta los mismos a través de los cables de cobre.

3.3.3. Telefonía automática

La gestión de la explotación a nivel de telefonía estará basada en la utilización de Centrales Telefónicas Digitales, a través de las cuales se darán los servicios de:

- Telefonía de Explotación. Entendiendo como tal los servicios que caracterizan la operación ferroviaria: telefonía selectiva, circuitos de la vía, escalonado, teléfonos de señal, etc.
- Telefonía de Administración. Red de telefonía automática privada enlazada con los operadores públicos.
- Megafonía de aviso a viajeros.

Las centrales digitales se enlazarán entre sí, a través del sistema de transmisión digital, con una estructura mallada en forma tal que asegure la máxima fiabilidad de operación.

3.3.4. Radiotelefonía tren-tierra

Además de la telefonía automática el sistema de Gestión de la Explotación utiliza la comunicación directa entre el Puesto de Mando y el maquinista del tren vía radio.

El sistema a utilizar será el sistema digital normalizado dentro del programa ERTMS y que se denomina GSM-R.

El sistema GSM-R permite establecer las comunicaciones entre los diferentes tipos de abonados (personal de estación, equipos de maniobras, personal a bordo de las unidades, etc.) así como el control automático del tren (niveles 2 y 3 del sistema ERTMS – European Rail Traffic Management System).

Las características principales del sistema GSM-R son las siguientes:

- Bandas de frecuencias:
 - 876 – 880 MHz (uplink, comunicación del tren con tierra)
 - 921 – 925 MHz (downlink, comunicación de tierra al tren)
- Número de radiocanales: 19 (separación entre canales 200 KHz)
- Modulación GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)
- Funcionalidades:
 - Aplicaciones ferroviarias:
 - Comunicación entre controlador y maquinista
 - Control automático de trenes, mediante la implementación de ERTMS / ETCS de Nivel 2 sobre GSM-R.
 - Control remoto de equipos
 - Llamadas de maniobras
 - Difusión en zonas de emergencia
 - Comunicación entre personal de mantenimiento de vías
 - Comunicaciones ferroviarias auxiliares
 - Comunicaciones locales en estaciones y almacenes
 - Comunicaciones de larga distancia, con elementos externos a la red GSM-R: vehículos en carretera, otras redes, etc.
 - Servicios para pasajeros

El sistema GSM-R dispone también de funcionalidades específicas que se adaptan al entorno ferroviario y funcionalidades estandarizadas por ETSI que se aplican a dicho entorno:

- Funcionalidades específicas del entorno ferroviario:
 - Numeración funcional (FA). Permite contactar con un usuario o una aplicación concreta mediante un número que identifica la función asociada y no el terminal físico. Soporta incluso la visualización en el terminal del número funcional, en lugar del número MSISDN.
 - Direccionamiento dependiente de la localización (LDA). Las llamadas procedentes de un terminal móvil se pueden encaminar a un terminal destino en función de su ubicación en el momento de realización de la llamada, por ejemplo, al controlador de la zona geográfica en la cual se encuentra.
 - Filtrado por Matriz de Accesos. Esta funcionalidad permite limitar las posibilidades de conexión entre los distintos usuarios del sistema GSM-R.

- Registro de llamadas de alta prioridad. Todas las llamadas clasificadas como de alta prioridad son registradas en el sistema.
- Servicios de Telecomunicación ASCI (Advanced Speech Call Items), estandarizados por ETSI en la fase 2+ de GSM:
 - Llamadas de broadcast o difusión (VBS)
 - Llamadas de Grupo (VGCS). Permite a varios grupos y usuarios la realización de llamadas a otros miembros del mismo grupo o de otro diferente.
 - Llamadas con selección de prioridad (eMLPP). Este servicio permite la apropiación forzosa de recursos para el establecimiento de llamadas de mayor prioridad.

velocidad es el ERTMS nivel 2. El intervalo mínimo entre trenes garantizado por este sistema es de 2 minutos 30 segundos, que proporciona a la línea capacidad suficiente para acoger futuras circulaciones.

3.3.5. Datos

Como soporte para la comunicación de datos entre todos los centros deberán contemplarse nodos de conmutación (Routers) que permitan conectarse a todas las aplicaciones necesarias, por ejemplo:

- Sistemas de gestión del tráfico.
- Sistemas de gestión de las telecomunicaciones.
- Sistemas de gestión de las redes de datos.
- Teleindicadores.
- Detectores de cajas calientes.
- Redes LAN de gestión.
- Sistemas de vigilancia.

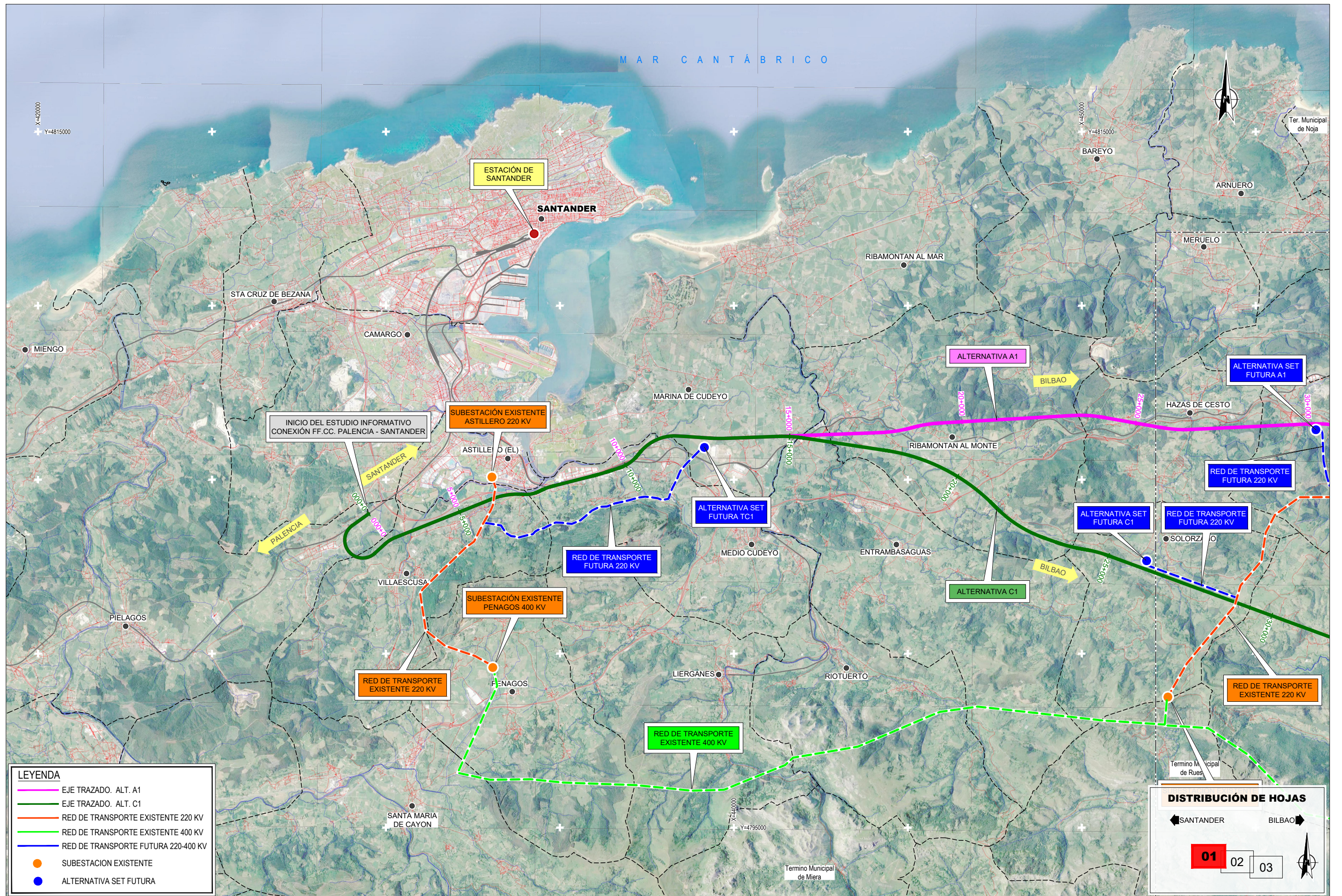
Los nodos de conmutación se conectarán al sistema de transmisión digital SDH. Los enlaces se diseñarán mallados para conseguir un alto grado de fiabilidad.

Todo el sistema de instalaciones de seguridad y comunicaciones deberá comprender todas las redundancias necesarias, para evitar, por ejemplo, que el sistema tome decisiones no seguras por una recepción de datos deficiente; incluso deberá haber equipos duplicados, uno activo y otro en reserva, en caso de avería.

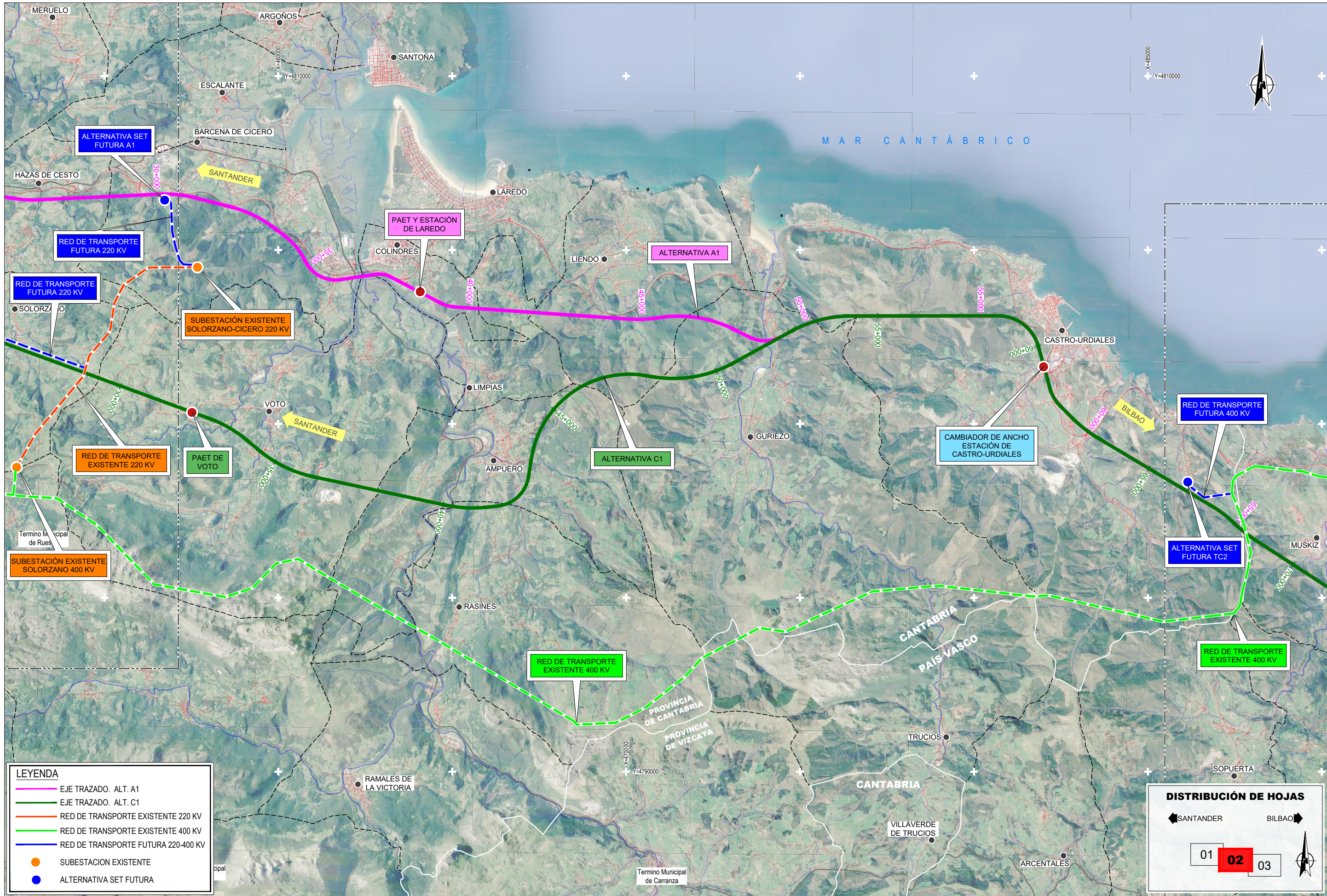
La velocidad de diseño del Corredor Cantábrico-Mediterráneo es de 250 km/h. El sistema recomendado para permitir la explotación con trenes circulando a esta

APÉNDICE 1: LOCALIZACIÓN DE SUBESTACIONES DE TRACCIÓN

UBICACIÓN: C:\Users\222260\Documents\SENER\INGENIERIA Y SISTEMAS, S.A. \USANIP\MI\07 - E/BILBAO-SANTANDER\PROJECT FILES\02 CAD\01 - WIP\F203 ANEJOS\16 INST. FERROVIARIAS\BILSAN-F20105-SIT-OR\01-PLANTAS\GRAL



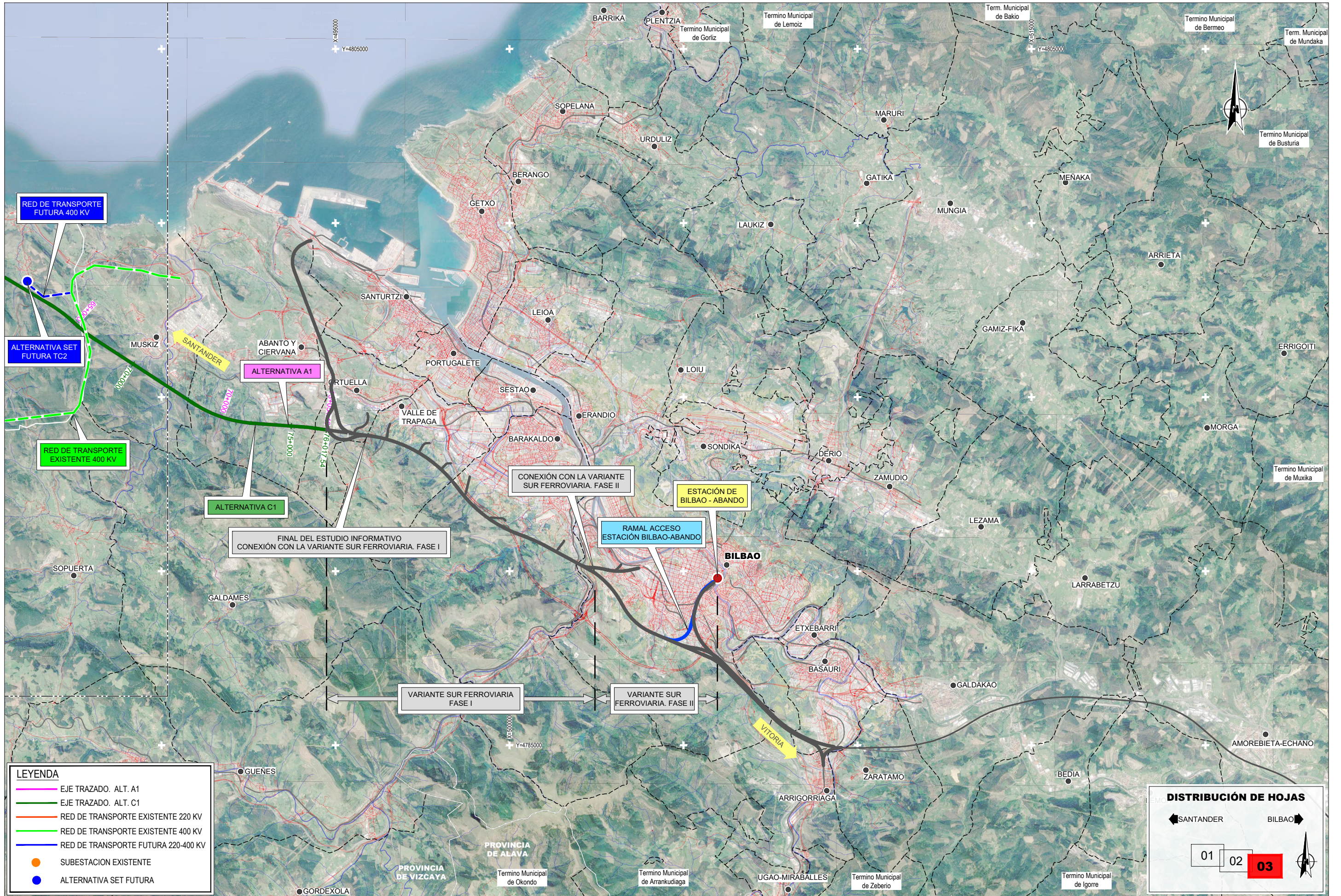
Sistema Geográfico de Referencia: European Terrestrial Reference System 1989 (Datum ETRS89) / Sistema de Proyección Cartográfica: UTM Huso 30. EPSG 25830



Sistema Geográfico de Referencia: European Terrestrial Reference System 1989 (Datum ETRS89) / Sistema de Proyección Cartográfica: UTM Huso 30. EPSG 25830

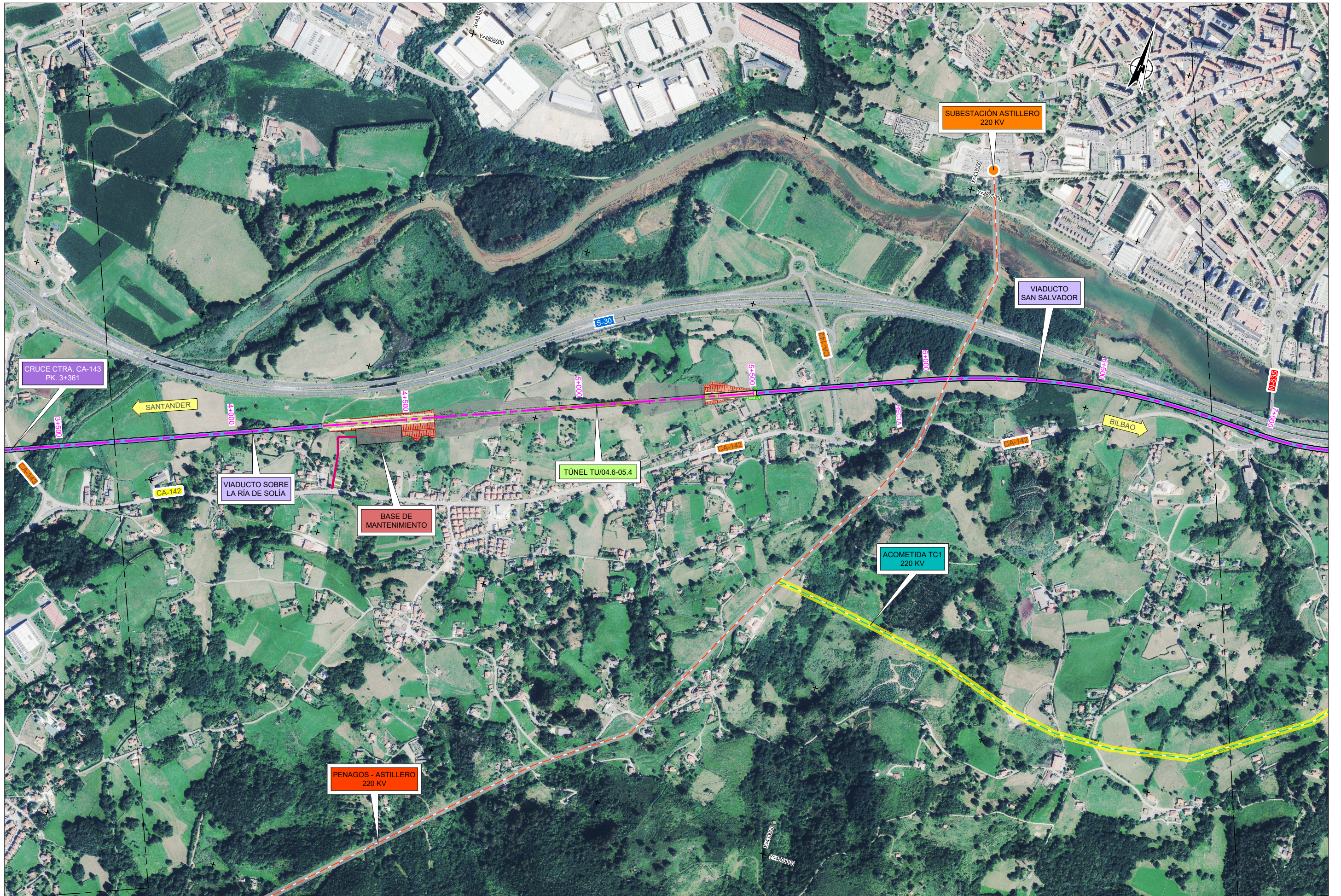
UBICACIÓN: C:\Users\20226060\Documents\SENER\INGENIERIA Y SISTEMAS, S.A. \USANIP\MI\017 - E/BILBAO-SANTANDER\PROJECT FILES\02_CAD\01 - MIP\F203 ANEJO 16 INST. FERROVIARIAS\BILSAN-F20105-SIT-OR\01-PLANTAGRAL

UBICACIÓN: C:\USERS\202260CACCOS\SENER\INGENIERIA Y SISTEMAS, S.A. \USANIP\MI\07 - E BILBAO-SANTANDER\PROJECT FILES\02_CAD\01 - MIP\F203 ANEJO16 INST. FERROVIARIAS\BILSAN-F20105-SIT-OR\01-PLANTA.GRAL



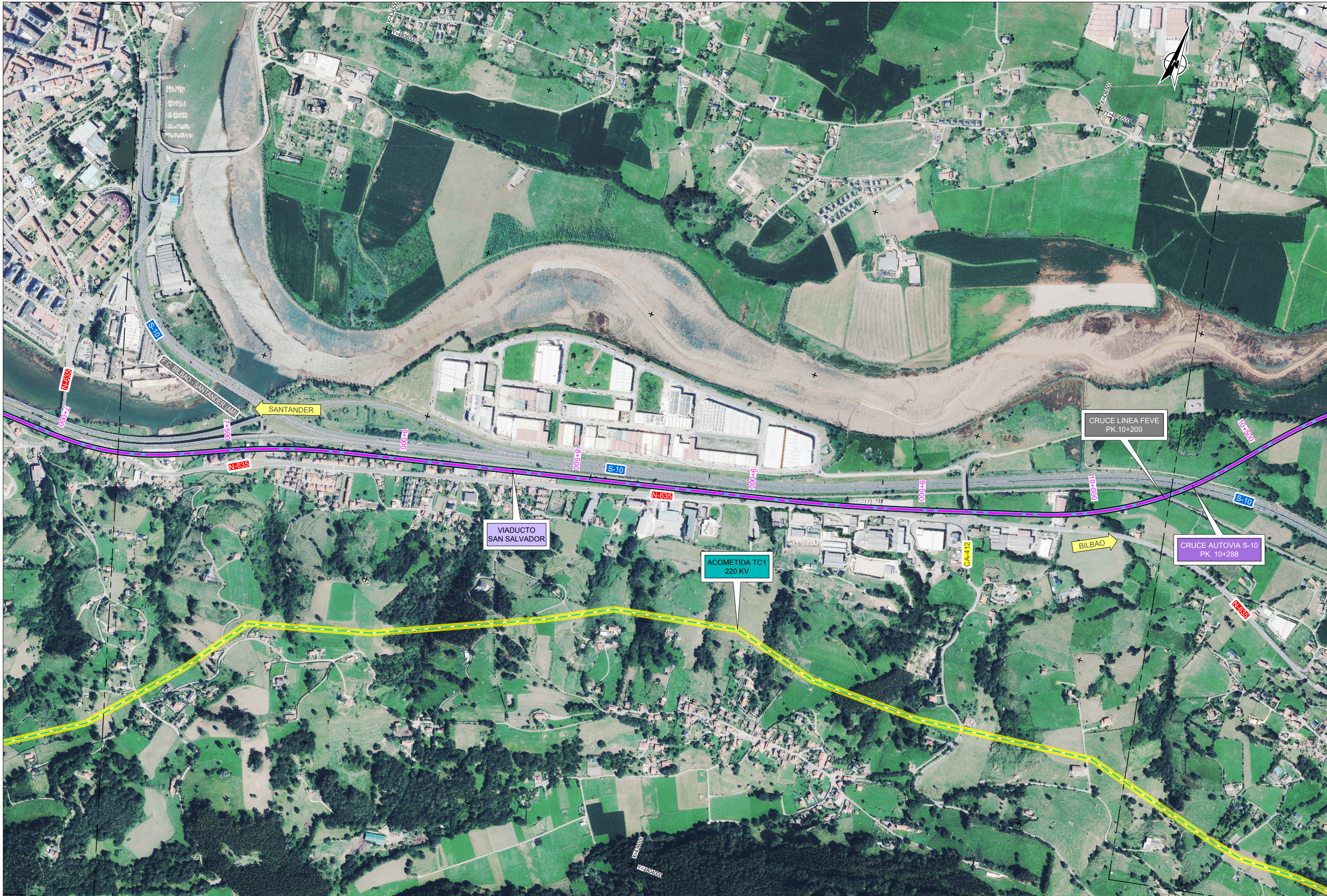
Sistema Geográfico de Referencia: European Terrestrial Reference System 1989 (Datum ETRS89) / Sistema de Proyección Cartográfica: UTM Huso 30. EPSG 25830

APÉNDICE 2: TRAZADOS DE ACOMETIDAS



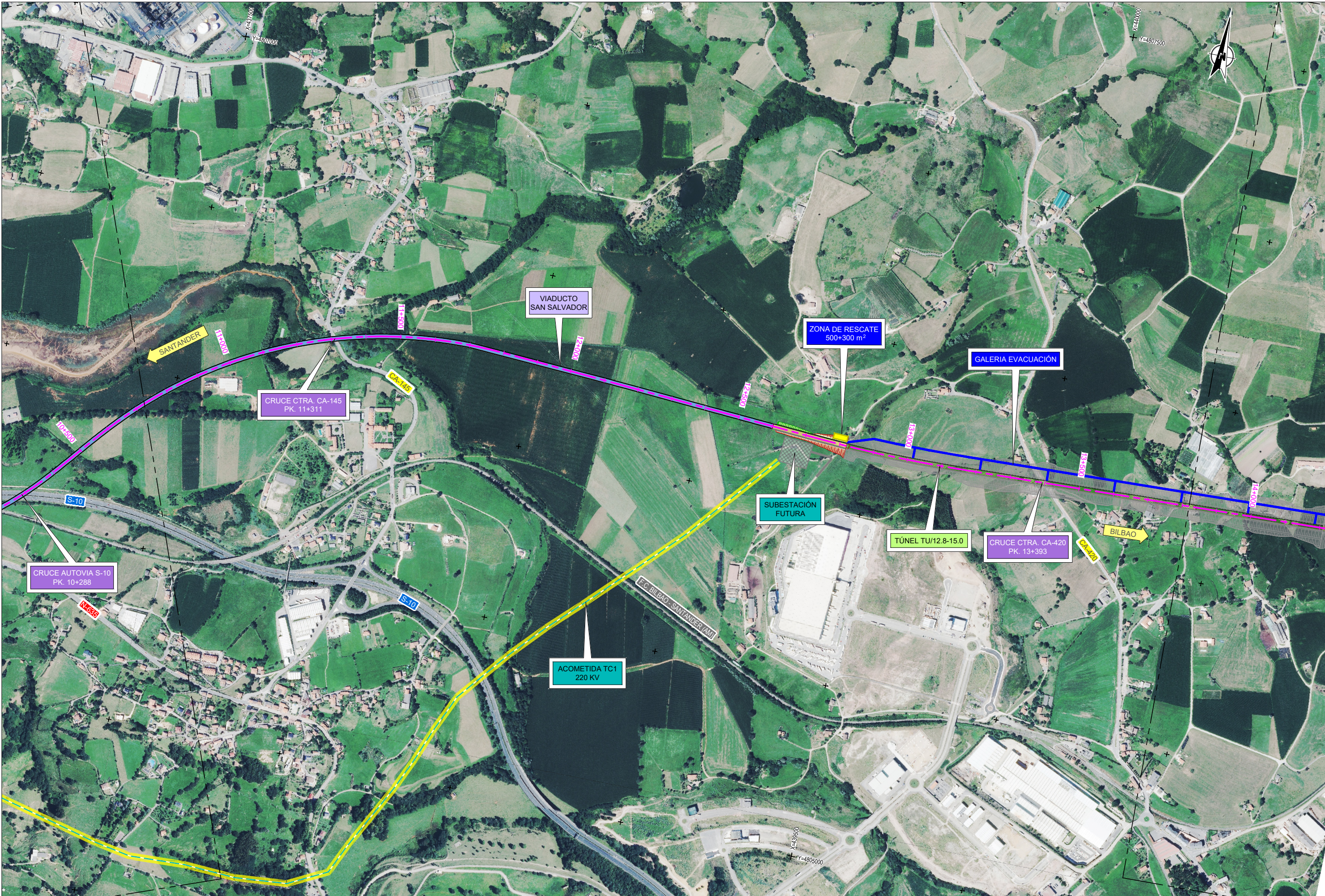
Sistema Geográfico de Referencia: European Terrestrial Reference System 1989 (Datum ETRS89) / Sistema de Proyección Cartográfica: UTM Huso 30. EPSG 25830

UBICACIÓN: C:\Users\110226826\Documents\SENER\USAP\M10\07 - El BILBAO-SANTANDER\PROJECT FILES\02_CAD01\WIP\203 ANEJO 16 INST. FERROVIARIAS\BILBAO-SANFZ-016-SET-DR-0201-ACOMETIDA TC1



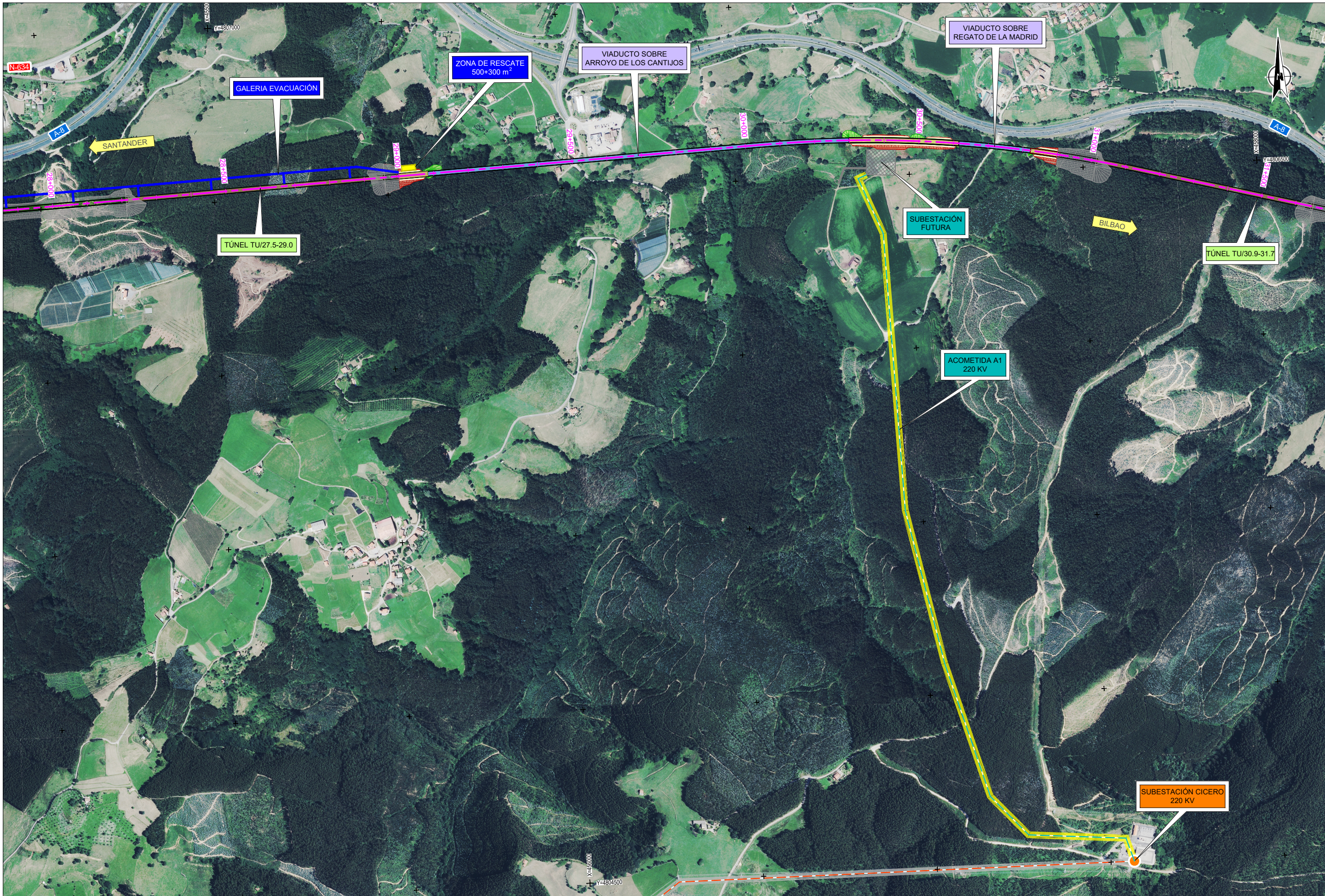
Sistema Geográfico de Referencia: European Terrestrial Reference System 1989 (Datum ETRS89) / Sistema de Proyección Cartográfica: UTM Huso 30. EPSG 25830

UBICACIÓN: C:\Users\11022626\Documents\SENER\USAP\M10\07 - EI BILBAO-SANTANDER\PROJECT FILES\02_CAD01_WIP\F203 ANEJO 16 INST. FERROVIARIAS\BILBAO\F2-016-SET-DR-0201-ACOMETIDA.TC1



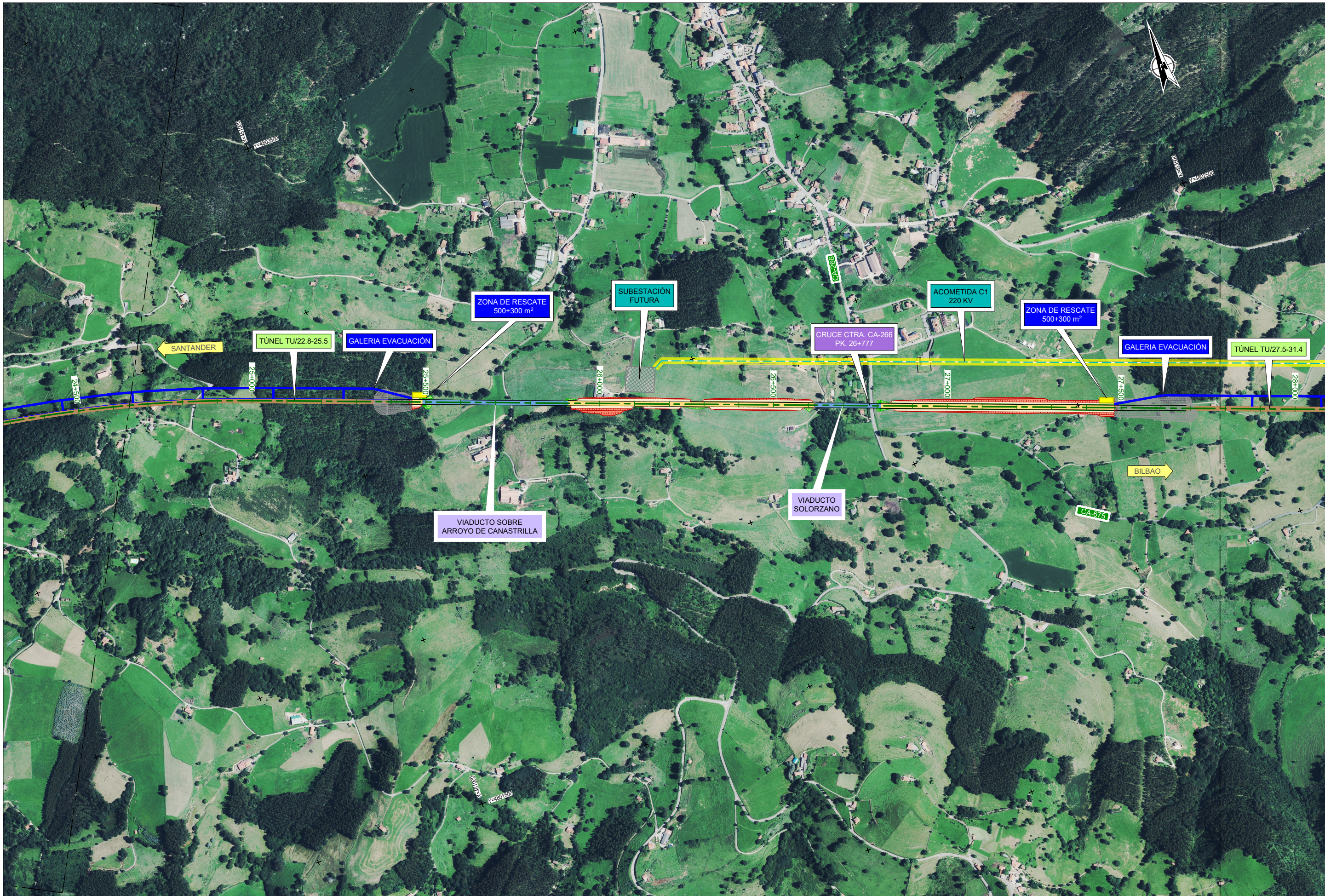
Sistema Geográfico de Referencia: European Terrestrial Reference System 1989 (Datum ETRS89) / Sistema de Proyección Cartográfica: UTM Huso 30. EPSG 25830

UBICACIÓN: C:\Users\110226826\Documents\SENER\USAP\110107 - EL BILBAO-SANTANDER\PROJECT FILES\02 CAD\01_WIP\203 ANEJOS\16 INST. FERROVIARIAS\BILBAO-F2-016-SET-DR-0201-ACOMETIDA.TC1



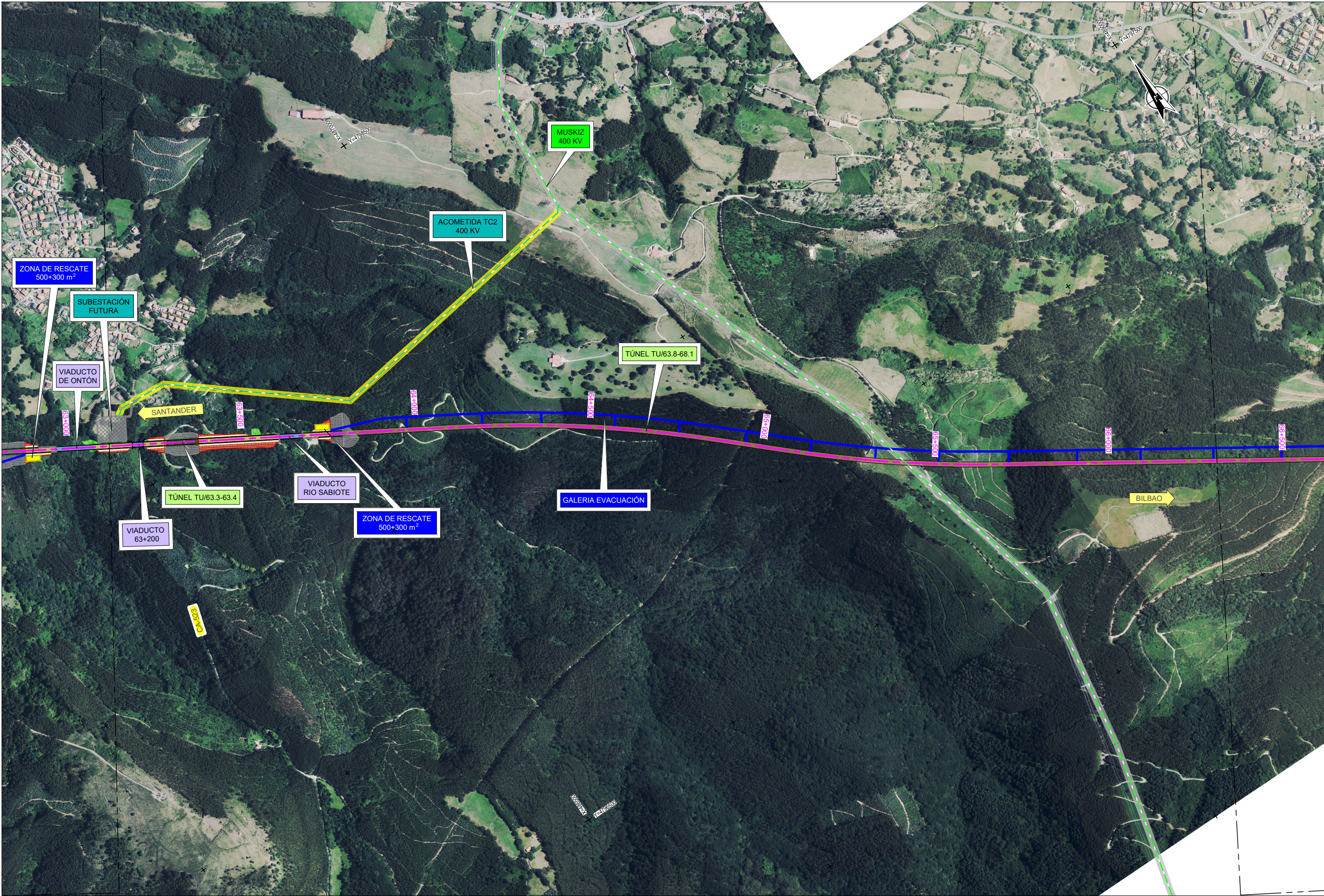
Sistema Geográfico de Referencia: European Terrestrial Reference System 1989 (Datum ETRS89) / Sistema de Proyección Cartográfica: UTM Huso 30. EPSG 25830

UBICACIÓN: C:\USERS\I2026\Documents\SENER\USAP\I2010\07 - EI BILBAO-SANTANDER\PROJECT FILES\02_CAD01_WIP\F203 ANEJO 16 INST. FERROVIARIAS\BILBAO-F2-016-SET-DR-0202-ACOMETIDA-A1



Sistema Geográfico de Referencia: European Terrestrial Reference System 1989 (Datum ETRS89) / Sistema de Proyección Cartográfica: UTM Huso 30. EPSG 25830

UBICACIÓN: C:\USERS\11022626\ACCOS\SENER_USA\PI\M10\07 - El BILBAO-SANTANDER\PROJECT FILES\02_CAD01_WIP\F203 ANEJO 16 INST. FERROVIARIAS\BILBAO-F2-016-SIT-DR-0203-ACOMETIDA C1



Sistema Geográfico de Referencia: European Terrestrial Reference System 1989 (Datum ETRS89) / Sistema de Proyección Cartográfica: UTM Huso 30. EPSG 25830

UBICACIÓN: C:\USERS\11022626\Documents\SENER\USAP\M10\07 - El BILBAO-SANTANDER\PROJECT FILES\02_CAD01\WIP\203 ANEJO 16 INST. FERROVIARIAS\BILBAO-FZ-0116-ST-DR-0204-ACOMETIDA TC2

APÉNDICE 3: SIMULACIONES DE TRACCIÓN

Alt A1_viajeros

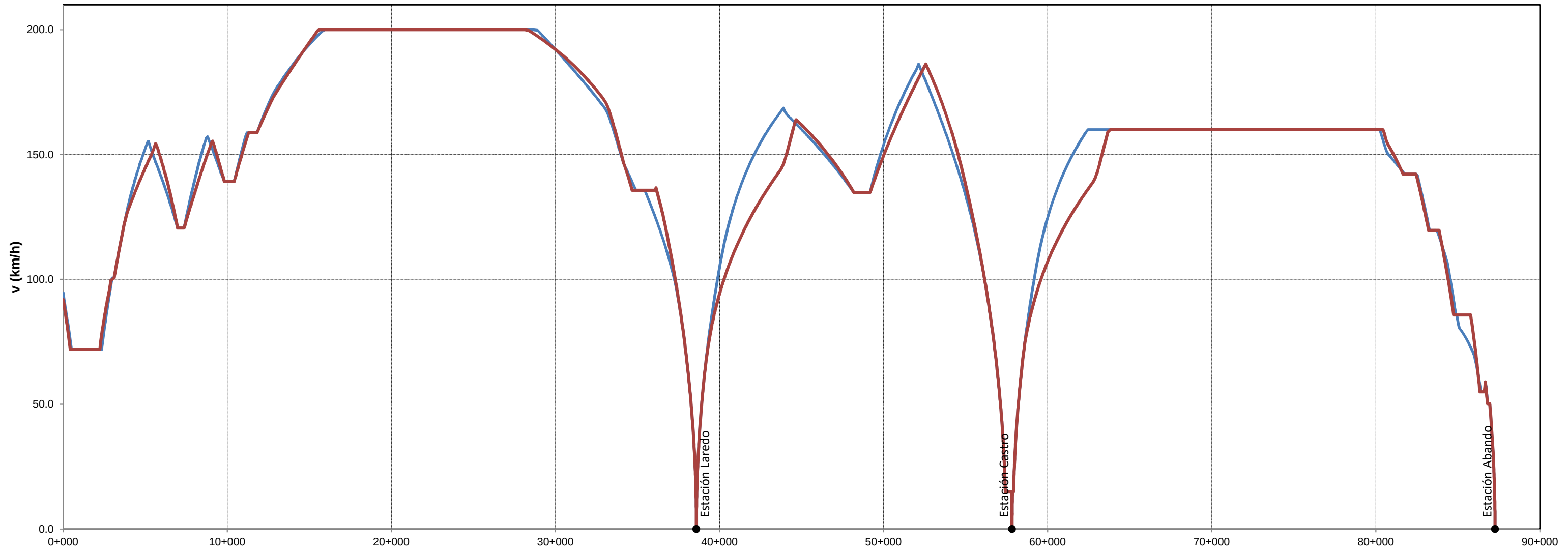
GRÁFICO DE MARCHA

— ida — vuelta ● estaciones 1 - 3

IDA
Tiempo comercial: 0:48:11
Energía consumida: 982 kWh
Velocidad comercial: 109 km/h
Distancia: 87267 m

VUELTA
Tiempo comercial: 0:48:39
Energía consumida: 1033 kWh
Velocidad comercial: 108 km/h
Distancia: 87267 m

$v_{\text{máx}} = 200 \text{ km/h}$



Perfil longitudinal

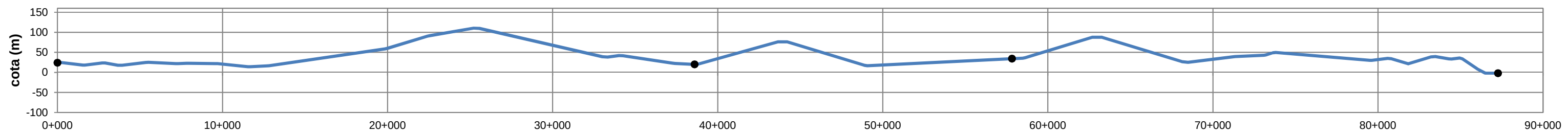
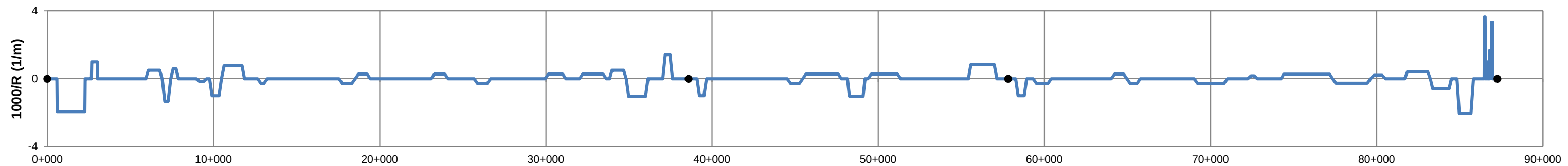


Diagrama de curvaturas (1000/R)



PK 0,000

Pk (m)

Estación Abando

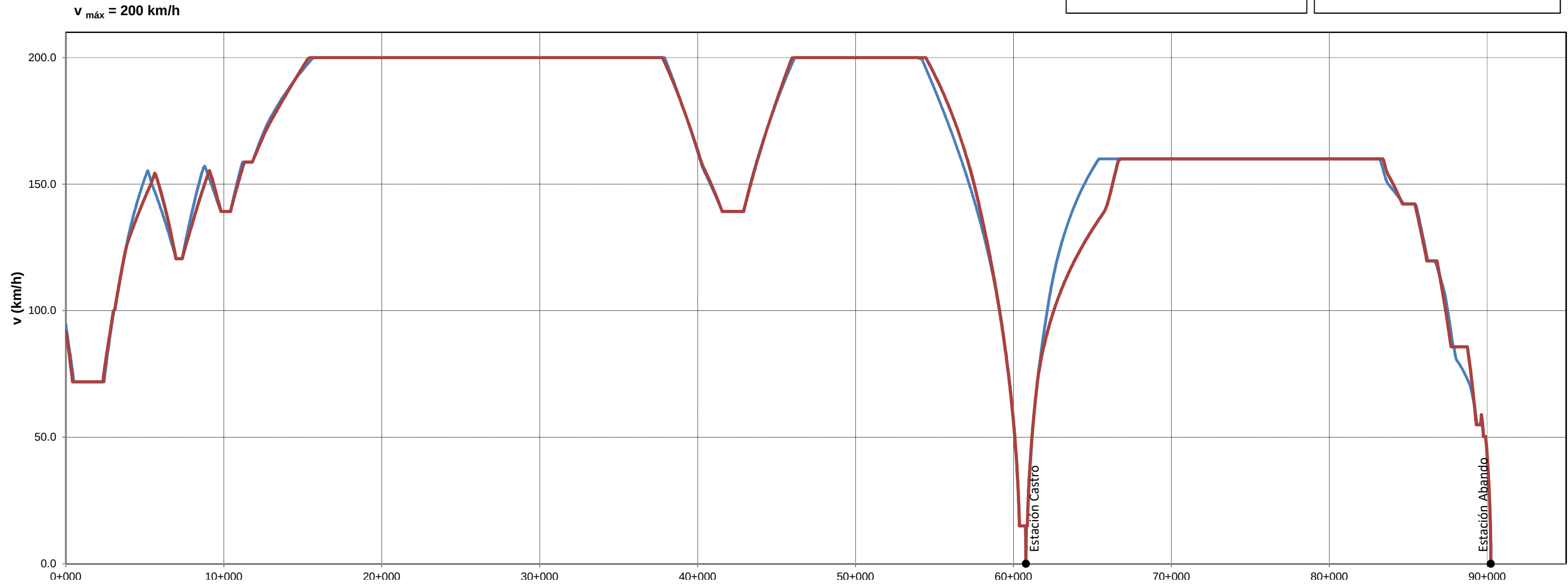
Alt C1_viajeros

GRÁFICO DE MARCHA



IDA
Tiempo comercial: 0:42:16
Energía consumida: 911 kWh
Velocidad comercial: 128 km/h
Distancia: 90230 m

VUELTA
Tiempo comercial: 0:42:28
Energía consumida: 978 kWh
Velocidad comercial: 127 km/h
Distancia: 90230 m



Perfil longitudinal

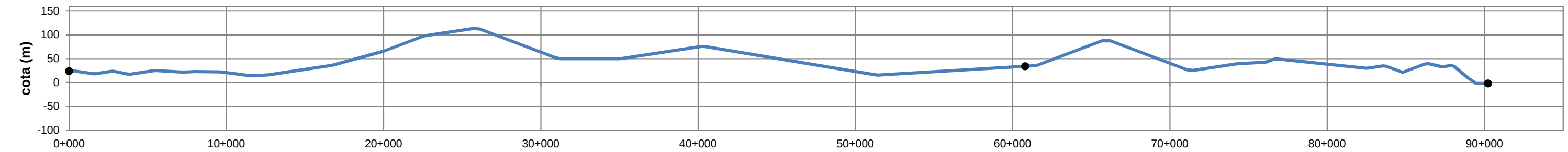
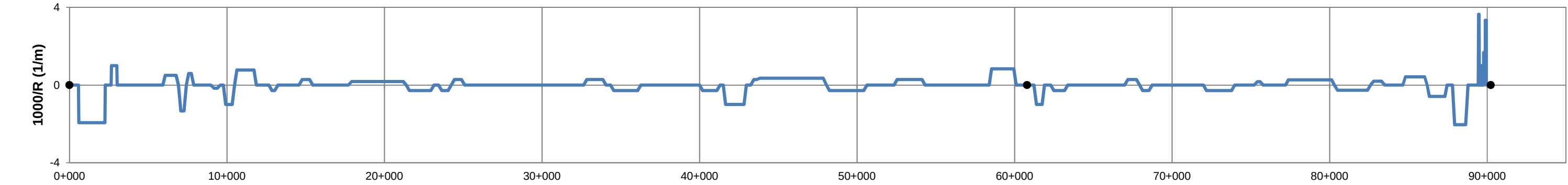


Diagrama de curvaturas (1000/R)



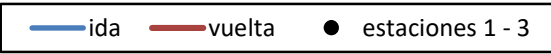
PK 0,000

Pk (m)

Estación Abando

Alt A1_viajeros
Locomotora eléctrica S-130

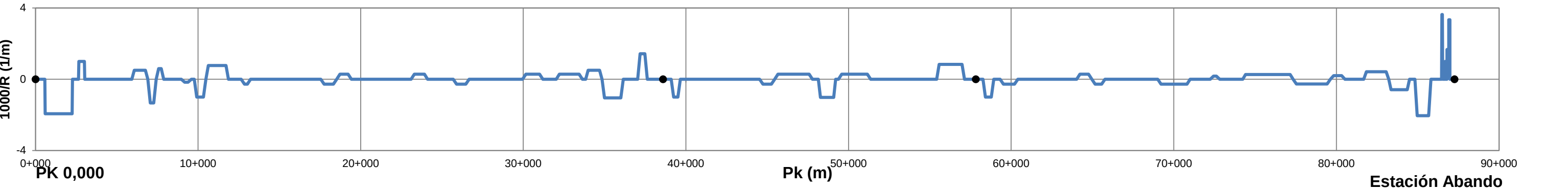
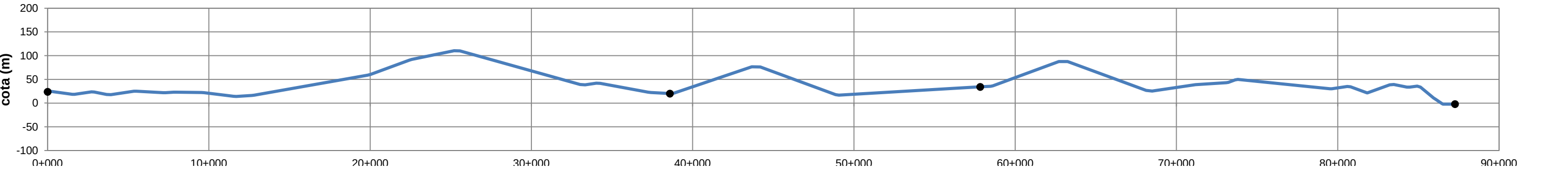
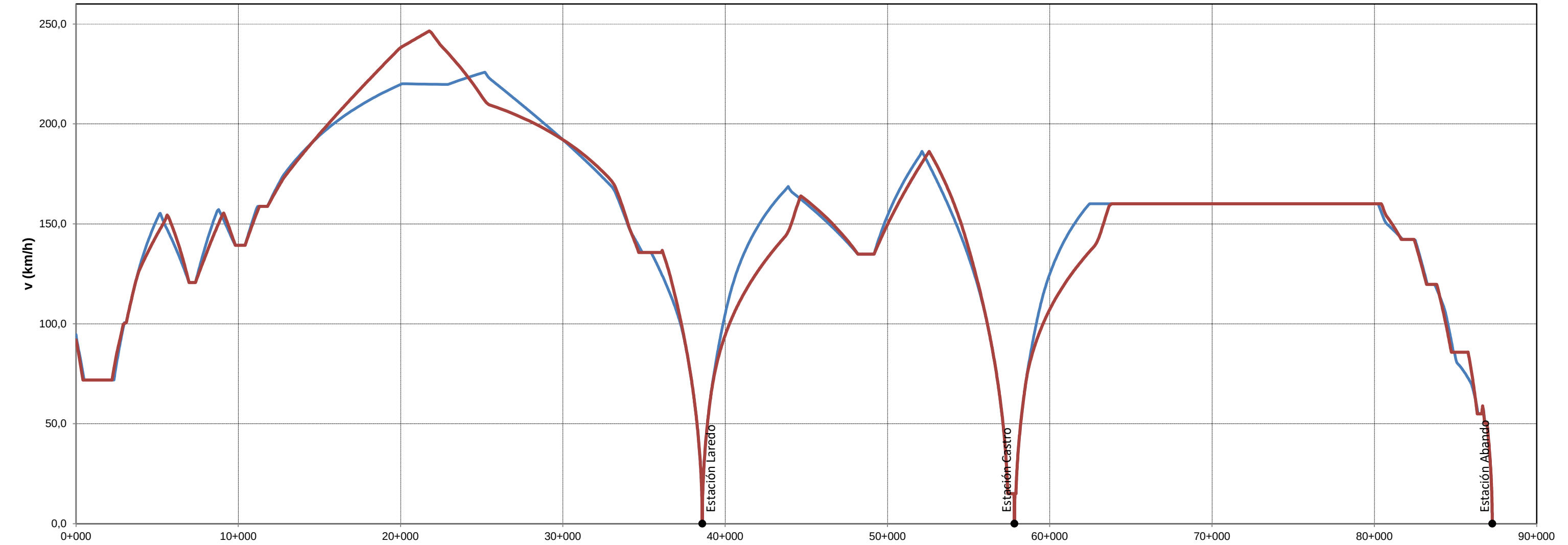
GRÁFICO DE MARCHA



IDA
Tiempo comercial: 0:47:56
Energía consumida: 1031 kWh
Velocidad comercial: 109 km/h
Distancia: 87267 m

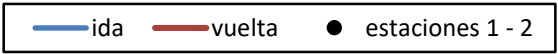
VUELTA
Tiempo comercial: 0:48:19
Energía consumida: 1108 kWh
Velocidad comercial: 108 km/h
Distancia: 87267 m

$v_{\text{máx}} = 250 \text{ km/h}$



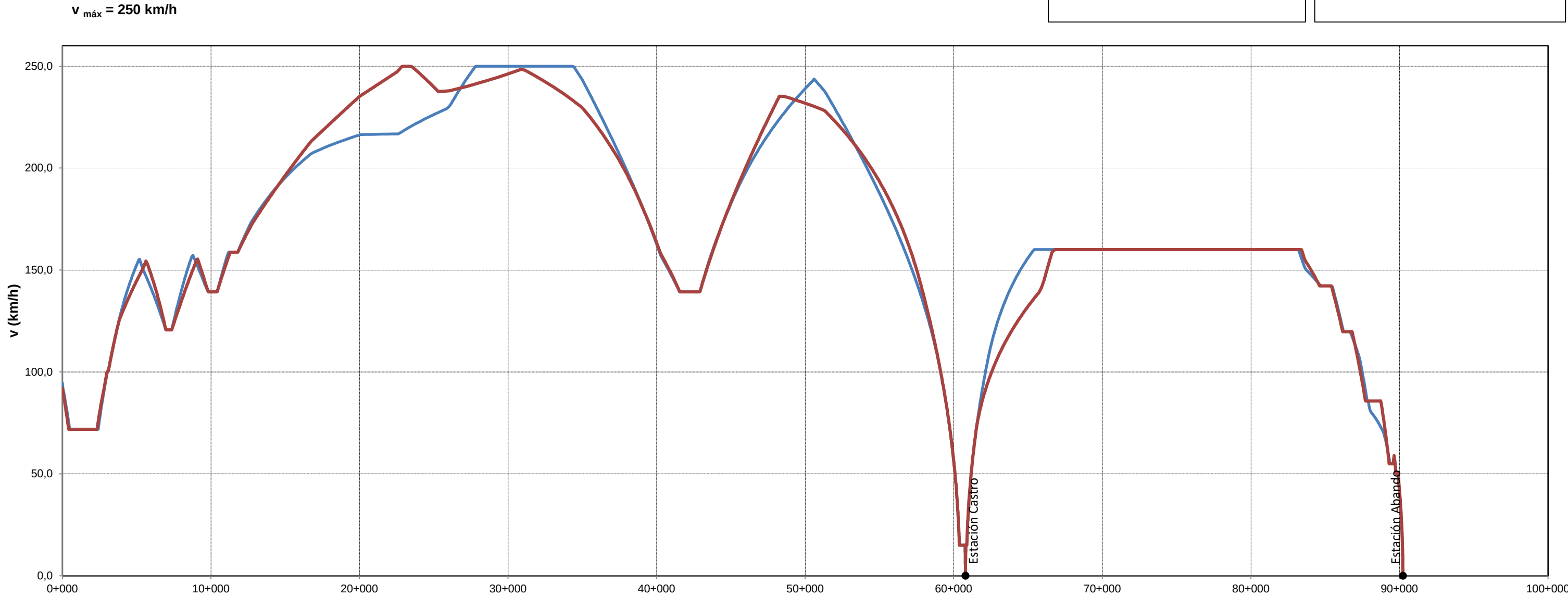
Alt C1_viajeros
Locomotora eléctrica S-130

GRÁFICO DE MARCHA



IDA
Tiempo comercial: 0:41:15
Energía consumida: 1028 kWh
Velocidad comercial: 131 km/h
Distancia: 90230 m

VUELTA
Tiempo comercial: 0:41:20
Energía consumida: 1135 kWh
Velocidad comercial: 131 km/h
Distancia: 90230 m



Perfil longitudinal

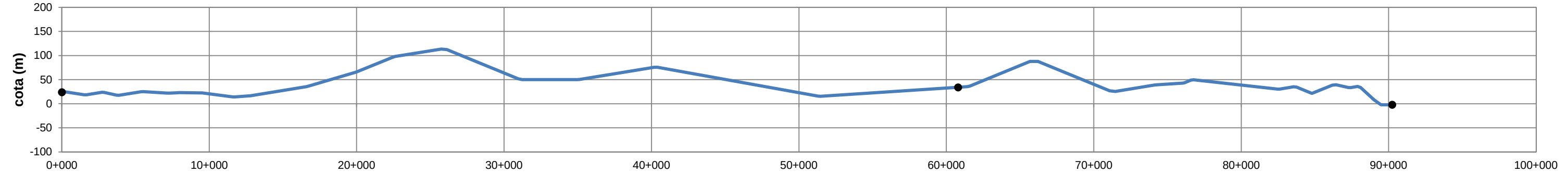
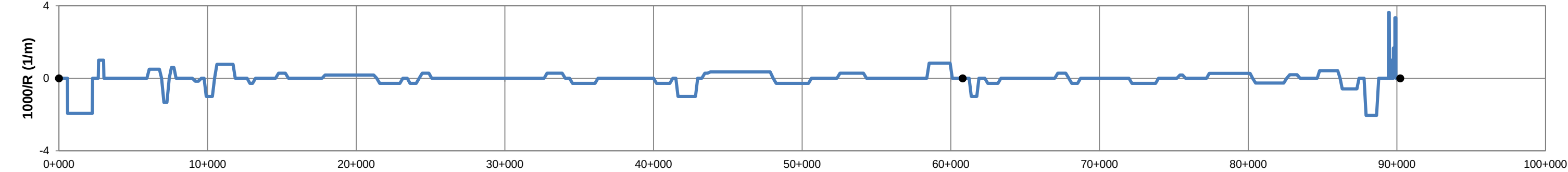


Diagrama de curvaturas (1000/R)



PK 0,000

Pk (m)

Estación Abando

Alt A1_viajeros
Locomotora eléctrica S-130

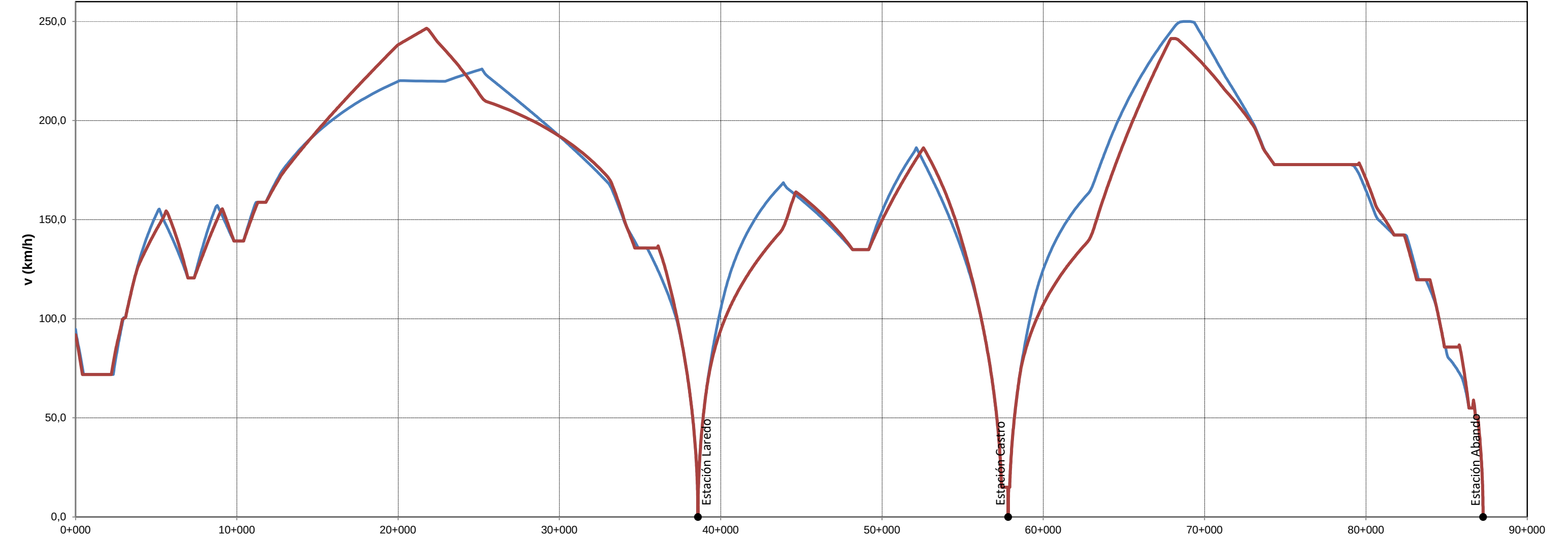
GRÁFICO DE MARCHA

ida vuelta estaciones 1 - 3

IDA
Tiempo comercial: 0:46:39
Energía consumida: 1113 kWh
Velocidad comercial: 112 km/h
Distancia: 87267 m

VUELTA
Tiempo comercial: 0:47:08
Energía consumida: 1182 kWh
Velocidad comercial: 111 km/h
Distancia: 87267 m

$v_{\text{máx}} = 250 \text{ km/h}$



Perfil longitudinal

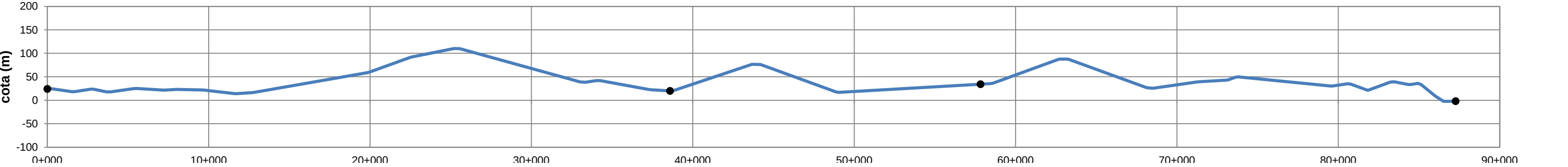
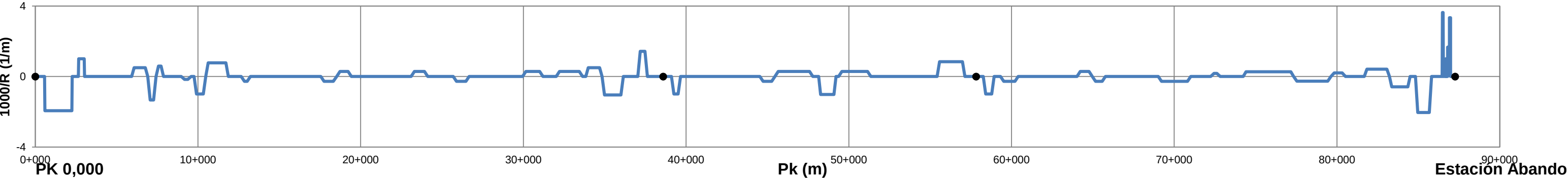


Diagrama de curvaturas (1000/R)



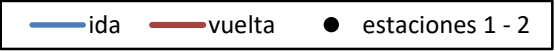
PK 0,000

Pk (m)

Estación Abando

Alt C1_viajeros
Locomotora eléctrica S-130

GRÁFICO DE MARCHA



IDA
Tiempo comercial: 0:39:58
Energía consumida: 1110 kWh
Velocidad comercial: 135 km/h
Distancia: 90230 m

VUELTA
Tiempo comercial: 0:40:09
Energía consumida: 1209 kWh
Velocidad comercial: 135 km/h
Distancia: 90230 m

