



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Departamento de Ingeniería Mecánica, Térmica y de Fluidos
Área de Ingeniería Mecánica

TRABAJO FIN DE MÁSTER

DESARROLLO DE UN MODELO PARA EL CÁLCULO DE TIEMPOS DE VIAJE, CONSUMOS DE ENERGÍA Y CARGAS MÁXIMAS DE UN TREN A PARTIR DEL TRAZADO DEL TRAYECTO

Máster en Ingeniería Industrial

Autor: Pablo Arroyo Sánchez

Tutor: Sergio Postigo Pozo
Cotutora: Montserrat Simarro Vega

MÁLAGA, Septiembre de 2025

Agradecimientos

Mi primer agradecimiento es para las dos personas más importantes de mi vida: mis padres. Si hoy puedo presentar este proyecto es gracias a vosotros. Me habéis apoyado en todas mis decisiones a lo largo de estos años y nunca habéis dejado de estar orgullosos de mí pasase lo que pasase. Gracias por ayudarme a cumplir mi sueño de dedicarme a lo que siempre he querido y por estar a mi lado en las buenas y en las no tan buenas.

Gracias también a todas las personas que me habéis acompañado durante estos años en mi etapa universitaria, a los de siempre y a los que he conocido durante el camino. Me habéis dado los mejores años de mi vida y los momentos más bonitos y felices que recordaré siempre. Con vosotros he podido disfrutar del camino para llegar hasta aquí a pesar de las dificultades y os estoy infinitamente agradecido por ello.

Por último, también quiero dar un especial agradecimiento a Alberto García Álvarez, la persona más apasionada por el ferrocarril que he conocido en este sector. Por confiar en mí desde el primer momento y por la gran ayuda y motivación que me has transmitido siempre. Estos meses trabajando contigo han sido un constante aprendizaje, tanto en lo profesional como en lo personal. Realmente has sido una gran inspiración para mí desde el primer día.

Resumen

Este proyecto surge como una iniciativa de la empresa WSP Spain con el objetivo de diferenciarse en el ámbito de licitaciones de proyectos ferroviarios de ADIF. Para ello, se desarrolla un modelo en el cual, a partir de los datos del trazado ferroviario y del tipo de tren utilizado, se calculan automáticamente diversos parámetros clave en la explotación ferroviaria.

El modelo utiliza información geométrica y detallada del tramo ferroviario que es de acceso público, incluyendo longitud, radios de curvas, pendientes, túneles, zonas neutras y estaciones. A partir de estos datos, es capaz de determinar teniendo en cuenta todas las limitaciones que existen, la velocidad del tren en cada punto del recorrido, las cargas máximas aplicadas, su consumo energético y los tiempos de viaje. Además, el cálculo considera parámetros dinámicos y cinemáticos esenciales en la operación ferroviaria, así como las características específicas de los trenes y servicios en la red ferroviaria española.

Una de las principales aplicaciones del modelo es la optimización de la circulación ferroviaria y la mejora del trazado. Permite diseñar mallas de circulación ajustando horarios en estaciones y cruces de vías para mejorar la eficiencia del tránsito de trenes. Asimismo, otro de sus objetivos es analizar el consumo de potencia del tren en cada punto del trayecto, lo que facilita la evaluación de la capacidad de las subestaciones eléctricas para abastecer la demanda de energía y optimizar su rendimiento.

Este modelo representa una herramienta innovadora para mejorar la planificación ferroviaria, contribuyendo a una gestión más eficiente y sostenible del transporte ferroviario.

Palabras Clave

Explotación ferroviaria

Dinámica longitudinal del tren

Trazado

Cálculo de Marchas

Consumo de Energía

Velocidad máxima admisible

Resistencia al avance

Fuerza de tracción

Fuerza de freno

Aceleración

Deceleración

Coeficiente de Davis

Subestación

Electrificación

Tiempos de viaje

Malla de circulación

Key Words

Railway operation

Longitudinal train dynamics

Track layout

Train run calculation

Energy consumption

Maximum allowable speed

Train resistance

Traction force

Braking force

Acceleration

Deceleration

Davis coefficient

Substation

Electrification

Train scheduling diagram

Índice

Capítulo 1. Introducción	15
1.1.- Antecedentes	16
1.2.- Objetivos, motivaciones y actividades del Proyecto	19
1.3.- Estructura del Proyecto	20
Capítulo 2. Descripción del Caso Práctico “Renovación y mejora del Corredor Cantábrico-Mediterráneo de Alta Velocidad. Tramo: Castejón-Logroño”	22
2.1.- Introducción, objetivos y motivaciones del proyecto	22
2.2.- Características de la línea ferroviaria actual	24
2.3.- Características de la línea ferroviaria proyectada	27
2.4.- Actuaciones del nuevo proyecto de renovación de vía	30
Capítulo 3. Modelo de cálculo	31
3.1.- Estructura del modelo de cálculo	31
3.2.- Hoja nº1: Tren y Servicio	33
3.2.1.- Características básicas del tren	35
3.2.2.- Dimensiones, superficies, capacidad y masas en explotación	36
3.2.3.- Resistencia al avance. Ecuación de Davis. Ventilación y auxiliares	37
3.2.4.- Otros parámetros	39
3.3.- Hoja nº2: Datos de la línea	40
3.3.1.- Definición de los datos	41
3.3.2.- Finalidad de la hoja	42
3.4.- Hoja nº3: Línea	42
3.4.1.- Características de la línea	43
3.4.2.- Datos importados	44
3.4.3.- Cálculo de velocidades máximas admisibles por infraestructura	45
3.5.- Hoja nº4: Cálculo de marchas	47
3.5.1.- Estructura y contenido general de la hoja	48
3.5.2.- Parámetros generales y velocidad máxima admisible sin deceleraciones	48
3.5.3.- Velocidad máxima admisible contando deceleraciones	51
3.5.4.- Resistencia al avance, fuerza de tracción/freno que hace el maquinista y velocidad real calculada del tren	54
3.5.5.- Velocidad real del tren y tiempos de recorrido	60
3.5.6.- Consumo de energía	63
3.6.- Hoja nº5: Marcha comercial	66

3.6.1.- Tiempos de llegada en cada tramo	67
3.6.2.- Tabla resumen del modelo de cálculo.....	68
3.7.- Hoja nº6: Gráficas Resultados.....	70
Capítulo 4. Resultados. Análisis y Discusión	72
4.1.- Resultados para un tren tipo Avant Serie 104	72
4.1.1.- Velocidad real del tren frente a la velocidad máxima admisible	73
4.1.2.- Energía consumida / exportada en el tren	74
4.2.- Resultados para un tren tipo Alvia Serie 120.....	76
4.2.1.- Velocidad real del tren frente a la velocidad máxima admisible	77
4.2.2.- Energía consumida / exportada en el tren	78
4.3.- Comparación del comportamiento de un tren Avant frente a un Alvia.....	79
4.3.1.- Comparación de velocidades reales	79
4.3.2.- Comparación de energía neta en el pantógrafo	80
4.4.- Mallas de circulación	81
4.4.1.- Malla propuesta con tiempos simulados para el nuevo trazado	81
4.4.2.- Malla de circulación actual con el trazado existente	83
4.4.3.- Comparación de circulación actual con la proyectada	84
Capítulo 5. Conclusiones y Trabajos Futuros	85
5.1. – Conclusiones	85
5.2. – Trabajos Futuros.....	87
Bibliografía	88
Anexo 1.....	89

Imágenes

Imagen 1: Renfe Alvia Serie 120	28
Imagen 2: Renfe Avant Serie 104.....	29
Imagen 3: Hojas que conforman el modelo de cálculo.....	32
Imagen 4: Hoja nº1. Tren y Servicio.....	34
Imagen 5: Características básicas del tren	35
Imagen 6: Dimensiones, Plazas y Masas del tren	36
Imagen 7: Resistencia al avance. Ecuación de Davis. Ventilación y auxiliares	37

Imagen 8: Otros parámetros	39
Imagen 9: Hoja nº2. Datos de la línea.....	41
Imagen 10: Hoja nº3. Línea	43
Imagen 11: Características de la línea.....	43
Imagen 12: Datos importados	44
Imagen 13: Cálculo de velocidades máximas admisibles por infraestructura	45
Imagen 14: Hoja nº4. Cálculo de marchas	47
Imagen 15: Parámetros generales y velocidad máxima admisible sin deceleraciones	48
Imagen 16: Velocidad máxima admisible contando deceleraciones.....	51
Imagen 17: Resistencia al avance, fuerza de tracción/freno que hace el maquinista y velocidad real calculada del tren.....	55
Imagen 18: Curva de tracción de un tren.....	58
Imagen 19: Velocidad real del tren y tiempos de recorrido.....	61
Imagen 20: Consumo de energía	64
Imagen 21: Hoja nº5. Marcha comercial.....	67
Imagen 22: Tiempos de llegada en cada tramo.....	67
Imagen 23: Tabla resumen del modelo de cálculo	69
Imagen 24: Hoja nº6. Gráficas Resultados	71
Imagen 25: Gráfica de velocidades para tren Avant.....	73
Imagen 26: Gráfica de velocidad de tren Avant frente a inclinación de la infraestructura	74
Imagen 27: Gráfica de energía importada/exportada en pantógrafo para tren Avant	75
Imagen 28: Gráfica de energía importada/exportada en pantógrafo frente a la velocidad real para un tren Avant.....	75
Imagen 29: Gráfica de velocidades para tren Alvia	77
Imagen 30: Gráfica de energía importada/exportada en pantógrafo para tren Alvia.....	78
Imagen 31: Gráfica de energía frente a velocidad real para tren Alvia	78
Imagen 32: Gráfica de comparación de velocidades entre tren Alvia y Avant.....	79
Imagen 33: Gráfica de comparación de consumo energético entre tren Alvia y Avant	80
Imagen 34: Malla de circulación para trazado nuevo	82
Imagen 35: Datos para malla de circulación	82
Imagen 36: Malla de circulación para trazado existente	83

Capítulo 1

Introducción

En el presente Trabajo de Fin de Máster se ha desarrollado un modelo computacional en Microsoft Excel orientado al análisis dinámico de la circulación ferroviaria. El objetivo principal del modelo es calcular la velocidad máxima admisible de un tren a lo largo de un trayecto definido, en función de la geometría del trazado ferroviario y las características técnicas del tren utilizado. Esta herramienta permite simular de forma precisa el comportamiento del tren a lo largo del recorrido, con el fin de mejorar la planificación, la eficiencia energética y la explotación operativa de líneas ferroviarias reales.

El modelo toma como datos de entrada la información geométrica del trazado ferroviario, que incluye parámetros como la longitud del tramo, radios de curvatura, pendientes, túneles, zonas neutras y la ubicación de estaciones. A partir de estos datos, y teniendo en cuenta las limitaciones impuestas por la infraestructura y el propio tren, se calcula la velocidad máxima que puede alcanzar el tren en cada punto del recorrido sin comprometer la seguridad ni la integridad de la vía.

Además del análisis de velocidad, el modelo incorpora una serie de cálculos dinámicos y energéticos. Se determinan las cargas aplicadas al tren, así como la fuerza de tracción y la fuerza de frenado necesarias para mantener el perfil de velocidad deseado en función de las condiciones del trazado. A nivel energético, el modelo también estima la energía importada y exportada a través del pantógrafo, lo cual es clave para evaluar el consumo real del tren y el rendimiento de las subestaciones eléctricas que abastecen la línea.

Uno de los aspectos más destacados del modelo es su capacidad para calcular de forma detallada los tiempos de recorrido del tren entre estaciones, proporcionando una herramienta útil para la elaboración de horarios, el diseño de mallas de circulación y la estimación de frecuencias de servicio. Gracias a su enfoque automatizado y modular, el modelo puede adaptarse a distintos trazados y tipos de trenes, lo que lo convierte en una herramienta versátil para proyectos de planificación ferroviaria.

Este trabajo se enmarca en una iniciativa desarrollada en el entorno profesional de la empresa WSP Spain, con el objetivo de aplicar nuevas metodologías de simulación a proyectos reales promovidos por ADIF, como es el caso del tramo Castejón–Logroño del Corredor Cantábrico-Mediterráneo de Alta Velocidad, proyecto utilizado como caso práctico en este Trabajo de Fin de Máster. El modelo aquí presentado permite aportar un valor añadido en la evaluación técnica de ofertas, ofreciendo una visión integrada de los aspectos dinámicos, energéticos y operativos del sistema ferroviario.

1.1.- Antecedentes

Este proyecto se desarrolla por parte de WSP Spain, como parte de la oferta técnica presentada junto con la empresa Ingerop, en forma de Unión Temporal de Empresas (UTE), para la licitación del proyecto promovido por ADIF: “Renovación y mejora del Corredor Cantábrico-Mediterráneo de Alta Velocidad. Tramo: Castejón–Logroño”. Este proyecto tiene como objetivo transformar un tramo ferroviario actualmente limitado en su explotación en una infraestructura moderna, integrada en la red de alta velocidad, con mejoras tanto en tiempo de viaje como en eficiencia energética y capacidad operativa.

La línea actual entre Castejón de Ebro y Logroño forma parte del corredor Casetas–Bilbao, concretamente de la línea convencional 700, y presenta actualmente vía única no electrificada, con plataforma de características antiguas y con radios de curvatura reducidos, pendientes pronunciadas en algunos puntos y una velocidad máxima limitada a 160 km/h, aunque en la práctica el servicio suele operar a velocidades inferiores. A lo largo de este tramo

se encuentran estaciones en los núcleos de Rincón de Soto, Alfaro, Aldeanueva de Ebro, Calahorra, Pradejón, Ausejo y Agoncillo, que actualmente se encuentran en diferentes niveles de uso y conservación.

Desde el punto de vista del tráfico ferroviario, el tramo soporta actualmente servicios de Media Distancia, principalmente con trenes diésel, adaptados a la ausencia de electrificación. Estos servicios cubren trayectos regionales entre Zaragoza, Castejón, Logroño y Miranda de Ebro. A pesar de la baja densidad de tráfico comparada con otras líneas, la infraestructura actual se encuentra limitada por su capacidad para permitir servicios más frecuentes o veloces. Además de pasajeros, también circulan ocasionalmente trenes de mercancías, lo que introduce más restricciones en cuanto a disponibilidad de la infraestructura para servicios regulares.

Consciente de estas limitaciones, el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible elaboró un Estudio Informativo que analiza diferentes alternativas para mejorar el trazado existente. Este estudio propone una intervención integral que incluye tanto la renovación de tramos existentes como la incorporación de nuevos tramos con plataforma de doble vía electrificada, aptos para velocidades de hasta 250 km/h. El diseño final, recogido en el pliego técnico de ADIF, contempla mejoras en la geometría de la vía, incrementos en los radios de curvatura, reducción de pendientes, supresión de pasos a nivel y modernización o reubicación de estaciones. Todo ello con el fin de garantizar la compatibilidad con trenes de Alta Velocidad y una mayor eficiencia en la explotación.

La herramienta de simulación desarrollada en este TFM se fundamenta en obtener resultados reales para este proyecto. El modelo parte de los datos oficiales y públicos contenidos en el pliego técnico de ADIF y en el Estudio Informativo, incorporando elementos fundamentales para el análisis dinámico y energético del trazado: radios de curvatura, pendientes, longitudes de tramos, ubicación de túneles, estaciones, zonas neutras de catenaria y condiciones de frenado y aceleración. Estos parámetros permiten realizar un modelado detallado de la circulación ferroviaria, adaptado específicamente al tramo objeto de estudio.

El desarrollo del modelo ha contado con el asesoramiento directo del autor del libro sobre el que se fundamenta la base teórica de este modelo de cálculo: Alberto García Álvarez, figura de referencia en el sector ferroviario español. Alberto García es Ingeniero Industrial por ICAI, Doctor en Ingeniería e Infraestructuras del Transporte, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales y Licenciado en Derecho. Su experiencia profesional abarca altos cargos en Renfe, como Director de Operaciones AVE, Director General de Renfe Viajeros y Presidente de Sercolsa, además de haber ejercido como Director de Explotación del Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (GIF) y Director Gerente de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles. En el ámbito académico, es profesor en múltiples másteres ferroviarios de universidades como Comillas, la UPC y la Universidad de Cantabria. Es también autor de más de una decena de libros sobre explotación ferroviaria, incluyendo el manual de referencia en el que se basa este proyecto: “Dinámica longitudinal del tren en la explotación ferroviaria. Cálculo de tiempos de viaje, consumos de energía y cargas máximas”, obra que ha coescrito junto a Ignacio González Franco.

Ignacio González Franco, por su parte, es Ingeniero Industrial por la Universidad de Vigo, Doctor en Ingeniería e Infraestructuras del Transporte por la UPC, y ha sido jefe de estudios y modelización en la Fundación de los Ferrocarriles Españoles, y actualmente desempeña un cargo de responsabilidad en Renfe como Jefe de Área de Modelos y Estudios de Explotación. Su experiencia en proyectos de optimización energética y dimensionamiento de tracción ferroviaria, así como su participación directa en la programación de modelos analíticos y computacionales, han sido clave para la validación del modelo presentado en este trabajo. En 2021 fue galardonado con el XVIII Premio Talgo a la Innovación Tecnológica en Ferrocarriles por un proyecto centrado en la operación eficiente de trenes en líneas no electrificadas.

En suma, este trabajo se apoya en documentación técnica oficial, colaboración directa con expertos del máximo nivel en el sector ferroviario, y en un caso real de aplicación profesional, lo que permite validar no solo el enfoque teórico del modelo, sino también su viabilidad práctica, veracidad de resultados

y su utilidad dentro del contexto actual de planificación en infraestructuras ferroviarias en España.

1.2.- Objetivos, motivaciones y actividades del Proyecto

El objetivo general de este proyecto es conocer las velocidades máximas de diferentes trenes que funcionarán en la línea de la nueva infraestructura ferroviaria propuesta por ADIF para el tramo Castejón – Logroño, para a partir de ellas conocer tiempos de viaje, conocer consumos de energía y proponer mejoras en la infraestructura. Para cumplir estos objetivos es necesario disponer de un modelo de cálculo sobre el que volcar toda la información de la infraestructura y que realice los cálculos necesarios.

Con lo expuesto anteriormente, para la consecución del objetivo general se han planteado una serie de objetivos específicos o actividades que se pueden clasificar en cuatro grandes grupos:

- Desarrollar un modelo de cálculo en formato Excel que sirva para analizar cualquier tipo de infraestructura y las propiedades de cualquier tipo de tren. Cada tren utilizado tiene siempre las mismas propiedades, por tanto se crea una base de datos para registrar todos los estudiados y conocer como funcionarán en cualquier infraestructura.
- El proyecto se centra en el tramo Castejón - Logroño del Corredor Cantábrico - Mediterráneo de Alta Velocidad, por tanto, introducir las características de la infraestructura descritas en el Estudio de Viabilidad del Ministerio de Transporte y los trenes de Renfe utilizados en el modelo creado.
- Obtener resultados de velocidades máximas admisibles de la línea y velocidades reales del tren en esa infraestructura para así proponer mejoras y optimizaciones del trazado. Obtener tiempos de viaje para realizar mallas de circulación que permitan el mejor flujo posible de trenes en funcionamiento en la línea descrita. Y obtener consumos de energía del tren para estudiar si las subestaciones eléctricas planteadas en el proyecto serán suficientes para

abastecer esta demanda energética, proponer optimizaciones y conocer donde añadir nuevas subestaciones si fuera necesario.

- Para finalizar, se comentarán, justificarán y compararán los datos obtenidos y graficados para diferentes trenes y se verificará la valía de los mismos. Se determinarán las conclusiones del trabajo realizado y se propondrán trabajos futuros.

1.3.- Estructura del Proyecto

Para llevar a cabo los objetivos planteados con anterioridad, se organizó el trabajo en cinco capítulos, cuyos contenidos se describen a continuación:

- **Capítulo 1:** Es el presente, en él se expone el trabajo a realizar y la necesidad de desarrollar el modelo de cálculo descrito. Además, se establecen los objetivos y motivaciones del proyecto, así como las actividades que se desarrollarán a lo largo del mismo.
- **Capítulo 2:** Este capítulo comienza con una introducción a la actual línea ferroviaria en funcionamiento en el tramo de estudio; para a continuación describir las renovaciones de vía y los nuevos tramos de trazado a incluir para su adaptación a Alta Velocidad. Se describen las características de la infraestructura que se tendrán en cuenta durante el cálculo y todos los puntos importantes a considerar en el caso concreto del proyecto de “Renovación y mejora del Corredor Cantábrico-Mediterráneo de Alta Velocidad. Tramo: Castejón–Logroño”. Los tipos de trenes de Renfe que se proponen para este tramo y que se estudiarán en el proyecto son el tren “Avant Serie 104” y el tren “Alvia Serie 120”. En este capítulo se describen sus características más importantes.
- **Capítulo 3:** En este capítulo se explica el proceso de desarrollo del modelo de cálculo. Se explican, justifican y describen todos los parámetros y propiedades del ferrocarril tenidos en cuenta para llegar a los resultados finales. Este capítulo sirve también como guía para aprender a utilizar el

modelo de cálculo entendiendo todo el significado físico y matemático de los pasos llevados a cabo durante el cálculo.

- **Capítulo 4:** Con este capítulo se muestran y analizan los resultados obtenidos del modelo de cálculo para el tramo de estudio Logroño – Castejón. Se exponen y grafican las velocidades máximas permitidas en cada punto del recorrido que permite tanto la propia línea como la velocidad real de cada uno de los dos tipos de tren estudiados teniendo en cuenta todas las limitaciones que hay y las fuerzas que actúan sobre él. Se exponen además los tiempos de recorrido obtenidos entre estaciones y los consumos energéticos; y por último se muestra una malla de circulación con los trenes que funcionan en la actualidad frente a una nueva malla de circulación propuesta con los nuevos tiempos de recorrido tras la mejora y optimización de la vía a Alta Velocidad.
- **Capítulo 5:** Para finalizar, se presentan las principales conclusiones que se derivan de este proyecto. Se verifica el correcto funcionamiento del modelo y se analiza el efecto que tienen sobre la línea de ferrocarril algunos de los parámetros descritos. Se exponen algunas conclusiones y posibles mejoras del trazado tras el análisis realizado. Como punto final, se proponen posibles mejoras del modelo de cálculo que se presentan como el siguiente paso natural a este proyecto.

Capítulo 2

Descripción del Caso Práctico:

“Renovación y mejora del Corredor Cantábrico – Mediterráneo de Alta Velocidad. Tramo: Castejón – Logroño”

Es necesario que el lector conozca ciertos aspectos del proyecto de renovación de vía que se estudia durante el desarrollo del modelo. El objetivo de este capítulo no es otro que proporcionar la información necesaria para la total comprensión del trabajo realizado en este proyecto y conocer todos los parámetros y términos ferroviarios de los que se hablará.

Este capítulo se subdivide en varias secciones. La primera comienza con una introducción donde se describe en términos generales la finalidad del proyecto planteado al que se oferta. En segundo lugar, se exponen las características de la infraestructura actualmente existente. Y en tercer lugar, se mencionan las características más importantes de la nueva infraestructura planteada en el proyecto y que se tienen en cuenta para los cálculos realizados. Estas secciones se han introducido para que los lectores tengan una visión de conjunto sin necesidad de recurrir a otros textos.

2.1.- Introducción, objetivos y motivaciones del proyecto

El tramo ferroviario entre Castejón (Navarra) y Logroño (La Rioja) constituye una sección esencial dentro del Corredor Cantábrico–Mediterráneo, incluido en la Red Básica de la Red Transeuropea de Transporte (TEN-T). Este corredor tiene como objetivo principal mejorar las conexiones transversales este-

oeste del norte peninsular, equilibrando la histórica estructura radial de la red ferroviaria española centrada en Madrid.

La situación geográfica del tramo le confiere una relevancia estratégica destacada. Por un lado, Castejón es un importante nudo ferroviario donde confluyen las líneas hacia Zaragoza, Pamplona y Bilbao. Por otro, Logroño actúa como centro de transporte regional para La Rioja y es el único punto de conexión ferroviaria de la comunidad con el resto del país. Esta situación convierte al eje Castejón–Logroño en una arteria fundamental tanto para la movilidad interregional de viajeros como para la distribución de mercancías procedentes de los valles industriales del norte y noreste.

Desde el punto de vista del planeamiento ferroviario, este tramo ha sido objeto de atención desde hace más de dos décadas. El Estudio Informativo de 2001, posteriormente actualizado en 2022, ya planteaba la necesidad de modernizar la infraestructura existente, heredada del siglo XIX, para adecuarla a las nuevas exigencias de explotación y sostenibilidad del transporte ferroviario. Entre los objetivos definidos se encuentran:

- Aumentar la velocidad de explotación comercial en el tramo, especialmente para viajeros.
- Mejorar la regularidad y capacidad de la línea mediante duplicación de vía en ciertos tramos.
- Habilitar la futura interoperabilidad con ancho estándar mediante la instalación de traviesas polivalentes.
- Permitir la circulación de trenes de mercancías de mayor longitud y carga, con mejores condiciones de seguridad y fiabilidad.
- Reducir los tiempos de viaje entre Logroño, Zaragoza y el resto de capitales del arco mediterráneo y el eje atlántico.

Además, el tramo tiene un papel integrador en el desarrollo territorial de la región del valle medio del Ebro, vertebrando comunidades con importantes polos industriales y logísticos como Tudela, Calahorra, Arrúbal o Recajo, donde se ubican polígonos industriales y conexiones estratégicas con infraestructuras

viarias (AP-68, N-232) y logísticas (estaciones, terminales intermodales). La mejora del trazado permitirá aprovechar mejor estos activos y consolidar una red de transporte más equilibrada y eficiente.

A nivel técnico, el trazado actual impide que los trenes circulen a velocidades competitivas con respecto al transporte por carretera. La existencia de curvas con radios inferiores a 600 m, pendientes pronunciadas en tramos urbanos, y la ausencia de apartaderos adecuados para trenes de mercancías largos, provoca una pérdida de rendimiento notable. Esta circunstancia no solo limita la eficiencia operativa, sino que desincentiva la utilización del tren frente a modos más contaminantes como el coche o el camión.

Con la mejora proyectada, el tramo pasará a formar parte de una red de altas prestaciones con parámetros comparables a los de otras líneas modernizadas. Esto abrirá la puerta a la circulación de trenes de alta velocidad, lo cual supondrá una mejora significativa de la movilidad interurbana.

Desde la perspectiva de la política pública, la actuación se enmarca en los compromisos del Estado español con la movilidad sostenible, el impulso del ferrocarril como modo prioritario de transporte y los objetivos climáticos europeos.

En resumen, el tramo Castejón–Logroño no es simplemente una mejora técnica localizada, sino una actuación estratégica de alto impacto territorial y funcional. Su transformación permitirá superar las limitaciones de una infraestructura centenaria y abrir una nueva etapa para el transporte ferroviario en el eje del Ebro, impulsando su integración plena en los estándares de la red ferroviaria del siglo XXI.

2.2.- Características de la línea ferroviaria actual

La infraestructura actual del tramo Castejón–Logroño responde a estándares del siglo XIX, aunque ha recibido algunas mejoras puntuales. Sus características principales son:

- Longitud total: 71,3 km (aproximadamente).
- Vía única en todo el tramo, sin apartaderos intermedios de gran longitud.
- Ancho ibérico (1668 mm).
- Electrificación a 3 kV CC.
- Explotación actual: tráfico mixto, con limitaciones operativas para ambos tipos de trenes.
- Limitaciones de velocidad:
 - 100 km/h en varios tramos con radios ≤ 700 m.
 - Hasta 140 km/h solo en tramos más rectos, como en las inmediaciones de Calahorra.

Estas condiciones imponen importantes restricciones: las velocidades no permiten una explotación eficiente de servicios interurbanos y dificultan la compatibilidad con los estándares de alta velocidad, impidiendo además la circulación fluida de trenes largos de mercancías sin detenciones.

Estaciones y apartaderos

A lo largo del trazado se encuentran varias estaciones operativas que influyen directamente en el diseño de la infraestructura, tanto en su geometría como en las operaciones futuras:

- **Castejón de Ebro:** Es el principal nodo ferroviario del tramo. Su configuración permite enlaces hacia Pamplona, Zaragoza y Logroño. Cuenta con múltiples vías, instalaciones logísticas y zonas de maniobra. Es punto de origen del trazado. El diseño del nuevo trazado mantiene su configuración, permitiendo el inicio de servicios de alta velocidad y mercancías mejorados.
- **Alfaro:** Estación intermedia con instalaciones sencillas. Situada junto a un núcleo urbano consolidado, sufre limitaciones por el entorno urbano y su trazado original. El nuevo proyecto prevé ampliar el radio de entrada/salida hasta 1300 m, permitiendo velocidades de hasta 160 km/h sin modificar la plataforma de la estación.

- **Calahorra:** Es una de las principales ciudades riojanas. Su estación cuenta con vías de apartadero y capacidad para servicios regionales. En este punto, el nuevo trazado mantiene su paso por la estación, pero introduce curvas de mayor radio en los accesos para elevar las velocidades. La estación podrá servir como parada de los servicios Avant de nueva generación.
- **Alcanadre y Rincón de Soto:** Estaciones menores de carácter regional. Están actualmente operativas para servicios regionales, aunque de uso limitado. En el nuevo trazado, podrían quedar fuera de servicio de forma permanente, o ser reubicadas si se justifica la demanda.
- **Arrúbal:** Estación estratégica por su conexión con el polígono industrial y la base logística de Recajo. Aquí se encuentra uno de los tramos más complicados en cuanto a geometría. Las curvas existentes de 580 m y 1000 m se sustituyen por radios de 1400 – 1800 m, permitiendo una mejora sustancial de la velocidad y del acceso al entorno logístico.
- **Logroño:** Estación terminal del trazado. Reformada recientemente, se encuentra soterrada y cuenta con doble vía, andenes accesibles, y diseño para la futura instalación de ancho mixto (ya previsto). El trazado actual de entrada es muy restrictivo, con curvas de 900 – 1200 m. El nuevo proyecto elimina esa limitación con un acceso más directo de radios 1800 m y 1400 m, compatible con velocidades superiores a 160 km/h.

Tráfico ferroviario actual y limitaciones

En la actualidad, el trazado es recorrido por varios tipos de servicios:

- **Media distancia (Regionales y MD):** con unidades serie 470 y 449, que alcanzan velocidades máximas de 160 km/h, aunque rara vez superan los 100–120 km/h en este tramo.
- **Trenes Intercity:** algunos servicios hacia Madrid utilizan trenes Talgo remolcados o híbridos de las series 130 y 730.

- **Trenes de mercancías:** mayoritariamente operados por locomotoras eléctricas de las series 251 y 253. Tienen importantes limitaciones por la vía única, radios cerrados y falta de apartaderos.

Estos servicios no pueden alcanzar su máximo rendimiento por el diseño geométrico existente, lo que justifica plenamente la inversión en una infraestructura adaptada a las nuevas necesidades.

2.3.- Características de la línea ferroviaria proyectada

El nuevo diseño se apoya en una solución combinada de variantes y mejoras sobre el trazado existente, permitiendo elevar las velocidades objetivo.

Los parámetros principales del trazado proyectado son:

- Velocidad objetivo en viajeros de 220 km/h en tramos nuevos, 160–200 km/h en zonas condicionadas.
- Velocidad objetivo para mercancías: 100 km/h.
- Radio mínimo en planta (variantes): 2600 m.
- Radio mínimo adaptado (rectificaciones): 1300 – 1800 m.
- Pendiente máxima longitudinal: 12,5 ‰ (habitual), hasta 15 ‰ en tramos excepcionales.
- Peralte máximo: 160 mm; insuficiencia admisible: 175 mm.
- Vía doble en plataforma nueva (preparada aunque inicialmente se monte una vía única).
- Plataforma apta para ancho mixto: compatible con traviesas polivalentes.

En resumen, el trazado se redefine para alcanzar velocidades homogéneas y explotar el potencial de trenes modernos, mejorando la conectividad de La Rioja y Navarra con Zaragoza, Valencia y Madrid.

Tráfico ferroviario proyectado

El nuevo trazado está diseñado para acoger trenes de nueva generación adaptados a la alta velocidad en trazados mixtos. Dos modelos clave previstos para operar en este corredor son:

- **Renfe Alvia serie 120:** Son trenes de alta velocidad y ancho variable, diseñados para velocidades de hasta 250 km/h (en estándar) y 220 km/h (en ibérico). Disponen de sistemas de basculación natural y pueden circular por líneas convencionales y de alta velocidad. Sus principales características son:
 - Velocidades máxima de 250 km/h (normal), 220 km/h en líneas convencionales.
 - Tracción eléctrica a 3 kV CC y 25 kV CA.
 - Ejes de ancho variable: permiten conectar con redes de AV y líneas convencionales.
 - Configuración de 4 coches con motores distribuidos.
 - Aceleración superior a trenes Talgo convencionales.



Imagen 1: Renfe Alvia Serie 120

(hochgeschwindigkeitszuege.com. (s.f.). Alvia S-120.

<https://www.hochgeschwindigkeitszuege.com/spanien/alvia-s-120.php>)

El trazado Castejón–Logroño, una vez reformado, permitirá que estos trenes exploten su velocidad máxima (o muy cercana a ella) en buena parte del trayecto, reduciendo los tiempos de viaje hacia Zaragoza o Madrid.

- **Renfe Avant serie 104:** Trenes eléctricos diseñados para servicios regionales de alta velocidad (distancias < 300 km). Utilizados en corredores como Madrid – Toledo, estos trenes ofrecen alta capacidad de aceleración y frenado, ideales para tramos con paradas intermedias frecuentes.
 - Velocidad máxima: 250 km/h.
 - Tracción en todos los ejes (EMU).
 - Configuración de 4 coches, piso bajo accesible, alto nivel de confort.
 - Especialmente aptos para servicios de frecuencia media y recorridos regionales de alta demanda.



Imagen 2: Renfe Avant Serie 104

(hochgeschwindigkeitszuege.com. (s.f.). Avant S-104.

<https://www.hochgeschwindigkeitszuege.com/spanien/avant-s-104.php>)

El corredor mejorado entre Castejón y Logroño se convierte en un candidato ideal para la implantación de servicios Avant, por ejemplo entre Logroño y Zaragoza o entre Logroño y Tudela, con tiempos competitivos frente al coche o el autobús.

Diseño técnico del nuevo trazado proyectado

Este diseño constituye una modernización integral de la infraestructura ferroviaria existente. Presenta plataformas adaptadas, vía con posibilidad de ancho mixto, electrificación en 25 kV CA y sistemas de señalización modernos, este tramo estará preparado para recibir trenes de altas prestaciones como los Alvia 120 y Avant 104, reducir los tiempos de viaje significativamente y convertirse en un nodo clave del Corredor Cantábrico-Mediterráneo.

2.4.- Actuaciones del nuevo proyecto de renovación de vía

El trazado Castejón–Logroño, en su estado actual, impide el despliegue eficiente de servicios de alta velocidad o mercancías competitivos. Las velocidades reducidas, la vía única y las curvas cerradas suponen un cuello de botella estratégico para el eje del Ebro.

El proyecto de mejora contempla la creación de nuevas variantes, la ampliación de radios, la integración de estaciones existentes y la preparación para una futura migración a doble vía y ancho mixto.

Además, la llegada de material rodante moderno como los trenes Alvia 120 y Avant 104 permitirá multiplicar el rendimiento de la línea, haciendo posibles trayectos más rápidos, cómodos y sostenibles para los usuarios. Esta actuación no solo mejora el trazado ferroviario, sino que revaloriza todo el eje navarro-riojano dentro del sistema ferroviario nacional.

Capítulo 3

Modelo de cálculo

El presente trabajo consiste en el desarrollo de un modelo que ha sido diseñado por el autor como parte de su actividad profesional en la empresa WSP Spain, en el contexto de una licitación real promovida por ADIF para el tramo Castejón–Logroño del Corredor Cantábrico-Mediterráneo de Alta Velocidad. El objetivo de esta herramienta es doble: por un lado, estimar con precisión las velocidades máximas admisibles para distintos trenes a lo largo de un trazado ferroviario real, y por otro, calcular tiempos de recorrido y consumos energéticos asociados. Con ello, se pretende facilitar la planificación de la explotación ferroviaria, la evaluación técnica de proyectos y la toma de decisiones estratégicas sobre trazados y material rodante.

Este capítulo consta de seis secciones principales, que reflejan la estructura del modelo. En primer lugar se describe de forma general la estructura del modelo de cálculo. Las seis secciones siguientes son una descripción detallada de cada una de las hojas de Excel que conforman el modelo completo de cálculo.

3.1.- Estructura del modelo de cálculo

En este apartado se describe la estructura del modelo desarrollado en Excel, el cuál está organizado en 6 hojas de cálculo que reflejan las diferentes fases del proceso de simulación.

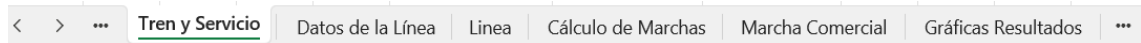


Imagen 3: Hojas que conforman el modelo de cálculo

- **Hoja nº1: "Tren y Servicio"**

Se definen las propiedades técnicas del tren que va a circular por la infraestructura. Se recogen datos como el tipo de tren (ya sea de alta velocidad o convencional), el sistema de tracción (eléctrico o diésel), el nivel de tensión de alimentación (por ejemplo, 25 kV CA), así como el modelo específico del tren (como el Alvia S-120 o el Avant S-104). Esta hoja incorpora además una base de datos que permite comparar distintos trenes, y actúa como núcleo de entrada para la parametrización del modelo.

- **Hoja nº2: "Datos de la Línea"**

Esta pestaña contiene el detalle del trazado ferroviario. Se introducen aquí los kilómetros y nombres de estaciones o puntos de control, las velocidades máximas permitidas en señales de entrada y salida, los radios de curvatura, las pendientes de la vía, y la localización de elementos singulares como túneles y zonas neutras. Esta hoja tiene un formato tabular y modular, que permite adaptar el modelo a diferentes trazados sin perder coherencia en los cálculos.

- **Hoja nº3: "Línea"**

Por su parte, esta hoja ofrece una síntesis de los parámetros generales de la infraestructura introducidos en la Hoja nº2 "Datos de la Línea". Se configuran aquí valores como la velocidad máxima permitida en tramos rectos, el tipo de vía (ancho ibérico o estándar), el sistema de electrificación y otros atributos relevantes. Esta hoja funciona como ficha técnica del trazado, aportando contexto general al resto del modelo.

- **Hoja nº4: "Cálculo de Marchas"**

La parte central del modelo se encuentra en la hoja "Cálculo de Marchas", donde se lleva a cabo el cálculo dinámico del movimiento del tren. Aquí se determinan las velocidades iniciales y finales por tramo, las aceleraciones y deceleraciones necesarias, y la energía que el tren consume o recupera en cada tramo. Se calcula también el tiempo mínimo necesario para recorrer cada

segmento del trazado, permitiendo conocer la eficiencia teórica del recorrido. El modelo tiene en cuenta tanto restricciones impuestas por la vía como las capacidades reales del tren.

- **Hoja nº5: "Marcha comercial"**

Esta hoja adapta los resultados técnicos calculados anteriormente a la operación real, incluyendo márgenes de regularidad, tiempos de parada en estaciones y una hora de salida concreta. Se obtiene así un cronograma de recorrido completo que incluye horarios de llegada a estaciones, tiempos totales de viaje y velocidades medias comerciales. Esta hoja permite simular un servicio real y valorar su compatibilidad con la explotación prevista por el gestor de la infraestructura.

- **Hoja nº6: "Gráficas Resultados"**

En esta hoja se visualizan de forma clara los datos calculados. Se generan gráficos de velocidad frente al kilometraje para diferentes trenes, se comparan consumos energéticos entre escenarios y se visualiza la evolución acumulada de la energía. Esta representación gráfica permite detectar tramos críticos, zonas de consumo elevado o momentos en que el tren recupera energía mediante frenado regenerativo.

3.2.- Hoja nº1: Tren y Servicio

El modelo de cálculo se estructura en torno a varias hojas, pero la hoja denominada "Tren y Servicio" es la que define la personalidad del vehículo que se va a simular. Toda la información que aquí se introduce, o que se genera a partir de lo introducido, fluye después hacia los cálculos dinámicos y energéticos. En consecuencia, comprender a fondo qué representa cada valor y cómo se obtiene es esencial para interpretar con rigor los resultados de las marchas y, sobre todo, para poder reutilizar la herramienta con otros trenes o en otros proyectos.

Características del tren y servicio que se estudia			ESTA PARTE NO SE TOCA			
			Base de Datos (Trenes Registrados)			
	Valor	Unidad	Avant s104	Alta s120	unidades	
Nombre del tren						
Tipo de Tren (0=Convencional; 1=Alta Velocidad)	1		1	1		
Tipo Tracción Eléctrica	25	kV	25	25		kV
Tipo Tracción No Eléctrica	-		-	-		
Velocidad máxima del tren por dinámica	220	km/h	200	220		km/h
Potencia del tren	4178	kW	4400	4178		kW
Tipo de Tren (N, A, B)	A		N	A		
Máxima deceleración media según ETI Alta Velocidad	2,5	m/s ²	2,5	2,5		m/s ²
Máxima deceleración media según ETI Alta Velocidad	32400	km/h ²	32400	32400		km/h ²
Ancho de vía	1435	m	1435	1435		m
Dimensiones			Dimensiones			
Longitud	96,00	m	107,10	96,00		m
Anchura media	2,70	m	2,70	2,70		m
Altura media	4,30	m	4,30	4,30		m
Número de ejes	12	ejes	18	12		ejes
Plat del tren o superficie mojada (longitud*12 * altura * anchura)	1.094,80	m ²	1.219,23	1.094,80		m ²
Sección transversal del tren (altura * anchura)	11,61	m ²	11,61	11,61		m ²
Superficie pasillos y plataformas	107,1	m ²	107,1	107,1		m ²
Plazas			Plazas			
Plazas sentadas	226	plazas	226	226		plazas
Aprovechamiento	0,75	viajeros.km/plazas.km	0,75	0,75		(viajeros.km/plazas.km)
Admite plazas de pie (1 = Si, 0 = No)	0		0	0		
Plazas de pie.m ² de pasillo (6 para máxima explotación)	3	(plazas.m ²)	3	3		(plazas.m ²)
Masa viajeros + equipaje	80	kg	80	80		kg
Plazas de pie	0	plazas	0	0		plazas
Plazas totales (plazas sentadas + plazas de pie (si las admite))	226	plazas	226	226		plazas
Masa			Masa			
Masa tren vacío	193,2	t	221,5	193,2		t
Masa tren en explotación normal	206,76	t	235,66	206,76		t
Masa tren en explotación excepcional	-	t	-	-		t
Masas rotativas equivalentes	14,44	t	19,94	14,44		t
Masa adherente	102	t	136	102		t
Resistencia al avance (Condiciones de referencia 15 °C y presión de 1 atm)			Resistencia al avance (Condiciones de referencia 15 °C y presión de 1 atm)			

Imagen 4: Hoja nº1. Tren y Servicio

La pestaña presenta dos bloques bien diferenciados.

- **Campos de entrada:** aparecen en fondo blanco y son completados por el usuario. Aquí se consignan los datos “brutos” que se pueden encontrar en la ficha técnica del tren o en documentos de homologación: nombre comercial, tipo de tren, sistema de tracción, tensión de alimentación, potencia continua, número de coches, longitud, anchura, altura, número de ejes motrices y portantes, masa en vacío, plazas sentadas, densidades de ocupación, parámetros básicos de confort, etc.
- **Campos calculados:** se muestran con fondo gris para advertir que no deben tocarse manualmente. Están vinculados a fórmulas que transforman, combinan o validan los datos introducidos.

Todos estos valores alimentan a su vez otras pestañas del modelo de cálculo

La filosofía de color resulta tanto un aviso como un mecanismo de protección: si el usuario modificara una casilla gris, rompería la coherencia de todas las dependencias aguas abajo. Igualmente, si falta un dato obligatorio en un campo blanco, la casilla gris puede producir un error o devolver un texto de advertencia.

Una vez completada la hoja, todos los parámetros calculados se transfieren mediante vínculos a la hoja de “**Cálculo de Marchas**”. El éxito del

resultado, velocidades máximas admisibles, tiempos de recorrido y consumo energético, depende, por tanto, de la fidelidad de los datos introducidos y de la robustez de las fórmulas automáticas.

3.2.1.- Características básicas del tren

Nada más abrir la hoja se encuentran varios valores descriptivos.

Nombre del tren	Avant s104	Alvia s120	unidades
Tipo de Tren (0=Convencional; 1=Alta Velocidad)	1	1	
Tipo Tracción Eléctrica	25	25	kV
Tipo Tracción No Eléctrica	-	-	
Velocidad máxima del tren por dinámica	200	220	km/h
Potencia del tren	4400	4178	kW
Tipo de Tren (N, A, B)	N	A	
Máxima deceleración media según ETI Alta Velocidad	2,5	2,5	m/s ²
Máxima deceleración media según ETI Alta Velocidad	32400	32400	km/h ²
Ancho de vía	1435	1435	m

Imagen 5: Características básicas del tren

El nombre comercial del tren es el oficial y a través de su búsqueda en internet se pueden conocer sus propiedades. Sirve además para etiquetar gráficas y resultados; la clasificación como tren convencional o de alta velocidad permite seleccionar, en hojas y celdas posteriores, los umbrales de confort y los coeficientes aerodinámicos propios de cada categoría. El tipo de tracción y la tensión de alimentación son fundamentales cuando se evalúa la compatibilidad con subestaciones o se calcula la potencia instantánea importada a través del pantógrafo.

En estos estudios, se consideran tres tipos de tren: N, A y B. Se diferencian en el valor de su aceleración.

- A = 1 m/s². Se usa para trenes más rápidos.
- B = 1,2 m/s². Se usa para trenes pendulares (trenes de tecnología avanzada que se adaptan a los peraltes de la vía).
- N = 0,65 m/s². Se usa para trenes de mercancías, trenes que circulan en vías de ancho métrico y trenes viejos de tecnología convencional.

La potencia continua y el empuje máximo son datos habitualmente proporcionados por el fabricante. No obstante, la hoja incorpora una rutina que convierte esos valores en magnitudes más “simulables”. La potencia, expresada

en kilovatios, se combina con la velocidad de referencia para determinar la fuerza de tracción que realmente puede aplicarse a baja velocidad. A la inversa, la velocidad máxima de proyecto se traduce en una potencia efectiva sobre rail que es la que se usa más adelante para comprobar si el tren puede sostener el perfil de velocidad en pendientes prolongadas.

3.2.2.- Dimensiones, superficies, capacidad y masas en explotación

Nombre del tren	Avant s104	Alvia s120	unidades
Dimensiones			
Longitud	107,10	96,00	m
Anchura media	2,70	2,70	m
Altura media	4,30	4,30	m
Número de ejes	16	12	ejes
Piel del tren o superficie mojada (longitud*(2 * altura + anchura))	1.210,23	1.084,80	m ²
Sección transversal del tren (altura * anchura)	11,61	11,61	m ²
Superficie pasillos y plataformas	107,1	107,1	m ²
Plazas			
Plazas sentadas	236	226	plazas
Aprovechamiento	0,75	0,75	(viajeros.km/plazas.km)
Admite plazas de pie (1 = Sí, 0 = No)	0	0	
Plazas de pie.m ² de pasillo (6 para máxima explotación)	3	3	(plazas.m ²)
Masa viajero + equipaje	80	80	kg
Plazas de pie	0	0	plazas
Plazas totales (plazas sentadas + plazas de pie (si las admite))	236	226	plazas
Masas			
Masa tren vacío	221,5	193,2	t
Masa tren en explotación normal	235,66	206,76	t
Masa tren en explotación excepcional	-	-	t
Masas rotativas equivalentes	19,94	14,44	t
Masa adherente	136	102	t

Imagen 6: Dimensiones, Plazas y Masas del tren

En el bloque de dimensiones se pide la longitud total del tren y las dimensiones de la sección transversal (anchura y altura). A partir de esas tres magnitudes el programa genera varias superficies clave:

- **Superficie transversal:** es la multiplicación de la anchura por la altura y representa la “cara” del tren que enfrenta la resistencia del aire.
- **Superficie mojada:** se calcula como la longitud del tren por la suma de la anchura y el doble de la altura. Esta superficie es la que interviene en los términos de fricción de la piel del tren al estimar coeficientes aerodinámicos.

Estos valores no aparecen en la lista de especificaciones de ningún fabricante, pero se deducen de las dimensiones básicas.

Otros factores importantes para el cálculo de marchas a tener en cuenta son la masa y capacidad de explotación.

A la masa en vacío se le suman las plazas sentadas y, en su caso, las plazas de pie. Las plazas de pie se obtienen multiplicando la superficie disponible para viajeros de pie por una densidad de ocupación, siempre y cuando el tren admita pasajeros en pie. La capacidad total se ajusta además con un coeficiente de ocupación típico de explotación, por ejemplo, un 75 % de las plazas sentadas, y con la masa media por viajero. La suma resultante se expresa en toneladas para conformar la **masa del tren en explotación normal**, que es la que entra en los cálculos de dinámica longitudinal.

Este paso es crucial: muchos estudios se limitan a la masa en vacío, pero la práctica demuestra que un error de unas pocas toneladas altera el esfuerzo de tracción necesario y, por tanto, la energía consumida y los tiempos de aceleración.

3.2.3.- Resistencia al avance. Ecuación de Davis. Ventilación y auxiliares

Nombre del tren	Avant s104	Alvia s120	unidades
Resistencia al avance (Condiciones de referencia 15 °C y presión de 1 atm)			
Renovación de aire en el tren (1 si, 0 no)	1	1	-
Caudal de entrada de aire para la refrigeración de motores (Pot [kW] / 243)	18,11	17,19	m ³ /s
Coefficiente Davis A facilitado por fabricante o medido (Si no lo dan = ND)	172,095	281	daN
Coefficiente de Davis B1 facilitado por fabricante o medido (Si no lo dan = ND)	0,823589319	1,5	daN
Coefficiente de Davis B2 facilitado por fabricante o medido (Si no lo dan = ND)	0,928728381	1,5044	daN
Coefficiente de Davis C facilitado por fabricante o medido (Si no lo dan = ND)	0,03684914	0,068	daN
Coefficiente estimado de Davis A	229,83	187,38	daN
Coefficiente estimado de Davis A (parte dependiente de la masa)	0,5	0,5	daN/t
Coefficiente estimado de Davis A (parte dependiente de los ejes)	7	7	daN/nº ejes
Coefficiente estimado de Davis B	0,6751	0,6415	daN/(km/h)
Q Caudal de entrada de aire a Temperatura estándar	20,00	20,00	m ³ /(persona*h)
Q Caudal de entrada de aire a Temperatura estándar	26,67	26,67	m ³ /(plaza*h)
Q Caudal de entrada de aire para viajeros	1,75	1,67	m ³ /s
Q Caudal total de entrada de aire al tren	19,86	18,87	m ³ /s
Coefficiente estimado de Davis C	0,03656043	0,0339264	daN/(km/h) ²
Cf: Coeficiente específico de fricción de piel del tren	0,000021	0,000021	(daN/(km/h) ²)/(m ²)
Cp: Coeficiente específico de presión de sección transversal	0,00096	0,00096	(daN/(km/h) ²)/(m ²)
Coefficiente Davis A utilizado para el modelo	172,10	281,00	daN
Coefficiente de Davis B utilizado para el modelo	1,7523	3,0044	daN/(km/h)
Coefficiente de Davis C utilizado para el modelo	0,03684914	0,068	daN/(km/h) ²

Imagen 7: Resistencia al avance. Ecuación de Davis. Ventilación y auxiliares

El caudal de aire que se renueva en la climatización es un dato difícil de encontrar en fichas técnicas; por eso la hoja lo estima de dos formas distintas. Por un lado, vincula el caudal mínimo a la potencia de tracción, pues los ventiladores de refrigeración del equipo eléctrico tienen un consumo y un arrastre

de aire directamente relacionados con los kilovatios instalados. Por otro, reparte un caudal normativo entre el número de viajeros atendiendo al nivel de ocupación. La suma de ambos componentes, caudal de refrigeración y caudal de ventilación, se expresa en metros cúbicos por segundo y acaba penalizando la parte lineal de la resistencia de Davis: a mayor flujo de aire, mayor consumo auxiliar y mayor parte lineal de la fuerza resistiva.

Ecuación de Davis. Resistencia al avance.

Los coeficientes de Davis A, B y C de la expresión resistiva clásica (fuerza igual a A más B por la velocidad más C por la velocidad al cuadrado) pueden proceder de dos fuentes. Si el fabricante facilita los valores medidos en banco dinámico, el usuario los introduce y el modelo los adopta sin más. Si no existen datos, la hoja los genera automáticamente con un procedimiento que conjuga varios cálculos:

- Para **A** se combinan la masa en carga y el número de ejes mediante dos constantes empíricas que representan la rodadura pura y la fricción mecánica de cajas de grasa.
- Para **B** se toma el caudal total de aire y se aplica un coeficiente que traslada la potencia auxiliar necesaria a un término lineal de la resistencia. El coeficiente B de Davis depende de si hay aire acondicionado en el tren o no. Cuando no hay aire acondicionado el valor es 0. En caso de haber renovación de aire, se estima que el caudal de aire es $Q=20 \text{ m}^3/(\text{persona} \cdot \text{h})$
- Para **C** se suman dos aportaciones: la fricción de la piel, que depende de la superficie mojada y de un coeficiente propio del tipo de carrocería, y la presión frontal, que se obtiene con la superficie transversal y otro coeficiente empírico. En trenes herméticos estos coeficientes son menores que en trenes regionales de puertas más permeables. El coeficiente C depende en este caso también de si el tren es Alta Velocidad o Convencional.

Toda esta lógica se encapsula en fórmulas grises que examinan si el usuario ha introducido valores “válidos”. En ausencia de datos de fabricante, se

dispara el cálculo interno; si los hay, el modelo respeta los valores medidos. Este sistema doble garantiza que la simulación disponga siempre de un conjunto coherente de coeficientes.

3.2.4.- Otros parámetros

En esta hoja aparecen otros parámetros que también son de aplicación en los cálculos y que sirven para entender mejor el entorno en el que se desenvuelve el tren de estudio.

Nombre del tren	Avant s104	Alvia s120	unidades
Otros			
Esfuerzo producido por la adherencia (según gráfica velocidades)	30000	30000	daN
Velocidad máxima limitada por la adherencia	60	60	km/h
Parámetro de regulación para velocidad máxima admisible	2	2	%
Consumo auxiliares	122	188	kW (kWh/h)
Rendimiento auxiliares	0,86	0,85	%
Sistema de señalización	ERTMS	ERTMS	
Frena en zonas neutras	No	No	
Características del Tren y Servicio			
Tipo velocidad (letra)	N	A	
¿Cierra trampillas en túnel?			
Prestaciones (25kV)			
Tracción	Electrificación (25kV)	Electrificación (25kV)	
Potencia	4400	4178	kW
Velocidad máxima	250	250	km/h
Rendimiento de tracción	0,884192837	0,95	
Prestaciones (3kV)			
Tracción		Electrificación (3kV)	
Potencia		4178	kW
Velocidad máxima		250	km/h
Rendimiento de tracción		0,95	
Inversor	No	No	

Imagen 8: Otros parámetros

La fuerza de tracción máxima se infiere de la potencia continua y de la velocidad a partir de la cual el convertidor alcanza su límite de corriente. Este valor limita la aceleración en las arrancadas y en las pendientes pronunciadas. La fuerza de frenado, por su parte, deriva de la deceleración máxima deseada y de la masa en carga. Ambas magnitudes se expresan en decanewtons y se emplean directamente en los algoritmos de la hoja de marchas: determinan los vértices de las cuñas de aceleración y deceleración, con lo que se definen las pendientes máximas de las curvas de Velocidad-Espacio.

El esfuerzo de adherencia, que establece la fuerza máxima que pueden transmitir las ruedas sin patinar; el modelo lo emplea para limitar la tracción en arranques y en rampas pronunciadas. Asociada a ese valor se define la velocidad máxima condicionada por la adherencia: por debajo de dicha velocidad

rige el límite de fuerza constante, mientras que, por encima, la potencia disponible gobierna la curva tracción-velocidad. Junto a estos dos parámetros físicos se incluye un margen de regulación, un dos por ciento adicional, que se descuenta de la velocidad punta teórica para respetar las prácticas de explotación y los márgenes de seguridad exigidos por la normativa.

El apartado incorpora también el consumo de auxiliares, es decir, la potencia continua que demandan climatización, iluminación y demás servicios de a bordo; esta cifra se suma directamente al balance energético. Para reflejar pérdidas internas, se indica además el rendimiento de los auxiliares, de modo que la energía extraída de la catenaria se ajusta a la eficiencia real de los convertidores.

También es importante mencionar dos parámetros operativos en esta hoja: el sistema de señalización —ERTMS en ambos trenes—, que determina unas velocidades máximas al entrar en estaciones, y la opción de freno en zonas neutras, que especifica si el tren se deja rodar por inercia o aplica freno al atravesar secciones sin alimentación, con repercusión directa en la velocidad mínima y en la energía recuperada tras el neutro. Conjuntamente, estas variables trasladan al modelo las limitaciones físicas del contacto rueda-carril, los márgenes reglamentarios y los consumos reales, proporcionando resultados más fiables en tiempo y energía.

En conjunto, estos ajustes convierten la marcha teórica en una representación mucho más fiel de la operación diaria, afectando a la curva de velocidad, al tiempo de viaje y al consumo neto de energía.

3.3.- Hoja nº2: Datos de la línea

“Datos de la Línea” es la segunda hoja de este modelo de cálculo. Su función es transformar la información geométrica oficial del trazado Castejón–Logroño, procedente de los planos de planta y alzado del Estudio de Viabilidad del Ministerio de Transportes (*ver Anexo 1*) en un formato numérico directo para la simulación. El fichero PDF de planos sirvió de fuente única: a partir de dichos

planos se midieron longitudes, radios y pendientes, se localizaron túneles y zonas neutras y se identificaron las estaciones y puntos singulares del recorrido. Todos esos valores se consignaron a mano en esta hoja y, desde aquí, se propagan al resto del libro de cálculo.

3.3.1.- Definición de los datos

La hoja “Datos de la línea” es el corazón topográfico del modelo: aquí se cargan a mano las progresivas, longitudes, radios de curva, pendientes, túneles, zonas neutras y localización de estaciones obtenidos de los planos oficiales del tramo Castejón–Logroño.

Puntos de control		Alineaciones horizontales				Pendientes		Túneles			Zonas neutras			
km	Nombre	km Señal Entrada (E1)	Velocidad paso por E1	km Señal Salida (S1)	Velocidad paso por S1	km inicio	Radio (m)	km inicio	Valor (mm/m)	km inicio	km fin	F. túnel	km inicio	km fin
0,0	Castejón					0,0	1.000.000	0,0	2,5	45,5	45,8	2,0		
5,3	Alfaro					0,1	450	3,9	0,0	50,4	52,3	2,0		
14,9	Rincón de Soto					0,4	1.000.000	5,2	-1,0					
27,7	Calahorra					0,9	950	5,7	0,2					
60,1	Arrúbal					1,5	1.000.000	11,2	5,0					
63,4	Agoncillo					2,1	1.300	13,1	-10,0					
67,5	Recajo					2,8	1.000.000	13,9	0,0					
74,0	Logroño					3,0	1.300	15,0	4,0					
						3,7	1.000.000	17,4	2,5					
						5,0	2.500	18,8	2,0					
						5,4	1.000.000	21,9	4,0					
						8,0	2.500	23,3	5,0					
						9,0	2.500	25,3	-5,0					
						10,0	1.000.000	25,9	12,5					
						11,2	2.000	26,5	2,4					
						12,4	2.000	29,2	-8,0					
						12,8	2.000	30,0	8,0					
						14,1	1.000.000	30,6	-0,8					
						14,8	2.000	33,8	1,5					
						16,2	2.000	36,3	12,5					
						17,5	1.000.000	37,8	-7,0					
						21,0	7.000	38,4	15,0					
						21,9	1.000.000	38,0	8,0					

Imagen 9: Hoja nº2. Datos de la línea

Cada fila de la hoja representa un tramo elemental, recta o curva, comprendido entre dos progresivas kilométricas consecutivas. Las columnas, dispuestas de izquierda a derecha, recogen de forma normalizada:

- **Puntos de control.** Aquí se indica el punto del kilometraje donde se encuentra el eje de cada estación. El código de la estación es una etiqueta textual (“ALFARO”, “CALAHORRA”...); que facilita al modelo fijar paradas y calcular tiempos comerciales.
- **Radio de curvatura,** valor positivo en curvas independientemente del sentido del giro y “1.000.000” en rectas. Condiciona la velocidad máxima por confort y seguridad.

- **Pendiente (mm/m)**, signo positivo en ascenso y negativo en descenso; determina la componente de peso en la ecuación dinámica.
- **Túneles y factor de túnel**. En esta columna se indica la existencia de túneles en el trayecto y su longitud. Se indica además su factor de túnel que es un coeficiente adimensional que incrementa el término cuadrático de la resistencia cuando el tren circula encajonado.
- **Zona neutra**, booleano que, cuando está activo, obliga al tren a cortar tracción en ese intervalo concreto.
- **Código de estación o punto de parada** – etiqueta textual (“ALFARO”, “CALAHORRA”...); facilita al modelo fijar paradas y calcular tiempos comerciales.

3.3.2.- Finalidad de la hoja

Introducir los datos a mano, directamente desde los planos oficiales, tiene dos ventajas decisivas. La primera es la trazabilidad: el analista puede verificar cada número volviendo al plano correspondiente. La segunda es la flexibilidad: cualquier modificación de la alternativa (un radio mayor, un túnel más largo, una estación desplazada) se incorpora simplemente editando una fila, sin necesidad de reprogramar el modelo ni de alterar las hojas dependientes.

La pestaña “Datos de la línea” convierte la geometría impresa del trazado Castejón–Logroño en un esquema digital paso a paso que el algoritmo recorre para calcular velocidades, tiempos y consumos. Gracias a esta tabla, el modelo entiende dónde puede acelerar, dónde debe frenar, cuándo cortar tracción y en qué puntos realizar parada comercial, reproduciendo fielmente las condiciones fijadas por los planos oficiales del Ministerio.

3.4.- Hoja nº3: Línea

Dentro del modelo de simulación ferroviaria, la hoja “Línea” desempeña un papel esencial al traducir la geometría del trazado en una forma utilizable por los cálculos dinámicos. Su objetivo es descomponer la infraestructura del tramo Castejón–Logroño en segmentos regulares de 100 metros de longitud, sobre los

cuales se aplican todos los algoritmos de cálculo de velocidades, tiempos, esfuerzos y consumos. Esta hoja sirve de nexo entre la descripción general de la infraestructura, realizada en la hoja “Datos de la línea”, y las hojas que realizan las simulaciones.

Características de la línea			unidades
Velocidad máxima en la línea en recta	300		km/h
Ancho de vía	1435		mm
Tipo de electrificación	25		kV

Km oficial [km]	Estación	Tiempo parada [min]	Limitación de velocidad en estación [km/h]	Distancia real al siguiente punto [km]	Km del proyecto [km]	Distancia real al punto anterior [km]	Velocidad máxima línea en recta [km/h]	Inclinación [mm/m]	Tensión nominal en salida subestación [kV]	Zona neutra	Tensión nominal considerando zonas neutras	Radio curva [m]	¿Túnel?	Altitud [m]	X [m]
0.0	Castejón	0	0	0.1	0.0	0	300	2.5	25		25	1,000,000	-	-	-
0.1				0.1	0.1	0.1	300	2.5	25		25	450	-	-	-
0.2				0.1	0.2	0.1	300	2.5	25		25	450	-	-	-
0.3				0.1	0.3	0.1	300	2.5	25		25	450	-	-	-
0.4				0.1	0.4	0.1	300	2.5	25		25	1,000,000	-	-	-
0.5				0.1	0.5	0.1	300	2.5	25		25	1,000,000	-	-	-
0.6				0.1	0.6	0.1	300	2.5	25		25	1,000,000	-	-	-
0.7				0.1	0.7	0.1	300	2.5	25		25	1,000,000	-	-	-
0.8				0.1	0.8	0.1	300	2.5	25		25	1,000,000	-	-	-
0.9				0.1	0.9	0.1	300	2.5	25		25	950	-	-	-
1.0				0.1	1.0	0.1	300	2.5	25		25	950	-	-	-
1.1				0.1	1.1	0.1	300	2.5	25		25	950	-	-	-
1.2				0.1	1.2	0.1	300	2.5	25		25	950	-	-	-
1.3				0.1	1.3	0.1	300	2.5	25		25	950	-	-	-

Imagen 10: Hoja nº3. Línea

3.4.1.- Características de la línea

En la parte superior de la tabla aparecen 3 celdas en color blanco para completar manualmente, las características de la línea. Son la velocidad máxima que permite la infraestructura en línea recta, el ancho de vía y el tipo de electrificación.

Características de la línea		unidades
Velocidad máxima en la línea en recta	300	km/h
Ancho de vía	1435	mm
Tipo de electrificación	25	kV

Imagen 11: Características de la línea

- Velocidad máxima en la línea en recta:** Este valor fija la velocidad límite que puede alcanzar un tren cuando circula en tramos rectos, es decir, sin restricciones impuestas por curvas. Es el valor base contra el cual se comparan las velocidades geométricas calculadas en tramos curvos, y se utiliza también para establecer límites en zonas sin velocidad específica de proyecto. En este caso, el valor introducido es 300 km/h, que refleja las condiciones de alta velocidad previstas en el diseño del trazado.

- **Ancho de vía:** Indica el ancho entre los raíles, que determina la compatibilidad del trazado con distintos tipos de material rodante. El valor mostrado es 1435 mm, correspondiente al ancho internacional (estándar), lo cual confirma que el tramo está diseñado para interoperabilidad con trenes de alta velocidad en redes europeas. Este parámetro también influye en criterios de diseño geométrico y en el tipo de peraltes admisibles.
- **Tipo de electrificación:** Recoge la tensión de alimentación en kilovoltios (kV). En este caso, se trata de 25 kV en corriente alterna, el estándar en las líneas de alta velocidad en España y Europa. Este dato es fundamental para validar la compatibilidad del tren con la infraestructura y para calcular correctamente la energía tomada de la catenaria y la potencia disponible según el sistema de tracción del tren.

3.4.2.- Datos importados

	Datos de la información del proyecto					Datos de documentos de infraestructuras (proyectos, estudios, etc.) (Nota 4)								
	Nota 2					Nota 15		Nota 0		Nota 8		Nota 1		
Parámetros:	Km oficial [km]	Estación	Tiempo parada [min]	Limitación de velocidad en estación [km/h]	Distancia real al siguiente punto [km]	Km del proyecto [km]	Distancia real al punto anterior [km]	Velocidad máxima línea en recta [km/h]	Inclinación [mm/m]	Tensión nominal en salida subestación [kV]	Zona neutra	Tensión nominal considerando zonas neutras	Radio curva [m]	¿Túnel?
0,0		Castejón	0	0	0,1	0,0	0	300	2,5	25		25	1.000.000	
0,1					0,1	0,1	0,1	300	2,5	25		25	450	
0,2					0,1	0,2	0,1	300	2,5	25		25	450	
0,3					0,1	0,3	0,1	300	2,5	25		25	450	
0,4					0,1	0,4	0,1	300	2,5	25		25	1.000.000	
0,5					0,1	0,5	0,1	300	2,5	25		25	1.000.000	
0,6					0,1	0,6	0,1	300	2,5	25		25	1.000.000	
0,7					0,1	0,7	0,1	300	2,5	25		25	1.000.000	
0,8					0,1	0,8	0,1	300	2,5	25		25	1.000.000	
0,9					0,1	0,9	0,1	300	2,5	25		25	950	
1,0					0,1	1,0	0,1	300	2,5	25		25	950	
1,1					0,1	1,1	0,1	300	2,5	25		25	950	
1,2					0,1	1,2	0,1	300	2,5	25		25	950	
1,3					0,1	1,3	0,1	300	2,5	25		25	950	
1,4					0,1	1,4	0,1	300	2,5	25		25	950	
1,5					0,1	1,5	0,1	300	2,5	25		25	1.000.000	
1,6					0,1	1,6	0,1	300	2,5	25		25	1.000.000	
1,7					0,1	1,7	0,1	300	2,5	25		25	1.000.000	

Imagen 12: Datos importados

La hoja está organizada como una tabla longitudinal, donde cada fila representa un tramo de 0,1 km. La columna inicial corresponde a cada punto del trazado que será calculado, y el resto de columnas contiene variables clave para el análisis dinámico: pendiente, radio de curvatura, presencia de túnel, zonas neutras, estaciones, entre otras.

Las celdas en color gris de esta hoja contienen datos que provienen directamente de la hoja “Datos de la línea” y de la anterior tabla “Características

de la línea, presente en esta misma hoja, donde el usuario introdujo manualmente la información del trazado y las características técnicas de la línea. Posteriormente, la hoja “Línea” toma automáticamente esa información y la distribuye tramo a tramo, interpolando o replicando valores para cada intervalo de 100 metros.

Estas celdas grises no deben modificarse, ya que están vinculadas mediante fórmulas al origen de datos y constituyen la base para los cálculos siguientes. En ellas se puede observar, por ejemplo, qué tramo tiene pendiente ascendente, qué radio de curva le corresponde, si se encuentra dentro de un túnel o si cruza una zona neutra sin alimentación eléctrica.

Se puede observar además que hay 2 columnas con celdas en color blanco para introducir valores manualmente: “Tiempo de parada” y “Limitación de velocidad en estación”. Estas celdas sirven para introducir limitaciones de velocidad que normalmente estarán asociadas a las paradas en estaciones y también se puede especificar el tiempo, en minutos, que el tren estará parado en ese punto del trazado. Igualmente pueden imponerse en estas columnas las limitaciones de velocidad y paradas que se vean necesarias en cualquier punto durante el estudio para ver como afectan al resto del recorrido del tren.

3.4.3.- Cálculo de velocidades máximas admisibles por infraestructura

Parámetros:	Cálculo a partir de radio de curvas			Del Cuadro de Velocidades Máximas de ADIF			Velocidad máxima N (utilizada) [km/h]	Velocidad máxima A (utilizada) [km/h]	Velocidad máxima B (utilizada) [km/h]
	Nota 7	Nota 7	Nota 7	Nota 6	Nota 6	Nota 6			
	4	4,5	5						
Km oficial [km]	Velocidad máxima N (calculada) [km/h]	Velocidad máxima A (calculada) [km/h]	Velocidad máxima B (calculada) [km/h]	Velocidad máxima N (CVM) [km/h]	Velocidad máxima A (CVM) [km/h]	Velocidad máxima B (CVM) [km/h]			
0,0	300	300	300				300	300	300
0,1	85	95	106				85	95	106
0,2	85	95	106				85	95	106
0,3	85	95	106				85	95	106
0,4	300	300	300				300	300	300
0,5	300	300	300				300	300	300
0,6	300	300	300				300	300	300
0,7	300	300	300				300	300	300
0,8	300	300	300				300	300	300
0,9	123	139	154				123	139	154
1,0	123	139	154				123	139	154
1,1	123	139	154				123	139	154
1,2	123	139	154				123	139	154
1,3	123	139	154				123	139	154
1,4	123	139	154				123	139	154
1,5	300	300	300				300	300	300
1,6	300	300	300				300	300	300
1,7	300	300	300				300	300	300
1,8	300	300	300				300	300	300
1,9	300	300	300				300	300	300
2,0	300	300	300				300	300	300

Imagen 13: Cálculo de velocidades máximas admisibles por infraestructura

La tabla mostrada en la imagen constituye un elemento esencial del modelo, ya que establece la velocidad máxima permitida en cada punto del trazado en función de dos factores clave: la geometría de la vía (radio de curva) y el tipo de tren que circula por ella. Este proceso permite adecuar el perfil de velocidad al comportamiento real que tendría cada tren en condiciones operativas y normativas concretas.

El modelo contempla tres tipos de trenes distintos, cada uno con un parámetro diferente asociado a su capacidad de tomar curvas a mayor o menor velocidad. Estos tres tipos son:

- **Tren tipo N:** corresponde a trenes convencionales con menores prestaciones dinámicas. El parámetro utilizado para calcular su velocidad máxima es **4**.
- **Tren tipo A:** representa trenes de mejores prestaciones, con mayor confort y estabilidad en curvas. El parámetro que se emplea para ellos es **4,5**.
- **Tren tipo B:** son trenes con características avanzadas (por ejemplo, basculantes o de muy alta velocidad). Su parámetro de cálculo es **5**.

La velocidad máxima que puede circular un tren sobre un determinado radio de curva se obtiene mediante la fórmula $V = k \cdot \sqrt{R}$, donde **k** es el parámetro asociado al tipo de tren y **R** es el radio de curvatura en metros. Este cálculo se realiza automáticamente en las tres primeras columnas de la tabla (bajo el encabezado "Cálculo a partir de radio de curvas"), generando una estimación teórica de la velocidad máxima compatible con la geometría del trazado para cada tipo de tren.

Las siguientes tres columnas, con celdas en color blanco, están reservadas para introducir manualmente las velocidades máximas procedentes del Cuadro de Velocidades Máximas (CVM) de ADIF, si este documento existe para la infraestructura analizada. Este cuadro, cuando está disponible, especifica valores oficiales de velocidad máxima autorizada en cada punto del trazado para cada tipo de tren, teniendo en cuenta no solo la geometría, sino también otros

3.5.1.- Estructura y contenido general de la hoja

La hoja calcula tramo a tramo la velocidad alcanzable por el tren, considerando restricciones por geometría (curvatura, pendiente), limitaciones técnicas (fuerza de tracción o frenado disponibles), resistencia al avance, y así como el tipo de circulación (aceleración, frenado o velocidad constante). El resultado es un perfil de velocidad técnicamente viable y un conjunto de magnitudes energéticas (potencia, energía importada/exportada, consumo específico) que se usarán posteriormente para estimar tiempos, consumos y dimensionamientos de subestaciones.

Cada fila de la hoja representa un segmento de 100 metros del trazado, mientras que las columnas organizan la información física, cinemática, dinámica y energética de ese tramo. A continuación, se describe el contenido de las principales columnas, agrupado según su función.

3.5.2.- Parámetros generales y velocidad máxima admisible sin deceleraciones

En este apartado se muestran las primeras columnas de esta hoja, que funcionan como punto de partida para los cálculos posteriores de velocidad, aceleración, potencia, energía y tiempo. A continuación, se describe en detalle la procedencia, función y método de cálculo de cada una de estas columnas.

Estación	Tiempo de parada [min]	Limitaciones de velocidad por paradas [km/h]	Posición de la cabeza del tren (recorrido del tren) [km]	Posición de la cabeza del tren (recorrido del tren) [km]	Velocidad inicial (km/h)	Potencia disponible del tren (kW)	Velocidad máxima del tren por dinámica [km/h]	Tipo tren (N, A, B)	Velocidad máxima de la línea en recta [km/h]	Radio curva [m]	Velocidad máxima de la línea en curva [km/h]	Velocidad máxima admisible sin contar deceleraciones [km/h]
0	0		0,1	4,0	163,7	3760	220	A	300	1.000.000	300	220
0	0		0,1	4,1	164,8	3760	220	A	300	1.000.000	300	220
0	0		0,1	4,2	165,9	3760	220	A	300	1.000.000	300	220
0	0		0,1	4,3	167,0	3760	220	A	300	1.000.000	300	220
0	0		0,1	4,4	168,0	3760	220	A	300	1.000.000	300	220
0	0		0,1	4,5	169,1	3760	220	A	300	1.000.000	300	220
0	0		0,1	4,6	170,2	3760	220	A	300	1.000.000	300	220
0	0		0,1	4,7	171,5	3760	220	A	300	1.000.000	300	220
0	0		0,1	4,8	172,9	3760	220	A	300	1.000.000	300	220
0	0		0,1	4,9	157,8	3760	220	A	300	1.000.000	300	220
0	0		0,1	5,0	136,6	3760	220	A	300	2.500	225	220
0	0		0,1	5,1	111,6	3760	220	A	300	2.500	225	220
0	0		0,1	5,2	78,9	3760	220	A	300	2.500	225	220
Alfaro	2	0,0	0,1	5,3	0,0	3760	220	A	300	2.500	225	0
0	0		0,1	5,4	58,0	3760	220	A	300	1.000.000	300	220
0	0		0,1	5,5	81,8	3760	220	A	300	1.000.000	300	220
0	0		0,1	5,6	85,4	3760	220	A	300	1.000.000	300	220
0	0		0,1	5,7	88,8	3760	220	A	300	1.000.000	300	220
0	0		0,1	5,8	91,8	3760	220	A	300	1.000.000	300	220
0	0		0,1	5,9	94,8	3760	220	A	300	1.000.000	300	220

Imagen 15: Parámetros generales y velocidad máxima admisible sin deceleraciones

La columna “**Estación**” identifica si el tramo pertenece al eje de una estación. Su función es doble: por un lado, obliga a que la velocidad final del tren se reduzca a cero cuando se alcanza una estación con parada prevista, y por otro, permite aplicar un tiempo de detención obligatorio que el tren debe cumplir antes de reiniciar la marcha, lo que se reflejará en el tiempo total acumulado de recorrido. Justo a continuación, la columna “**Tiempo de parada [min]**” especifica el número de minutos que el tren debe permanecer detenido en dicha estación. Este dato también proviene de “Datos de la línea”. Este tiempo se suma al cronómetro global y tiene un efecto directo sobre la duración total del trayecto simulado.

La columna “**Limitaciones de velocidad por paradas [km/h]**” tiene como objetivo reflejar la velocidad máxima permitida en las cercanías de estaciones donde se efectúa parada. Cuando un tren se aproxima a una estación, es habitual que se imponga una restricción progresiva de velocidad para garantizar que el frenado se produzca con antelación suficiente. En esta columna pueden aparecer valores como 30 o 50 km/h, aplicados de forma manual. Si la celda está vacía o contiene un cero, se interpreta que no existe ninguna limitación adicional y se continúa aplicando la velocidad máxima admisible según la geometría de la vía.

La columna “**Velocidad inicial (km/h)**” representa la velocidad con la que el tren entra en el tramo actual. En el primer tramo del recorrido, este valor es cero, ya que se parte desde parado. A partir de ese punto, se calcula automáticamente como la velocidad final del tramo anterior. Este dato es clave para determinar si en el siguiente tramo el tren puede seguir acelerando, mantener su velocidad o debe comenzar una frenada. Además, se utiliza en las ecuaciones cinemáticas básicas que permiten calcular tanto la aceleración como el tiempo invertido en recorrer cada tramo de 100 metros.

La columna “**Potencia disponible del tren (kW)**” hace referencia a la potencia de tracción efectiva con la que cuenta el tren en cada tramo. Este valor se obtiene desde la hoja “Tren y Servicio”, donde el usuario introduce la potencia continua del tren. A dicha potencia se le aplican correcciones por rendimiento de

los sistemas auxiliares (por ejemplo, climatización o equipos electrónicos), e incluso puede verse afectada por condiciones externas como la caída de tensión en zonas neutras. Normalmente, se mantiene constante a lo largo del trayecto, salvo que se simule un cambio en la alimentación eléctrica.

La columna **“Velocidad máxima del tren por dinámica (km/h)”** indica la velocidad máxima que el tren puede alcanzar en función exclusivamente de sus capacidades técnicas. Es un valor característico de cada tipo de tren introducido en la hoja “Tren y Servicio”. La hoja compara esta velocidad con la velocidad límite por infraestructura calculada en la hoja “Línea”, y utiliza siempre la más restrictiva para asegurar un comportamiento seguro.

Con la columna **“Tipo de tren (A, B, N)”** se clasifica el tren según su comportamiento dinámico en curvas, y permite seleccionar la velocidad que le corresponde en cada curva según lo calculado o indicado por el Cuadro de Velocidades de ADIF en la hoja “Línea” (**“Velocidad máxima del tren en curva (km/h)”**). La columna **“Velocidad máxima en recta (km/h)”** indica el valor límite permitido por diseño para tramos rectos del trazado. Este dato suele estar fijado por el proyecto de infraestructura y se importa desde la hoja “Línea”. En el tramo Castejón–Logroño, por ejemplo, este valor se establece en 300 km/h.

Por último, la columna **“Velocidad máxima admisible sin contar desaceleraciones (km/h)”** recoge la velocidad máxima que el tren puede alcanzar en ese tramo teniendo en cuenta exclusivamente las condiciones locales, sin anticiparse a limitaciones futuras. Es decir, se consideran en ella las restricciones por infraestructura (curvas, pendientes, túneles, zonas neutras, estaciones), así como las capacidades dinámicas del tren, pero aún no se calcula si es necesario frenar para adaptarse a una limitación próxima o una parada. Es una velocidad teórica puntual, útil como referencia técnica, pero que no debe confundirse con la velocidad final operativa del tren en el tramo.

Este valor se obtiene como el mínimo entre tres posibles velocidades: la máxima alcanzable por dinámica del tren (calculada en columnas anteriores), la velocidad geométrica por radio de curva, y la velocidad geométrica en línea recta.

3.5.3.- Velocidad máxima admisible contando deceleraciones

En este apartado se muestra uno de los bloques más críticos del modelo de cálculo, ya que en él se corrige la velocidad teórica admisible (calculada previamente) para convertirla en una velocidad operativa realista, que tenga en cuenta las necesidades de deceleración progresiva antes de llegar a una restricción: una parada en estación, una reducción brusca por curvatura o un límite de velocidad local. La lógica de estas columnas imita el comportamiento de un maquinista o sistema de conducción automática que, con antelación, adapta la velocidad del tren para que no se vea obligado a realizar frenadas bruscas o imprecisas.

Este procedimiento garantiza que el perfil final de velocidades del tren no solo sea técnicamente admisible, sino también operacionalmente viable y energéticamente eficiente.

		Nº puntos deceleración	...	3	4	5	...	24	25				
		26	Insertar tantas columnas como puntos de deceleración haya en la columna K. Las celdas en blanco son celdas que deben formularse a mano para la parte del M.U.A. Lo que hay que meter a mano es la parte que tiene números en lugar de la referencia a celdas. Se pone la velocidad y el PK del punto donde se produce la deceleración.										
		Nota 17	Nota 20	Nota 21			Nota 21		Nota 21		Nota 24		Nota 24
Posición de la cabeza del tren (recorrido del tren) [km]	Velocidad máxima admisible sin contar deceleraciones [km/h]	¿Es un punto final de deceleración? (1 es Sí, 0 es No)	...	Velocidad por deceleración del punto 3 [km/h]	Velocidad por deceleración del punto 4 [km/h]	Velocidad por deceleración del punto 5 [km/h]	...	Velocidad por deceleración del punto 24 [km/h]	Velocidad por deceleración del punto 25 [km/h]	Velocidad mínima de las deceleraciones [km/h]	Velocidad máxima admisible con deceleraciones [km/h]	Velocidad máxima menor admisible con deceleraciones (con margen de regulación) [km/h]	Velocidad máxima admisible con deceleraciones [km/h]
4,0	220	0		10000	290	712		2081	2130	290	220	215,6	220,0
4,1	220	0		10000	279	705		2079	2125	279	220	215,6	220,0
4,2	220	0		10000	267	703		2078	2127	267	220	215,6	220,0
4,3	220	0		10000	255	688		2076	2125	255	220	215,6	220,0
4,4	220	0		10000	241	684		2074	2124	241	220	215,6	220,0
4,5	220	0		10000	228	689		2073	2122	228	220	215,6	220,0
4,6	220	0		10000	213	684		2071	2121	213	213	208,7	213,0
4,7	220	0		10000	197	679		2070	2119	197	197	193,2	197,2
4,8	220	0		10000	180	673		2068	2118	180	180	178,4	180,0
4,9	220	0		10000	161	670		2067	2116	161	161	157,8	161,0
5,0	220	0		10000	139	665		2065	2115	139	139	136,6	139,0
5,1	220	0		10000	114	660		2064	2113	114	114	111,6	113,8
5,2	220	0		10000	85	655		2062	2111	85	85	73,9	85,5
5,3	0	1		10000	0	650		2060	2110	0	0	0,0	0,0
5,4	220	0		10000	10000	645		2059	2108	645	220	215,6	220,0
5,5	220	0		10000	10000	640		2057	2107	640	220	215,6	220,0
5,6	220	0		10000	10000	635		2056	2105	635	220	215,6	220,0
5,7	220	0		10000	10000	630		2054	2104	630	220	215,6	220,0
5,8	220	0		10000	10000	625		2053	2102	625	220	215,6	220,0
5,9	220	0		10000	10000	620		2051	2101	620	220	215,6	220,0

Imagen 16: Velocidad máxima admisible contando deceleraciones

Las columnas mostradas en la imagen forman parte del bloque más crítico y sofisticado de la hoja ya que en ellas se corrige la velocidad teórica admisible (calculada previamente) para convertirla en una velocidad operativa realista, que tenga en cuenta las necesidades de deceleración progresiva antes de llegar a una restricción: una parada en estación, una reducción brusca por curvatura o

un límite de velocidad local. La lógica de estas columnas imita el comportamiento de un maquinista o sistema de conducción automática que, con antelación, adapta la velocidad del tren para que no se vea obligado a realizar frenadas bruscas o imprecisas.

El método de cálculo empleado se basa en el principio de movimiento uniformemente acelerado (MUA) aplicado a la deceleración. En lugar de resolver el problema en orden natural (de inicio a fin), aquí se aplica una lógica inversa: desde cada punto de restricción (por ejemplo, una estación donde se debe llegar a 0 km/h), se proyecta hacia atrás una **curva de deceleración ideal** en la que se reduce progresivamente la velocidad tramo a tramo, de forma coherente con la deceleración máxima admisible y el espacio disponible.

Para implementar este enfoque en la hoja Excel, se ha creado un contador de puntos de deceleración. Este contador identifica automáticamente los tramos en los que existe una bajada súbita en la velocidad máxima admisible sin deceleraciones (por ejemplo, al pasar de 220 km/h a 0 km/h por la proximidad de una estación). A cada uno de estos puntos se le asigna su propia columna dedicada, de forma que el modelo pueda calcular, para ese caso concreto, la curva óptima de frenado.

Por tanto, por cada punto de deceleración detectado, se crea una nueva columna adicional con el formato “Velocidad por deceleración n [km/h]”, donde n es el número de la deceleración en orden creciente desde el inicio del recorrido.

Criterios de cálculo dentro de cada columna de deceleración

1. **En el tramo donde ocurre la restricción** (es decir, donde se debe alcanzar la velocidad mínima deseada, como 0 km/h en una estación), se copia directamente el valor de velocidad máxima sin deceleraciones para fijar la “meta” de esa curva de frenado.
2. **En los tramos posteriores (más adelante en el trayecto)** se asigna una velocidad ficticia extremadamente alta (1.000.000 km/h en este caso). Este

valor artificial garantiza que en la fase de combinación final esa velocidad no sea seleccionada como válida, asegurando que la lógica de frenado solo se aplique en los tramos previos al punto crítico.

3. **En los tramos anteriores (hacia atrás desde el punto de restricción)** se calcula, tramo a tramo, la velocidad máxima que permitiría llegar al punto de restricción aplicando la fórmula del movimiento uniformemente acelerado:

$$v = \sqrt{v_f^2 + 2a * d}$$

Donde:

- v es la velocidad máxima permitida en el tramo actual considerando la necesidad de frenar.
- v_f es la velocidad en el punto de restricción.
- a es la máxima deceleración permitida por la ETI Alta Velocidad (2,5 m/s² en este caso). Este valor viene definido en la hoja "Tren y Servicio".
- d es la distancia entre el tramo actual y el punto de restricción.

Este cálculo asegura que en cada tramo anterior a la restricción, el tren no exceda una velocidad que no pudiera reducir a tiempo mediante una frenada uniforme. Este enfoque permite generar un perfil suave y seguro de desaceleración, sin recurrir a cálculos instantáneos o saltos entre tramos.

Velocidad final contando las deceleraciones

Una vez generadas todas las columnas correspondientes a los distintos puntos de deceleración, se crea una última columna resumen que compara, para cada tramo, la velocidad:

- Máxima admisible sin contar deceleraciones.
- Todas las curvas de frenado proyectadas desde restricciones posteriores.

La **velocidad seleccionada para el cálculo final** será el mínimo entre todas ellas. De esta manera, el tren respeta siempre las limitaciones propias del trazado, pero además anticipa correctamente las frenadas necesarias para llegar

a los límites futuros sin necesidad de aplicar una deceleración excesiva o peligrosa.

A este valor combinado se le aplican además dos columnas adicionales que introducen **márgenes de regularidad operativa**, con el objetivo de suavizar los efectos de pequeñas oscilaciones en la velocidad o de discrepancias por limitaciones menores. El margen de regulación sirve además para que si la velocidad calculada está por encima de la velocidad máxima admisible considerando el margen superior, frena. Si está por debajo del margen de regulación, acelera. Si está comprendido entre el margen superior e inferior, solo interviene la resistencia total al avance que lo frena. Esto sirve para que en la gráfica de velocidades no haya saltos, sino pendientes.

3.5.4.- Resistencia al avance, fuerza de tracción/freno que hace el maquinista y velocidad real calculada del tren

En este apartado se resuelve numéricamente la ecuación de la dinámica longitudinal del tren, basada en el equilibrio entre fuerzas motrices y resistencias. El objetivo es determinar en cada tramo la fuerza neta que actúa sobre el tren, su aceleración, y la velocidad final alcanzada.

Posición de la cabeza del tren (recorrido del tren) [km]	Velocidad máxima admisible con deceleraciones [km/h]	Resistencia al avance en recta (Ra) [daN]	Radio curva [m]	Resistencia curva (Rc) [daN]	Inclinación [mm/m]	Resistencia a la gravedad (Rg) [daN]	Resistencia al avance total (recta + curva + gravedad) [daN]
4,0	220	-2594	1000000	0	0,00	0	-2594
4,1	220	-2622	1000000	0	0,00	0	-2623
4,2	220	-2651	1000000	0	0,00	0	-2651
4,3	220	-2678	1000000	0	0,00	0	-2679
4,4	220	-2706	1000000	0	0,00	0	-2706
4,5	220	-2733	1000000	0	0,00	0	-2733
4,6	213	-2762	1000000	0	0,00	0	-2762
4,7	197	-2795	1000000	0	0,00	0	-2795
4,8	180	-2833	1000000	0	0,00	0	-2833
4,9	161	-2448	1000000	0	0,00	0	-2448
5,0	139	-1961	2500	-50	0,00	0	-2011
5,1	114	-1463	2500	-50	0,00	0	-1512
5,2	80	-941	2500	-50	-1,00	207	-784
5,3	0	-281	2500	-50	-1,00	207	-124
5,4	220	-685	1000000	0	-1,00	207	-478
5,5	220	-982	1000000	0	-1,00	207	-775
5,6	220	-1033	1000000	0	-1,00	207	-827
5,7	220	-1084	1000000	0	0,20	-41	-1125

Nota 19		Nota 18		Nota 16 y 22	
Fuerza tracción disponible [dN]	Fuerza freno disponible [dN]	Fuerza tracción o freno que hace maquinista [daN]	Fuerza neta [daN]	Aceleración media [km/h ²]	Velocidad final máxima calculada [km/h]
6153	-18000	5538	2944	1845,15	164,8
6153	-18000	5538	2915	1827,30	165,9
6153	-18000	5538	2887	1809,64	167,0
6153	-18000	5538	2859	1792,17	168,0
6153	-18000	5538	2832	1774,88	169,1
6356	-18000	5720	2987	1872,19	170,2
6865	-18000	6179	3416	2141,44	171,5
7520	-18000	6768	3973	2490,47	172,9
8408	-18000	-17100	-19933	-12494,50	165,5
9709	-18000	-17100	-19548	-12252,90	149,8
11891	-18000	-17100	-19111	-11978,86	127,6
16816	-18000	-17100	-18612	-11666,38	100,6
0	-18000	-17100	-17884	-11209,98	63,1
30000	-18000	27000	26876	16846,33	58,0
30000	-18000	27000	26522	16624,44	81,8
6153	-18000	5538	4762	2985,12	85,4
6153	-18000	5538	4711	2952,95	88,8
6153	-18000	5538	4413	2765,87	91,8

Imagen 17: Resistencia al avance, fuerza de tracción/freno que hace el maquinista y velocidad real calculada del tren

Resistencia al avance total (R)

La columna de resistencia al avance total representa la suma de tres resistencias clave que se oponen al movimiento del tren:

$$R = R_a + R_c + R_g$$

➤ **R_a representa la resistencia al avance**

La resistencia al avance representa la **suma de todas las fuerzas que se oponen al movimiento natural del tren**, incluso en tramos llanos, sin curvas ni pendientes. Proviene de varios fenómenos físicos: fricción de los elementos mecánicos (ejes, cojinetes), rozamiento con el aire (aerodinámica), pérdidas por fricción del contacto rueda-carril y energía disipada en los sistemas auxiliares del vehículo.

En el modelo ferroviario, la forma más común de expresar la resistencia al avance es la **fórmula empírica de Davis**, que establece la resistencia total en función de la velocidad del tren mediante una expresión polinómica:

$$R_a = A + B * v + C * v^2$$

donde:

- R_a : resistencia al avance (en decanewtons, daN).
- v : velocidad del tren (km/h).
- A , B y C : coeficientes empíricos característicos del tren, definidos por su diseño y operación.

Cada uno de estos términos representa un tipo distinto de fenómeno físico:

- **Término A. Resistencia constante (independiente de la velocidad):** Este componente recoge la fricción de tipo mecánico presente incluso cuando el tren está a punto de iniciar la marcha o circula a velocidad muy baja. Abarca:
 - Fricción en cojinetes, cajas de grasa y engranajes.
 - Pérdidas estructurales por rodadura.
 - Peso de la maquinaria en movimiento.

Este término es constante y se expresa en daN, lo que implica que su efecto es más significativo a bajas velocidades.

- **Término $B \cdot v$. Resistencia lineal con la velocidad:** Este componente tiene carácter dinámico y depende de la velocidad. Representa:
 - Pérdidas por fricción en sistemas auxiliares como ventiladores, compresores, etc.
 - Interacción entre partes móviles internas del tren.
 - Arrastre de aire en partes no aerodinámicas del tren.

A velocidades medias, este término comienza a tener un peso apreciable.

- **Término $C \cdot v^2$. Resistencia aerodinámica:** Este es el término cuadrático, dominante a altas velocidades. Representa:
 - Fricción del aire sobre la superficie mojada del tren (pellejo del tren).
 - Presión de impacto frontal (resistencia de forma).
 - Turbulencias en elementos exteriores como pantógrafos, equipos en techo y bajos.

A velocidades superiores a 150–200 km/h, este término suele superar en magnitud a los otros dos, por lo que la resistencia crece exponencialmente con la velocidad, lo que tiene un impacto directo en el consumo energético.

➤ **R_c representa la resistencia a la curva**

La resistencia al avance debida a la curva es una componente específica de la resistencia total que aparece cuando un tren circula por un trazado curvo, y su origen se atribuye a tres fenómenos fundamentales: la solidaridad de las ruedas y los ejes (que impide que las ruedas giren de forma independiente en curvas), el paralelismo obligado de los ejes (que provoca deslizamientos laterales entre las ruedas y el carril), y la acción de la fuerza centrífuga que tiende a desplazar al tren hacia el exterior de la curva.

Estos efectos generan una fuerza longitudinal que se opone al avance del tren, y que se traduce en un sobreconsumo energético y una posible reducción de velocidad. De forma empírica, se ha determinado que esta resistencia puede cuantificarse con una expresión proporcional a la masa del tren e inversamente proporcional al radio de la curva.

Para vía de ancho ibérico (1668 mm), la fórmula es: $R_{ac} = -\frac{M \cdot 800}{R}$

Para vía internacional (1435 mm) se emplea: $R_{ac} = -\frac{M \cdot 600}{R}$

- R_{ac} es la resistencia al avance en daN.
- M es la masa del tren en toneladas.
- R es el radio de la curva en metros.

Como se observa, esta resistencia disminuye rápidamente a medida que aumenta el radio, siendo despreciable en tramos prácticamente rectos, pero significativa en curvas cerradas o en zonas de montaña.

➤ **R_g representa la resistencia a la gravedad**

Es derivada de la pendiente del trazado. Se calcula con:

$$R_g = m * g * \text{sen}(\alpha) \approx m * i$$

Donde *i* es la pendiente longitudinal del tramo en mm/m. Esta fuerza puede ser positiva (si el tren sube) o negativa (si baja).

Estas tres resistencias se combinan para obtener la **resistencia total al avance**:

Fuerza de tracción disponible y ejercida

La fuerza de tracción es la capacidad del tren de acelerar. Este modelo considera dos casos distintos según la velocidad del tren para simular la gráfica de fuerza tractiva de la locomotora.

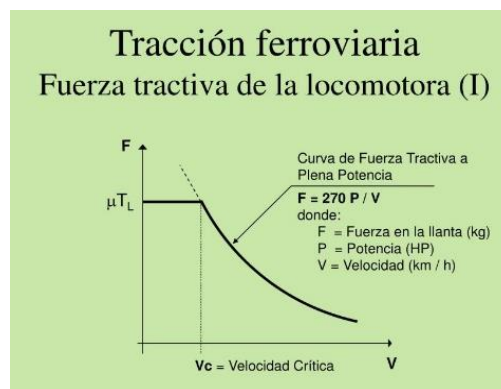


Imagen 18: Curva de tracción de un tren

(Emily. (s.f.). Ingeniería del transporte I: Transporte ferroviario. Unidad 6:

Dinámica de la tracción ferroviaria [Presentación de diapositivas]. SlideServe.

<https://www.slideserve.com/emily/ingenieria-del-transporte-i-transporte-ferroviario-unidad-6-din-mica-de-la-tracci-n-ferroviaria>)

- Si la velocidad es inferior a 60 km/h (valor especificado como “velocidad limitada por la adherencia” en “Tren y Servicio”), se aplica la fuerza máxima de tracción por adherencia, introducida directamente en el Excel como un valor constante (30.000 daN en este caso). Este límite refleja la capacidad del tren de transferir potencia al rail sin patinar, y es propio del diseño del tren.

- Si la velocidad supera los 60 km/h, se entra en la fase de tracción limitada por potencia, y se usa la fórmula hiperbólica clásica: " $F_{\text{tracción}} = 270 * P / v$ ".

Donde P es la potencia efectiva del tren (en kW) y v la velocidad en km/h.

Esta curva es decreciente con la velocidad, y reproduce fielmente el comportamiento observado en locomotoras: gran fuerza en arranques, menor esfuerzo a alta velocidad.

Este valor representa el límite teórico superior. Sin embargo, en la realidad operativa, los trenes no aplican esta fuerza de forma instantánea o constante. La hoja contempla esta lógica realista diferenciando entre:

- **Fuerza de tracción disponible:** la máxima que podría aplicarse, según adherencia o potencia.
- **Fuerza aplicada por el maquinista:** la que realmente se ejerce, en función de si el tren necesita acelerar. Si el tren ya circula a velocidad máxima admisible, no se aplica tracción adicional. Esta fuerza no es constante y puede representarse como un porcentaje de F_t (ej. 80–90 %), simulando una conducción suave.

Del mismo modo, la hoja contempla una **fuerza de frenado máxima**, calculada a partir de las características del tren y su deceleración límite. Esta fuerza se aplica cuando la velocidad final deseada en el tramo siguiente es menor que la actual. Nuevamente, se introduce un factor de utilización (por ejemplo, 85 %) para reflejar que rara vez se usan los frenos al máximo.

Fuerza neta

La fuerza neta es la resultante de restar las resistencias al avance (por rozamiento, pendiente y curva) a la fuerza ejercida por el maquinista mediante la tracción del tren. Indica si el tren acelera (fuerza neta positiva), mantiene velocidad (fuerza neta cero) o frena (fuerza neta negativa).

Aceleración y velocidad final

Conocidas la fuerza neta y la masa total del tren se aplica la segunda ley de Newton: “ $a = F_{\text{neta}} / m$ ”

Esta aceleración media en cada tramo de 100 metros del trazado permite calcular la velocidad al final del tramo mediante el modelo de movimiento uniformemente acelerado. Este valor se almacena en la columna “**Velocidad final máxima calculada**”, que se convierte en la velocidad de entrada para el siguiente tramo.

3.5.5.- Velocidad real del tren y tiempos de recorrido

Una vez resuelta la dinámica longitudinal del tren tramo a tramo, y calculada la velocidad final resultante en función de la fuerza neta y la aceleración media, es necesario aplicar una fase de **verificación y ajuste de la velocidad** para garantizar que se respetan todas las restricciones impuestas por el trazado. A partir de ese ajuste, se recalculan las aceleraciones definitivas y se determina el tiempo real de paso por cada tramo. Las columnas representadas en esta sección de la hoja “Cálculo de Marchas” realizan precisamente estas tareas y cierran el cálculo técnico del comportamiento del tren en la simulación.

Posición de la cabeza del tren (recorrido del tren) [km]	Velocidad inicial (km/h)	Velocidad máxima admisible con deceleraciones [km/h]	Nota 24	Nota 24	Velocidad final máxima calculada [km/h]	Comprobación para ver si Velocidad máxima calculada es menor que la admisible	Velocidad final con restricciones de velocidades [km/h]
			Velocidad máxima menor admisible con deceleraciones (con margen de regulación) [km/h]	Velocidad máxima mayor admisible con deceleraciones [km/h]			
4,0	163,7	220	215,6	220,0	164,8	OK	164,8
4,1	164,8	220	215,6	220,0	165,9	OK	165,9
4,2	165,9	220	215,6	220,0	167,0	OK	167,0
4,3	167,0	220	215,6	220,0	168,0	OK	168,0
4,4	168,0	220	215,6	220,0	169,1	OK	169,1
4,5	169,1	220	215,6	220,0	170,2	OK	170,2
4,6	170,2	213	208,7	213,0	171,5	OK	171,5
4,7	171,5	197	193,2	197,2	172,9	OK	172,9
4,8	172,9	180	176,4	180,0	165,5	REDUCIR VELOCIDAD	157,8
4,9	157,8	161	157,8	161,0	149,8	REDUCIR VELOCIDAD	136,6
5,0	136,6	139	136,6	139,4	127,6	REDUCIR VELOCIDAD	111,6
5,1	111,6	114	111,6	113,8	100,6	REDUCIR VELOCIDAD	78,9
5,2	78,9	80	78,9	80,5	63,1	REDUCIR VELOCIDAD	0,0
5,3	0,0	0	0,0	0,0	58,0	OK	58,0
5,4	58,0	220	215,6	220,0	81,8	OK	81,8
5,5	81,8	220	215,6	220,0	85,4	OK	85,4
5,6	85,4	220	215,6	220,0	88,8	OK	88,8
5,7	88,8	220	215,6	220,0	91,8	OK	91,8

Aceleración media con restricciones de velocidades [km/h ²]	Tiempo mínimo por tramo [s]	Tiempo de parada [s]	Tiempo mínimo acumulado [s]
1845,1	2	0	126
1827,3	2	0	128
1809,6	2	0	130
1792,2	2	0	132
1774,9	2	0	134
1872,2	2	0	136
2141,4	2	0	139
2490,5	2	0	141
-25000,6	2	0	143
-31117,0	2	0	145
-31117,0	3	0	148
-31117,0	4	0	152
-31117,0	9	0	161
16846,3	12	120	293
16624,4	5	0	299
2985,1	4	0	303
2952,9	4	0	307
2765,9	4	0	311
2736,5	4	0	315

Imagen 19: Velocidad real del tren y tiempos de recorrido

Verificación y ajuste de la velocidad final

La columna de verificación de la tabla se centra en comparar la velocidad final calculada con la velocidad máxima admisible en el siguiente tramo. Dado que las velocidades máximas pueden variar de un tramo a otro (por la presencia de curvas, túneles, estaciones, pendientes, etc.), es posible que la velocidad final obtenida inicialmente por aceleración sea superior a la permitida más adelante.

Para asegurar una transición segura entre tramos, se introduce una columna de verificación lógica con un mensaje simple:

- **“OK”**: si la velocidad final calculada no supera la máxima admisible del siguiente tramo.
- **“REDUCIR VELOCIDAD”**: si la velocidad final excede la máxima permitida inmediatamente después.

Cuando el resultado es “REDUCIR VELOCIDAD”, el modelo fuerza la velocidad final de ese tramo a igualarse a la velocidad máxima admisible, garantizando así que no se infrinjan los límites del trazado ni se comprometa la seguridad operativa.

Esta comprobación representa un control fundamental que asegura la coherencia de la simulación y permite respetar las limitaciones de infraestructura impuestas por el gestor ferroviario.

La columna “**Velocidad final con restricciones de velocidades**” refleja la velocidad realmente adoptada al final de cada tramo, una vez aplicado el ajuste anterior. Si no se requiere corrección, esta velocidad coincide con la calculada mediante dinámica; si sí se requiere, se sustituye por la máxima admisible siguiente.

Este valor se convierte en la velocidad inicial del siguiente tramo y se utiliza como base para recalcular la aceleración media y el tiempo de recorrido.

Aceleración media con restricciones de velocidad

A continuación, se determina la **aceleración media corregida** con las velocidades ya ajustadas. Esta se calcula mediante la ecuación del movimiento uniformemente acelerado ya que se tienen las velocidades iniciales y finales de cada tramo. Esta aceleración representa el ritmo real al que el tren cambia de velocidad a lo largo del tramo, ya sea acelerando, frenando o manteniéndose constante. Su signo y magnitud son indicadores de la dinámica del tren y de la suavidad de su comportamiento.

Cálculo de los tiempos de recorrido

Una vez establecida la aceleración, se calcula el **tiempo mínimo requerido para recorrer el tramo** con la fórmula:

$$t = \frac{v_f - v_i}{a}$$

Este cálculo es válido siempre que la aceleración no sea cero. En el caso de velocidad constante (aceleración nula), se usa la relación:

$$t = \frac{d}{v}$$

El valor resultante representa el **tiempo teórico mínimo que necesita el tren para pasar de la velocidad inicial a la final** en ese tramo.

Este tiempo se introduce en la columna “Tiempo mínimo por tramo [s]” y es uno de los valores más importantes del modelo, ya que alimenta posteriormente los cálculos de tiempos acumulados, malla de horarios y velocidad media comercial.

La columna “**Tiempo de parada**” recoge el tiempo que el tren permanece detenido en estaciones, según lo introducido en la hoja “Datos de la Línea”. Este valor solo aparece en las filas correspondientes a tramos con parada programada.

Finalmente, el modelo acumula tanto el tiempo mínimo de recorrido como los tiempos de parada en la columna “**Tiempo mínimo acumulado**”, construyendo así una cronología continua del desplazamiento del tren desde su salida inicial hasta su destino final.

En conclusión, estas columnas representan el tramo final del cálculo técnico del movimiento del tren, aplicando una lógica realista de corrección de velocidades, cálculo definitivo de aceleraciones y determinación de tiempos. Gracias a esta verificación final, el modelo garantiza que todas las velocidades se mantienen dentro de los límites operativos, y que los tiempos obtenidos reflejan una circulación posible y segura, ajustada a la infraestructura y al tipo de tren simulado. Estos resultados se convierten en la base para el análisis de tiempos de viaje, la generación de horarios y la planificación de la explotación ferroviaria.

3.5.6.- Consumo de energía

La sección final de la hoja “Cálculo de Marchas” está dedicada al análisis del comportamiento energético del tren, en particular al balance de energía consumida y regenerada durante su circulación. Este cálculo se realiza tramo a tramo a lo largo del recorrido, permitiendo identificar con precisión la demanda eléctrica instantánea del tren y su intercambio neto con la catenaria a través del pantógrafo. Esta información es fundamental para evaluar la viabilidad de la infraestructura de electrificación, la eficiencia energética global del sistema y la

necesidad de instalaciones complementarias como subestaciones o sistemas de recuperación.

				Energía importada en pantógrafo en el trayecto [kWh / m]	Energía exportada en pantógrafo en el trayecto [kWh / m]	Energía neta en pantógrafo en el trayecto [kWh / m]
				13,63	-2,79	10,84

Estación	Posición de la cabeza del tren (recorrido del tren) [km]	Energía consumida en llanta [kWh]	Energía consumida por auxiliares [kWh]	Energía importada en pantógrafo [kWh]	Energía exportada en pantógrafo [kWh]	Energía neta en pantógrafo [kWh]
	4,0	1,54	0,11	1,74	0,00	1,74
	4,1	1,54	0,11	1,74	0,00	1,74
	4,2	1,54	0,11	1,74	0,00	1,74
	4,3	1,54	0,11	1,74	0,00	1,74
	4,4	1,54	0,11	1,74	0,00	1,74
	4,5	1,59	0,11	1,79	0,00	1,79
	4,6	1,72	0,11	1,92	0,00	1,92
	4,7	1,88	0,11	2,09	0,00	2,09
	4,8	-4,75	0,11	0,00	-4,88	-4,88
	4,9	-4,75	0,13	0,00	-4,87	-4,87
	5,0	-4,75	0,15	0,00	-4,84	-4,84
	5,1	-4,75	0,20	0,00	-4,79	-4,79
	5,2	-4,75	0,48	0,00	-4,50	-4,50
Alfaro	5,3	7,50	0,65	8,58	0,00	8,58
	5,4	7,50	0,27	8,18	0,00	8,18
	5,5	1,54	0,22	1,86	0,00	1,86
	5,6	1,54	0,22	1,85	0,00	1,85
	5,7	1,54	0,21	1,84	0,00	1,84

Imagen 20: Consumo de energía

Las primeras columnas de este bloque representadas en esta tabla están relacionadas con la energía del tren en distintos conceptos:

- **Energía consumida en llanta [kWh]:** representa la energía directamente utilizada para vencer las resistencias al avance y generar movimiento. Se obtiene a partir del trabajo realizado por la fuerza neta efectiva del tren, multiplicada por la distancia recorrida en el tramo.
- **Energía consumida por auxiliares [kWh]:** se refiere a la energía necesaria para alimentar los sistemas auxiliares del tren (ventilación, climatización, iluminación, puertas, etc.). Este valor se introduce o estima en la hoja “Tren y Servicio” como un valor constante o dependiente del número de pasajeros.

Aunque su valor es pequeño en comparación con la tracción, su impacto es relevante en trayectos con muchas paradas o a baja velocidad.

- **Energía importada en pantógrafo [kWh]:** es la energía total suministrada al tren a través del pantógrafo. No es simplemente la suma de la energía en llanta y auxiliares, sino que incluye también el efecto de las pérdidas del sistema. Estas pérdidas pueden deberse a:
 - Eficiencia de la cadena de tracción (rendimiento de inversores, motores, etc.),
 - Consumo de equipos intermedios,
 - Calentamiento de cables, rozamientos internos y transformaciones energéticas.Por ello, este valor suele ser ligeramente superior a la suma de consumos internos divididos entre los rendimientos de tracción y auxiliares.
- **Energía exportada en pantógrafo [kWh]:** esta columna recoge la energía que el tren devuelve a la red eléctrica durante fases de frenado regenerativo. Si el tren desciende una pendiente o frena, puede usar sus motores en modo generador para devolver parte de la energía cinética. Esta exportación permite reducir el consumo neto y alimentar a otros trenes o devolver energía al sistema.
- **Energía neta en pantógrafo [kWh]:** es el resultado de restar la energía exportada de la energía importada. Este valor indica cuánta energía neta ha absorbido el tren del sistema eléctrico en cada tramo. Un valor negativo indica que el tren ha devuelto más energía de la que ha consumido, mientras que un valor positivo refleja una demanda neta.

En la parte superior del bloque se presenta un resumen del consumo medio energético a lo largo de todo el trayecto de 74 km. Se indican tres valores clave:

- Energía importada por kilómetro [kWh/km]: 13,63
- Energía exportada por kilómetro [kWh/km]: -2,79
- Energía neta por kilómetro [kWh/km]: 10,84

Este primer valor de energía importada en pantógrafo nos indica que los cálculos están bien realizados, ya que diversos estudios y manuales técnicos especializados sitúan que la media típica de trenes eléctricos en líneas de características similares (velocidades intermedias, servicio con paradas, trenes tipo Avant o Alvia) se sitúa en torno a 10 a 15 kWh por kilómetro, por lo que el resultado de esta simulación (13,63 kWh/km) se encuentra dentro del rango esperado y valida la coherencia del modelo.

Como conclusión se puede decir que el análisis energético incluido en el modelo Excel proporciona un diagnóstico completo del comportamiento del tren en términos de consumo eléctrico. A través de la descomposición en consumo por tracción, auxiliares, pérdidas y regeneración, se puede estimar de forma precisa la demanda sobre el sistema eléctrico ferroviario. Este tipo de cálculo resulta esencial para comprobar la suficiencia de las subestaciones planteadas, prever el consumo en explotación real y diseñar sistemas de recuperación energética eficientes.

3.6.- Hoja nº5: Marcha comercial

La pestaña “Marcha Comercial” constituye la culminación del modelo de simulación ferroviaria, donde se transforman los resultados dinámicos y energéticos en datos directamente útiles para la planificación horaria, el diseño de mallas de circulación y el análisis operativo de la línea. A partir de las velocidades reales obtenidas tramo a tramo en la hoja “Cálculo de Marchas”, esta hoja calcula los tiempos parciales y acumulados, incorpora los márgenes de regularidad, y genera un resumen estructurado con los tiempos de llegada y salida en cada estación, ajustados a una hora de salida definida manualmente.

Imagen 21: Hoja nº5. Marcha comercial

3.6.1.- Tiempos de llegada en cada tramo

En esta sección de la hoja “Marcha Comercial”, el modelo toma directamente los resultados generados en la hoja “Cálculo de Marchas”, específicamente, los tiempos mínimos de paso por cada tramo expresados en segundos, y los convierte a un formato legible de horas, minutos y segundos (hh:mm:ss). Este paso no implica un nuevo cálculo físico, sino una transformación de unidades para facilitar la interpretación y la elaboración de horarios comprensibles. Esta conversión es fundamental para construir la cronología de llegada y salida del tren en cada punto de control a lo largo del trayecto.

Km del proyecto	Punto de Control	Tiempo mínimo por tramo [s]	Tiempo parada [s]	Tiempos Marcha Mínima		Margen impuesto [%]	Tiempos Marcha Margen regularidad	
				Llegada [hh:mm:ss]	Salida [hh:mm:ss]		Llegada [hh:mm:ss]	Salida [hh:mm:ss]
0	Castejón	0:00:13	0:00:00	-	0:00:00	5	-	0:00:00
0,1		0:00:05	0:00:00	0:00:13	0:00:13	5	0:00:13	0:00:13
0,2		0:00:04	0:00:00	0:00:18	0:00:18	5	0:00:19	0:00:19
0,3		0:00:04	0:00:00	0:00:22	0:00:22	5	0:00:23	0:00:23
0,4		0:00:04	0:00:00	0:00:26	0:00:26	5	0:00:27	0:00:27
0,5		0:00:04	0:00:00	0:00:30	0:00:30	5	0:00:31	0:00:31
0,6		0:00:04	0:00:00	0:00:34	0:00:34	5	0:00:35	0:00:35
0,7		0:00:04	0:00:00	0:00:37	0:00:37	5	0:00:39	0:00:39
0,8		0:00:03	0:00:00	0:00:41	0:00:41	5	0:00:43	0:00:43
0,9		0:00:03	0:00:00	0:00:44	0:00:44	5	0:00:46	0:00:46
1		0:00:03	0:00:00	0:00:48	0:00:48	5	0:00:50	0:00:50
1,1		0:00:03	0:00:00	0:00:51	0:00:51	5	0:00:53	0:00:53
1,2		0:00:03	0:00:00	0:00:54	0:00:54	5	0:00:56	0:00:56
1,3		0:00:03	0:00:00	0:00:57	0:00:57	5	0:01:00	0:01:00
1,4		0:00:03	0:00:00	0:01:00	0:01:00	5	0:01:03	0:01:03
1,5		0:00:03	0:00:00	0:01:03	0:01:03	5	0:01:06	0:01:06
1,6		0:00:03	0:00:00	0:01:05	0:01:05	5	0:01:09	0:01:09
1,7		0:00:03	0:00:00	0:01:08	0:01:08	5	0:01:12	0:01:12
1,8		0:00:03	0:00:00	0:01:11	0:01:11	5	0:01:14	0:01:14
1,9		0:00:03	0:00:00	0:01:14	0:01:14	5	0:01:17	0:01:17
2		0:00:03	0:00:00	0:01:16	0:01:16	5	0:01:20	0:01:20
2,1		0:00:03	0:00:00	0:01:19	0:01:19	5	0:01:23	0:01:23
2,2		0:00:03	0:00:00	0:01:21	0:01:21	5	0:01:26	0:01:26
2,3		0:00:03	0:00:00	0:01:24	0:01:24	5	0:01:28	0:01:28
2,4		0:00:02	0:00:00	0:01:27	0:01:27	5	0:01:31	0:01:31

Imagen 22: Tiempos de llegada en cada tramo

Estos **tiempos de marcha mínima** se van acumulando de forma secuencial desde el punto de origen hasta el destino, generando así una curva de tiempo acumulado que representa el avance del tren a lo largo del trayecto.

Aunque la marcha técnica obtenida representa el mejor comportamiento posible del tren desde el punto de vista físico, no siempre es el más deseable en operación comercial. Por ello, se introduce un **margen de regularidad** (por ejemplo 5 %). Este margen se aplica de forma porcentual a los tiempos mínimos entre estaciones, simulando los segundos extra que se añaden en horarios reales para absorber pequeñas perturbaciones (como ralentizaciones, cambios de señal o presencia de otros trenes).

La marcha resultante, conocida como “**marcha con márgenes de regularidad**”, constituye una propuesta más realista para ser utilizada en explotación ferroviaria, y proporciona una base robusta para elaborar horarios, ajustar frecuencias y analizar compatibilidades entre servicios.

3.6.2.- Tabla resumen del modelo de cálculo

Esta tabla principal resume los resultados de tiempo en tres formatos distintos en cada una de las paradas programadas en estaciones. Además permite introducir el margen de regularidad que se desea aplicar y la hora exacta a la que comienza el recorrido del tren en el km 0 del proyecto.

También ofrece un resumen de velocidad media del tren en el recorrido total y la energía neta del trayecto en el pantógrafo según el tipo de tren utilizado.

	Introducir estos valores manualmente				Alvía s120					
Margen de regularidad (%)	5		Velocidad media para el trayecto del tren [km/h]		163					
Hora de salida (hh:mm:ss)	10:00:00		Energía neta del trayecto en el pantógrafo [kWh/m]		10,84					
RESUMEN DE CÁLCULO DE MARCHAS										
Punto de Control	Tiempos Marcha Mínima			Tiempos Marcha con márgenes de regularidad				Tiempos Marcha Comercial		
	Tiempo parada [hh:mm:ss]	Llegada [hh:mm:ss]	Salida [hh:mm:ss]	Margen impuesto [%]	Tiempo parada [hh:mm:ss]	Llegada [hh:mm:ss]	Salida [hh:mm:ss]	Tiempo parada [hh:mm:ss]	Llegada [hh:mm:ss]	Salida [hh:mm:ss]
Castejón	0:00:00	-	10:00:00	5	0:00:00	-	10:00:00	0:00:00	-	10:00:00
Alfaro	0:02:00	10:02:41	10:04:41	5	0:02:00	10:02:49	10:04:55	0:02:00	10:02:00	10:04:00
Rincón de Soto	0:00:30	10:08:54	10:09:24	5	0:00:30	10:09:20	10:09:52	0:00:30	10:09:00	10:09:00
Calahorra	0:02:00	10:14:42	10:16:42	5	0:02:00	10:15:26	10:17:32	0:02:00	10:15:00	10:17:00
Arrúbal	0:00:30	10:27:48	10:28:18	5	0:00:30	10:29:11	10:29:42	0:00:30	10:29:00	10:29:00
Agoncillo	0:00:30	10:30:14	10:30:44	5	0:00:30	10:31:44	10:32:16	0:00:30	10:31:00	10:32:00
Recajo	0:00:30	10:33:06	10:33:36	5	0:00:30	10:34:45	10:35:16	0:00:30	10:34:00	10:35:00
Logroño	0:00:00	10:36:54	-	5	0:00:00	10:38:45	-	0:00:00	10:39:00	-

Imagen 23: Tabla resumen del modelo de cálculo

La tabla principal que aparece resume los resultados de tiempo en tres formatos distintos:

1. Tiempos de Marcha Mínima

En esta sección se muestra el recorrido del tren sin márgenes añadidos:

- **Tiempo de parada:** indica el tiempo que el tren permanece detenido en cada estación, según lo introducido en la hoja “Datos de la línea”.
- **Hora de llegada:** se calcula como la suma de los tiempos mínimos de recorrido desde la salida, acumulando también las paradas previas.
- **Hora de salida:** coincide con la hora de llegada más el tiempo de parada. La primera salida es la hora fijada manualmente (en este caso, 10:00:00).

Estos tiempos representan el escenario más optimista: ningún retraso, máximo rendimiento técnico.

2. Tiempos de Marcha con márgenes de regularidad

Esta sección aplica un **margen impuesto** (por ejemplo, 5 %) a los tiempos mínimos de cada tramo:

- **Tiempo con margen:** es la suma del tiempo mínimo más el margen, tramo a tramo.
- **Hora de llegada y hora de salida:** se recalculan acumulando estos nuevos tiempos más los tiempos de parada. Esto proporciona una estimación horaria ajustada a la realidad operativa.

Es en esta columna donde se basa habitualmente la planificación de horarios para trenes regulares, ya que permite una cierta holgura que garantiza puntualidad y fiabilidad del servicio.

3. Tiempos de Marcha Comercial

Finalmente, se ofrece una tercera sección que puede adaptarse manualmente si se desea imponer una estructura horaria concreta (por ejemplo, salidas exactas en formato hh:mm (sin contar segundos)). En esta sección:

- Se pueden editar las horas de llegada y salida directamente,
- Se respetan las paradas programadas,
- Se construye un horario comercial compatible con los objetivos de planificación.

Esta sección puede ser especialmente útil para comparar distintas hipótesis de explotación, como frecuencias punta, horarios adaptados a otros servicios o coordinación con trenes de mercancías.

3.7.- Hoja nº6: Gráficas Resultados

La última hoja del modelo desarrollado en Excel está dedicada a la representación gráfica de los resultados obtenidos en las simulaciones dinámicas y energéticas. Su función principal es ofrecer una visualización clara e intuitiva de las variables clave calculadas en las hojas anteriores, facilitando la interpretación global del comportamiento del tren a lo largo del recorrido.

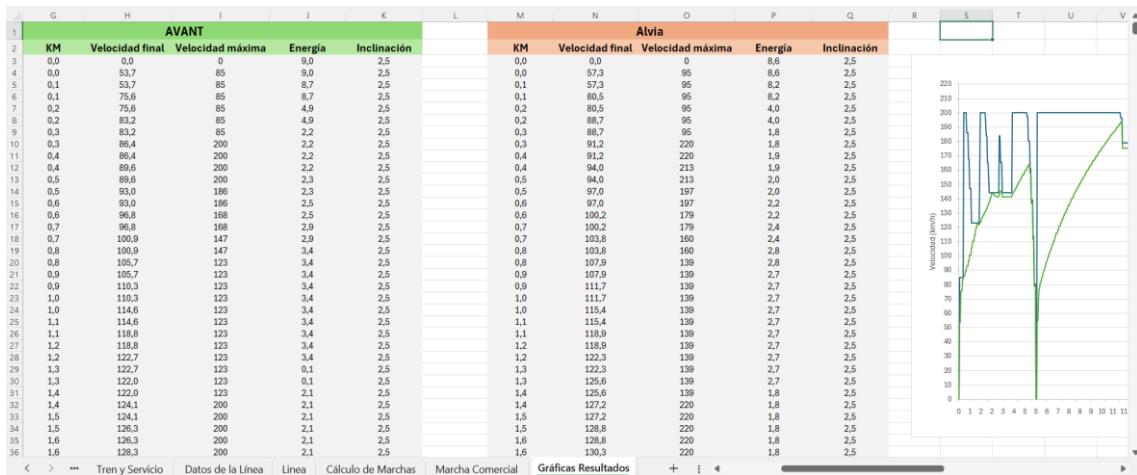


Imagen 24: Hoja n°6. Gráficas Resultados

Entre los gráficos generados se incluyen las curvas de velocidad frente al kilometraje, la evolución acumulada de la energía neta intercambiada con la catenaria, el consumo específico por tramo y comparativas entre distintos escenarios de simulación. Estos elementos permiten detectar visualmente posibles tramos críticos, zonas de alto consumo energético o fases de recuperación por frenado regenerativo, entre otros aspectos relevantes.

No obstante, esta hoja no realiza nuevos cálculos, sino que toma los datos ya procesados y los organiza en gráficos automatizados, listos para su análisis técnico. Su papel es, por tanto, de apoyo a la toma de decisiones, complementando la parte numérica del modelo con una lectura más accesible y visual de los resultados.

El análisis detallado de las gráficas generadas y las conclusiones que se derivan de ellas se desarrollarán en el siguiente capítulo, dedicado a la discusión de resultado.

Capítulo 4

Resultados. Análisis y Discusión

En este capítulo del trabajo se presentan los resultados obtenidos en respuesta dinámica a las simulaciones del modelo de cálculo para los dos trenes de estudio, Alvia y Avant, en el trazado del proyecto Castejón-Logroño.

Estas gráficas son generadas automáticamente por el mismo modelo en la hoja “Gráficas Resultados” para una mejor comprensión de los resultados obtenidos y una lectura más fácil por parte del usuario para identificar posibles problemas e identificación de comportamientos inusuales del tren.

Además, se comentará una malla de circulación elaborada específicamente para este trayecto a partir de los tiempos calculados por el modelo con los trenes Alvia y Avant, que serán los operativos en esta línea. Estas mallas se contrastarán con las actualmente existentes, construidas a partir de los horarios oficiales de trenes de acceso público, lo que permitirá valorar la validez del modelo como herramienta para el diseño y análisis de explotaciones ferroviarias reales.

4.1.- Resultados para un tren tipo Avant Serie 104

En este apartado se analizan los resultados de la simulación realizada para un tren tipo Avant Serie 104. Se estudia la evolución de su velocidad a lo largo del recorrido, comparándola con la velocidad máxima admisible por la infraestructura. Además, se examina el consumo energético, incluyendo tanto la energía demandada como la regenerada. En todo este análisis se identificarán los factores que influyen en el rendimiento del tren.

4.1.1.- Velocidad real del tren frente a la velocidad máxima admisible

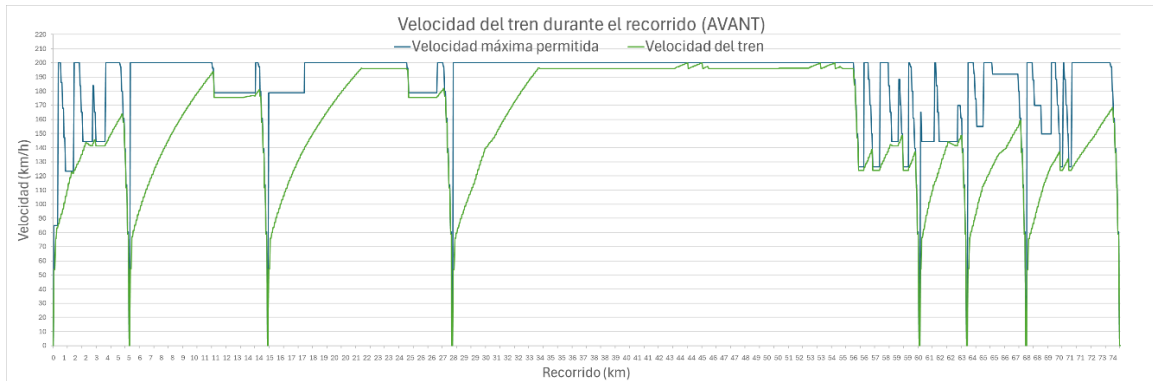


Imagen 25: Gráfica de velocidades para tren Avant

La gráfica superior muestra el comportamiento dinámico del tren tipo Avant a lo largo del recorrido Castejón–Logroño, comparando la velocidad real alcanzada con la velocidad máxima admisible por infraestructura. Se observa cómo en muchos tramos la velocidad del tren se mantiene por debajo del límite permitido. Este fenómeno se debe, principalmente, a la necesidad de frenar progresivamente ante próximas restricciones, paradas en estaciones o tramos con menores exigencias de velocidad, y no a una limitación técnica del tren. En ese sentido, la velocidad real simulada refleja un escenario operativo más fiel a la circulación real, mientras que la velocidad máxima representa un valor teórico ideal que no siempre puede alcanzarse.

Una característica especialmente relevante en la curva de velocidad real es la presencia de transiciones suaves y progresivas antes de cada frenada o parada. Estas curvas descendentes no son el resultado de ajustes manuales, sino que han sido calculadas automáticamente por el modelo mediante una lógica inversa de deceleración. Esto significa que, desde cada punto de restricción futura (como una estación o un cambio brusco en el trazado), el algoritmo proyecta hacia atrás una velocidad progresiva de frenado, respetando la deceleración máxima permitida por normativa. Esta característica otorga al modelo una gran coherencia técnica, evitando frenadas bruscas y permitiendo anticipar el comportamiento real de un tren conducido de forma eficiente.

Un fenómeno que llama especialmente la atención ocurre en los kilómetros 44 y 54 (aproximadamente) del recorrido, donde la gráfica de

velocidad real presenta picos anómalos, pese a encontrarse en tramos aparentemente continuos. Para comprender este comportamiento, es necesario recurrir a la siguiente gráfica, en la que se representa simultáneamente la velocidad del tren y la inclinación del trazado.

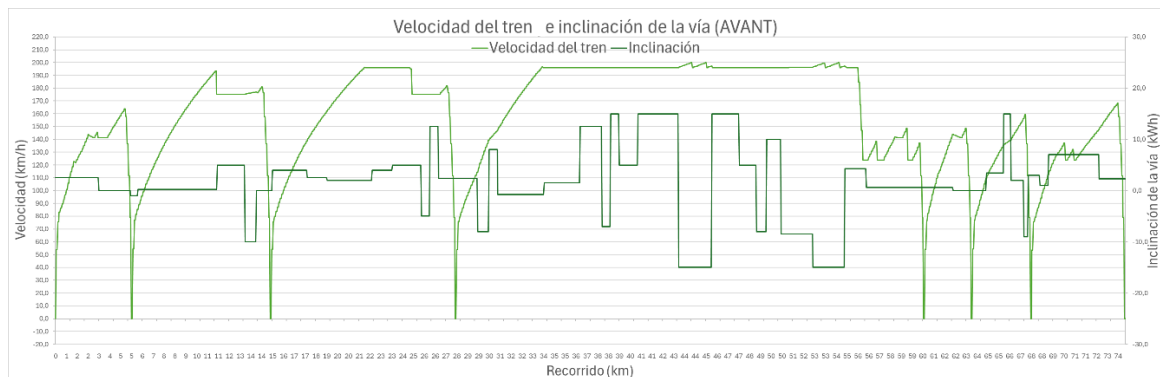


Imagen 26: Gráfica de velocidad de tren Avant frente a inclinación de la infraestructura

En estos puntos, se observa que la pendiente de la vía alcanza sus valores más negativos de todo el proyecto para la inclinación. Es decir, el tren desciende por una rampa pronunciada. Al encontrarse cuesta abajo, el tren deja de aplicar tracción, ya que la aceleración por gravedad es suficiente para mantener o incluso aumentar la velocidad. Cuando se alcanza la velocidad máxima permitida, el sistema aplica frenado suave para mantenerse dentro de los límites establecidos. Esta combinación de inercia descendente y frenado regulado genera los picos de velocidad descendente observados en la gráfica.

En conclusión, las transiciones suaves en las frenadas confirman el correcto funcionamiento del algoritmo de deceleración progresiva, mientras que la existencia de tramos donde la velocidad real es muy inferior a la máxima admisible sugiere posibles mejoras en el diseño del trazado. Además, el modelo responde adecuadamente a la pendiente del terreno, ajustando la tracción o el frenado según la inclinación.

4.1.2.- Energía consumida / exportada en el tren

La siguiente gráfica muestra la energía intercambiada con la catenaria a través del pantógrafo a lo largo del trazado cuando hablamos de un tren Avant.



Imagen 27: Gráfica de energía importada/exportada en pantógrafo para tren Avant

Se observa una sucesión de tramos en los que el valor de energía es positivo (consumo), alternados con tramos de energía negativa (recuperación mediante frenado regenerativo) y zonas donde el consumo es prácticamente nulo.

Esta evolución energética queda explicada con más detalle al analizar la siguiente segunda gráfica, en la que se representa conjuntamente la velocidad del tren y la energía intercambiada.

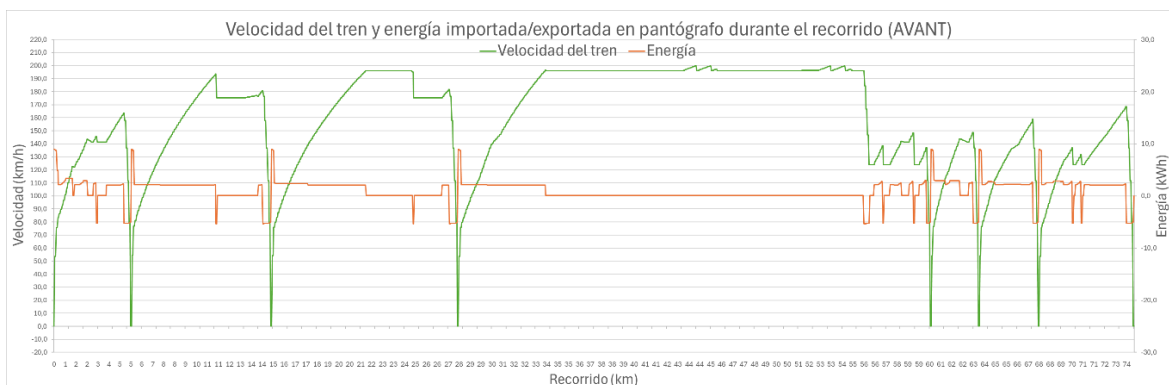


Imagen 28: Gráfica de energía importada/exportada en pantógrafo frente a la velocidad real para un tren Avant

Se observa que en los tramos de aceleración, coincidentes con los ascensos de la curva de velocidad, se requiere una aportación de fuerza de tracción y, por tanto, el tren consume energía. Estos momentos se traducen en picos positivos en la gráfica energética.

Por el contrario, en los tramos donde la velocidad del tren desciende progresivamente, es decir, cuando el tren comienza a frenar o entra en pendientes descendentes, se observa una generación de energía negativa. Esto se debe a que el sistema activa el frenado regenerativo, devolviendo parte de la energía cinética acumulada a la red eléctrica. Este fenómeno es visible como

picos negativos y representa una contribución importante a la eficiencia energética global del trayecto.

Un aspecto muy interesante es la presencia de largos tramos donde la energía intercambiada es prácticamente cero. Esto se corresponde con fases en las que el tren alcanza una velocidad más constante, sin aplicar grandes fuerzas de tracción ni frenado. Esta situación se produce, por ejemplo, en pendientes descendentes suaves o tramos llanos donde el tren ha alcanzado su velocidad de crucero y se mantiene gracias a su propia inercia, únicamente contrarrestando las resistencias al avance. En estos casos, la velocidad permanece constante sin necesidad de consumir energía adicional, optimizando así el rendimiento.

Este comportamiento realista es resultado del modelo dinámico desarrollado, que considera en cada tramo la fuerza neta disponible, es decir, la diferencia entre la fuerza de tracción, la fuerza de frenado y las resistencias (Davis, gravedad, curva). Cuando esta fuerza neta es cero, el tren mantiene su velocidad sin consumir ni regenerar energía.

En conjunto, estas gráficas evidencian un uso equilibrado de la energía, con fases de recuperación bien aprovechadas y una lógica de conducción eficiente. Este análisis confirma que el modelo no solo reproduce con precisión el movimiento del tren, sino también su interacción energética con la infraestructura, lo que resulta clave para evaluar el impacto eléctrico del servicio y diseñar sistemas de alimentación óptimos.

4.2.- Resultados para un tren tipo Alvia Serie 120

En este apartado se analizan los resultados correspondientes al tren Alvia Serie 120, simulado sobre el mismo tramo Castejón–Logroño. Al igual que en el caso anterior, se evalúa tanto el perfil de velocidad como el comportamiento energético a lo largo del recorrido. Dado que la estructura del modelo es idéntica, muchas de las respuestas observadas siguen una lógica similar a la ya comentada en el caso del tren Avant, aunque con algunas diferencias atribuibles

a las características propias del tren Alvia, como su mayor potencia o capacidad de aceleración.

4.2.1.- Velocidad real del tren frente a la velocidad máxima admisible

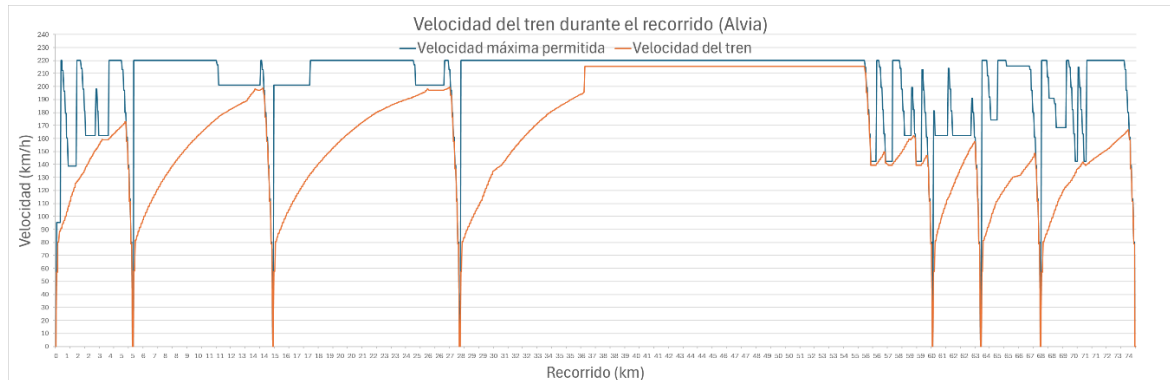


Imagen 29: Gráfica de velocidades para tren Alvia

La gráfica de velocidades del tren Alvia muestra un comportamiento muy parecido al del tren Avant, reflejando una circulación realista donde la velocidad alcanza los valores permitidos cuando es posible, pero se mantiene por debajo de la velocidad máxima en tramos donde hay restricciones, pendientes o paradas próximas. Como en el caso anterior, el modelo aplica un algoritmo de deceleración progresiva que garantiza transiciones suaves en las frenadas, imitando la lógica de conducción anticipada de un sistema automático o un maquinista experto.

En este tren se puede observar también cómo se alcanza con mayor facilidad la velocidad máxima permitida en los tramos más largos y rectos, lo que evidencia el mejor rendimiento del tren Alvia frente al Avant. Esta mayor eficiencia en aceleración se traduce en una menor diferencia entre la velocidad real y la máxima admisible en los tramos intermedios del recorrido. Sin embargo, los tramos con curvas cerradas o zonas urbanas vuelven a mostrar caídas pronunciadas en la velocidad, como se esperaba.

En general, el modelo responde de forma coherente, adaptando el perfil de velocidad a las limitaciones de infraestructura y manteniendo el comportamiento suave en frenadas que ya se explicó anteriormente.

4.2.2.- Energía consumida / exportada en el tren



Imagen 30: Gráfica de energía importada/exportada en pantógrafo para tren Alvia

En cuanto al balance energético del tren Alvia, la evolución sigue el mismo patrón observado en el caso del Avant: alternancia de fases de consumo (picos positivos) con fases de regeneración de energía (picos negativos) y tramos neutros donde no se intercambia energía con la red. Sin embargo, se aprecian algunas diferencias en la intensidad y duración de los picos.

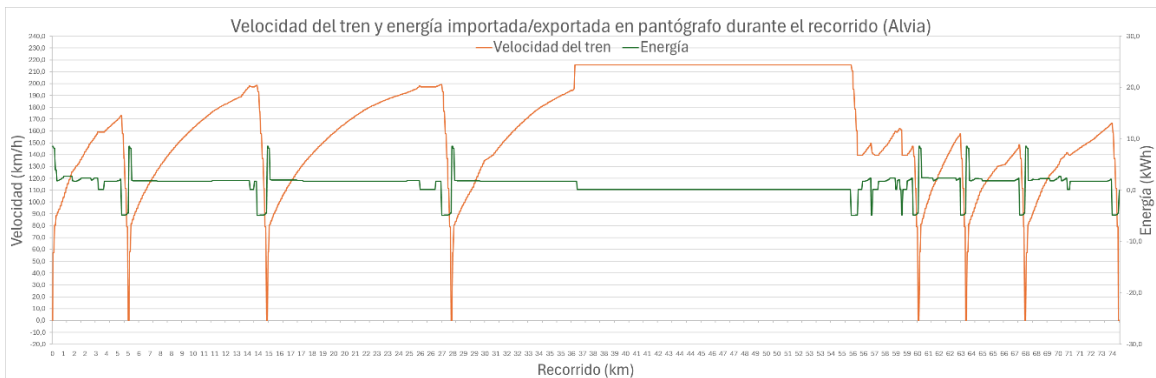


Imagen 31: Gráfica de energía frente a velocidad real para tren Alvia

Debido a su mayor capacidad de tracción, el Alvia tiende a consumir más energía en las fases de aceleración intensa, alcanzando mayores velocidades en menos tiempo. Esto se refleja en picos de energía positiva más altos. Igualmente, al tener un sistema regenerativo más robusto, es capaz de devolver cantidades significativas de energía durante frenadas largas o en rampas descendentes, lo que se traduce en picos negativos más marcados.

Al igual que en el caso del Avant, existen tramos donde la energía intercambiada es prácticamente nula. Estos corresponden a momentos de inercia, donde el tren circula a velocidad constante sin necesidad de aplicar ni freno ni tracción. Este comportamiento, ya explicado anteriormente, confirma que el modelo detecta correctamente las zonas de equilibrio de fuerzas.

El análisis combinado de velocidad y energía muestra que el modelo reproduce con precisión tanto la dinámica de movimiento como la gestión energética del tren, y permite evaluar con fiabilidad el rendimiento real de cada unidad sobre el trazado.

4.3.- Comparación del comportamiento de un tren Avant frente a un Alvia

En este apartado se realiza una comparación directa entre los resultados obtenidos para los dos trenes analizados: Avant S-104 y Alvia S-120. Ambos recorren el mismo trazado (Castejón–Logroño) bajo las mismas condiciones de infraestructura y parámetros de simulación, lo que permite identificar con claridad las diferencias derivadas únicamente de las características técnicas de cada tren. Para ello se presentan dos gráficas: una comparativa de velocidades reales y otra de energía neta intercambiada en el pantógrafo.

4.3.1.- Comparación de velocidades reales

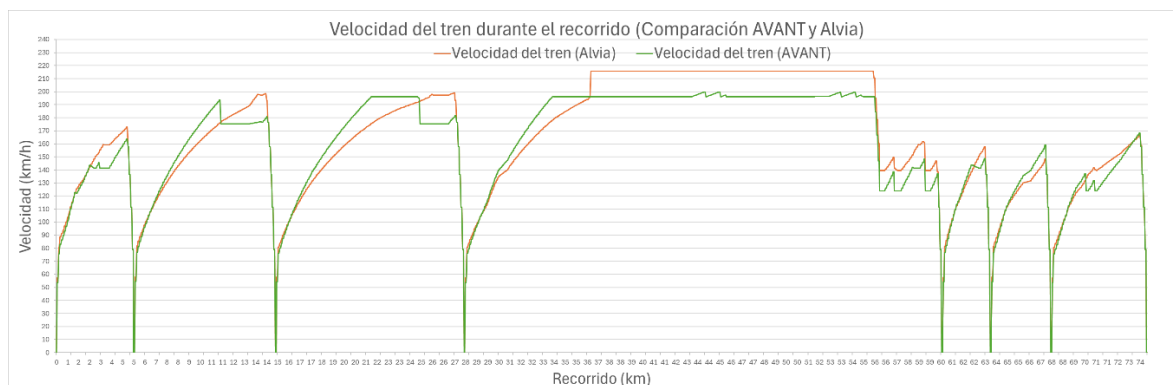


Imagen 32: Gráfica de comparación de velocidades entre tren Alvia y Avant

La primera diferencia evidente es el valor de la velocidad máxima alcanzable por cada tren: el tren Alvia tiene una velocidad punta de 220 km/h, mientras que el Avant está limitado a 200 km/h. Esta diferencia se refleja claramente en los tramos donde ambos trenes circulan por zonas sin restricciones geométricas, especialmente en el tramo central del recorrido. En

esas zonas, el Alvia mantiene una velocidad constante ligeramente superior a la del Avant, aprovechando mejor el trazado disponible.

Además, el Alvia demuestra una mayor capacidad de aceleración, alcanzando más rápidamente la velocidad máxima permitida tras cada parada. Esto se traduce en perfiles más verticales en las curvas de velocidad, así como en una recuperación más rápida tras reducciones impuestas por estaciones o cambios de rasante. En cambio, el Avant muestra aceleraciones más progresivas y fases de crucero más breves, lo que podría afectar levemente al tiempo total de recorrido.

No obstante, el patrón de comportamiento general es similar en ambos casos: tramos de aceleración, velocidad constante, y deceleración suave antes de restricciones, paradas o zonas con pendientes. Esto se debe a que ambos trenes comparten las mismas condiciones externas impuestas por el trazado y el algoritmo de deceleración progresiva del modelo.

4.3.2.- Comparación de energía neta en el pantógrafo



Imagen 33: Gráfica de comparación de consumo energético entre tren Alvia y Avant

En la comparación energética se aprecian también diferencias destacables. El Alvia, al tener mayor potencia y alcanzar mayores velocidades, presenta picos más altos de consumo energético en los tramos de aceleración. Sin embargo, también regenera más energía en las fases de frenado, lo que indica un aprovechamiento más eficiente de la frenada regenerativa.

Ambos trenes presentan tramos de energía prácticamente nula, coincidiendo con fases de velocidad constante o descensos donde el tren se desplaza únicamente por inercia, sin necesidad de aplicar fuerza de tracción ni freno. Esto confirma el correcto funcionamiento del modelo dinámico, que calcula

la fuerza neta tramo a tramo y permite detectar con precisión cuándo se requiere o no aporte energético.

En resumen, el tren Alvia ofrece un rendimiento más potente tanto en velocidad como en consumo/regeneración energética, gracias a su mayor velocidad máxima y potencia de tracción. El Avant, por su parte, presenta un comportamiento más conservador pero igualmente eficiente en los tramos de cruce y recuperación energética. Ambos trenes siguen una lógica operativa coherente, pero sus diferencias técnicas influyen directamente en su rendimiento sobre el mismo trazado.

4.4.- Mallas de circulación

En este apartado se analizan y comparan dos mallas de circulación ferroviaria sobre el trazado Castejón–Logroño. La primera ha sido diseñada específicamente a partir de los tiempos de recorrido obtenidos con el modelo dinámico para los trenes Alvia y Avant, mientras que la segunda representa la malla de circulación actualmente existente, basada en datos reales extraídos de horarios disponibles en plataformas oficiales de transporte ferroviario.

4.4.1.- Malla propuesta con tiempos simulados para el nuevo trazado

La malla generada a partir de las simulaciones presenta un diseño optimizado en términos operativos. Los horarios de salida han sido cuidadosamente ajustados para que los cruces entre trenes en sentidos opuestos se produzcan en zonas con doble vía, favoreciendo especialmente que coincidan en estaciones. En este caso, Calahorra ha sido seleccionada como punto preferente de cruce, dada su mayor capacidad y relevancia dentro del trazado.

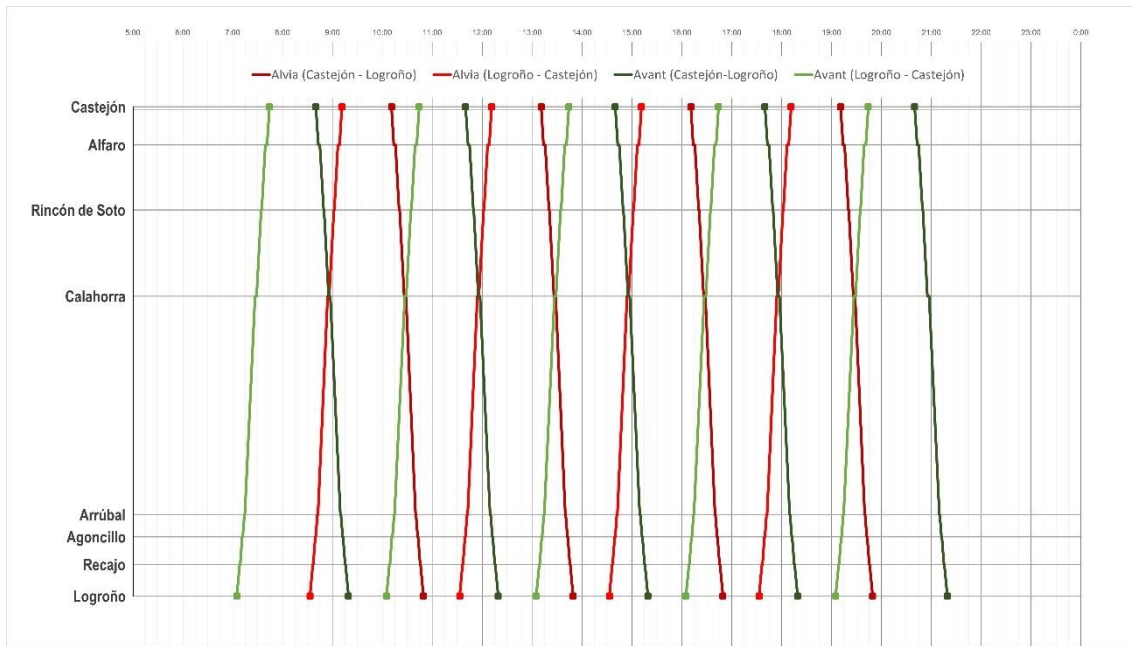


Imagen 34: Malla de circulación para trazado nuevo

La malla generada a partir de las simulaciones presenta un diseño optimizado en términos operativos. Los horarios de salida han sido cuidadosamente ajustados para que los cruces entre trenes en sentidos opuestos se produzcan en zonas con doble vía, favoreciendo especialmente que coincidan en estaciones. En este caso, Calahorra ha sido seleccionada como punto preferente de cruce, dada su mayor capacidad y relevancia dentro del trazado. En esta estación se realizan además, junto a Alfaro, las paradas más largas de trenes (2 min), teniendo tiempo más que necesario para evitar problemas de cruces de trenes.

A continuación se muestran las frecuencias y horarios de operabilidad de los trenes propuestos:

Color	Servicio	Hora inicio	Frecuencia	Hora Fin
Cuadrado	Alvia (Castejón - Logroño)	10:11:00	3:00:00	22:00:00
Cuadrado	Alvia (Logroño - Castejón)	8:33:00	3:00:00	20:00:00
Cuadrado	Avant (Castejón-Logroño)	8:40:00	3:00:00	22:00:00
Cuadrado	Avant (Logroño - Castejón)	7:05:00	3:00:00	20:00:00

Imagen 35: Datos para malla de circulación

Este diseño estratégico permite evitar interferencias entre trenes y garantiza un margen adecuado entre salidas consecutivas (cada 3 horas),

minimizando riesgos de solapamiento sin comprometer la frecuencia del servicio. Como resultado, la malla propuesta logra un equilibrio óptimo entre regularidad, eficiencia y seguridad operativa. Todos los cruces se concentran únicamente en Calahorra, lo que simplifica la explotación y reduce la necesidad de maniobras complejas o esperas prolongadas.

4.4.2.- Malla de circulación actual con el trazado existente

Por otro lado, la malla correspondiente a la situación actual incluye circulaciones de servicios como Regional Exprés, Media Distancia y trenes Alvia (aunque algunos figuran como fuera de servicio actualmente).

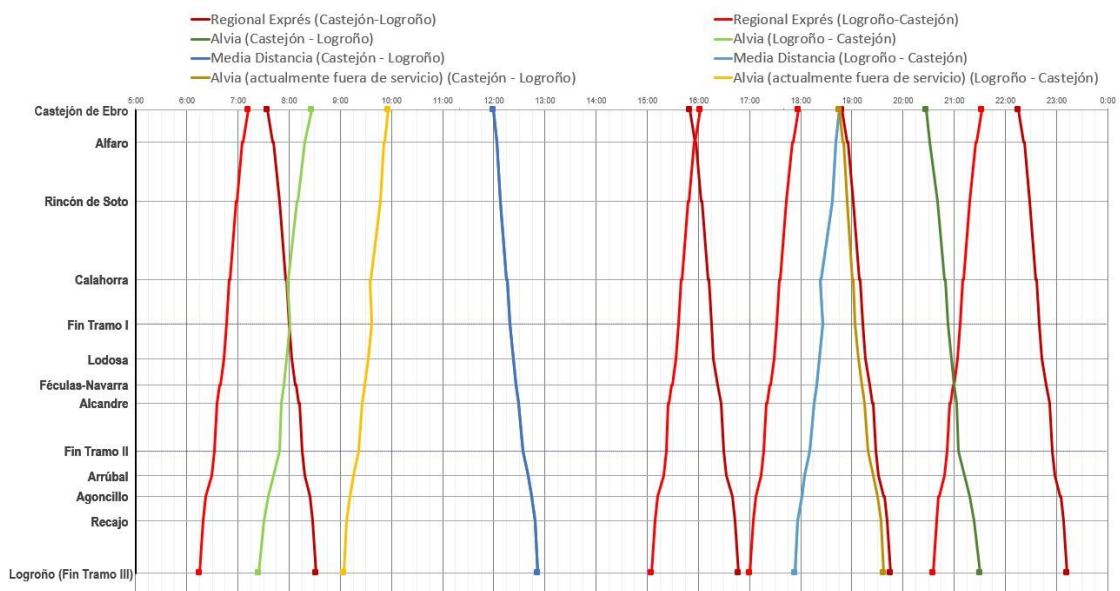


Imagen 36: Malla de circulación para trazado existente

A diferencia de la malla propuesta, los cruces se producen en más de un punto del trazado, incluyendo zonas intermedias como Rincón de Soto o Alfaro, y no siempre coinciden con estaciones de mayor capacidad. Además, algunos tramos muestran una distribución de horarios menos uniforme, lo que podría generar situaciones de espera o menor aprovechamiento de las capacidades de la infraestructura.

4.4.3.- Comparación de circulación actual con la proyectada

Comparando ambas mallas de circulación, la malla simulada presenta una mayor coherencia y un mejor aprovechamiento de las instalaciones ferroviarias, permitiendo mayor fluidez y menos restricciones operativas. Esto se logra gracias al control sobre los tiempos de viaje y la libertad para ajustar los horarios desde un enfoque técnico, sin las limitaciones impuestas por la demanda real o la operativa histórica.

En resumen, la malla generada a partir del modelo dinámico muestra un gran potencial como herramienta de planificación, ofreciendo un diseño más robusto y eficiente que el actualmente implementado. Su correcta sincronización y la concentración de cruces en un único punto con buenas instalaciones suponen una clara ventaja en términos de viabilidad y explotación ferroviaria.

Capítulo 5

Conclusiones y Trabajos futuros

En este capítulo final se presentan las conclusiones extraídas del desarrollo del modelo de cálculo y de los resultados obtenidos mediante su aplicación al caso práctico del tramo Castejón–Logroño. Asimismo, se exponen posibles líneas de trabajo futuro orientadas a la mejora y ampliación de esta herramienta.

5.1. – Conclusiones

La principal conclusión que se extrae de este trabajo es que el modelo de simulación dinámico desarrollado en Excel es una herramienta válida, coherente y eficaz para el análisis de circulación ferroviaria. Su estructura modular permite adaptar los cálculos a cualquier tipo de tren e infraestructura, y los resultados obtenidos permiten evaluar con detalle tanto la dinámica de movimiento como el comportamiento energético del tren.

El análisis de las gráficas de velocidades reales frente a velocidades máximas admisibles ha permitido comprobar que el modelo reproduce con gran fidelidad el comportamiento del tren. Las frenadas son progresivas y bien anticipadas. Las curvas de velocidad revelan también el buen funcionamiento del sistema adaptando correctamente la velocidad a cada circunstancia.

Una de las conclusiones más relevantes extraídas del análisis gráfico es que el trazado del tramo Castejón–Logroño podría ser optimizado aún más para mejorar su aprovechamiento. En numerosos puntos del trayecto se observa que la velocidad real del tren queda significativamente por debajo de la velocidad

máxima admisible, no por limitaciones técnicas del tren, sino por la presencia de estaciones con parada o por la necesidad de anticipar una frenada. Esto sugiere que una revisión del trazado podría permitir alcanzar velocidades medias más altas y, por tanto, reducir tiempos de viaje.

Además, se ha observado que las paradas en estaciones tienen un impacto muy significativo en los resultados. No solo incrementan el tiempo total de recorrido, sino que obligan a modificar la velocidad máxima admisible en los tramos próximos, lo que repercute en la velocidad media global del trayecto. En consecuencia, se concluye que una futura optimización del servicio debería analizar cuidadosamente la necesidad de cada parada y valorar la posibilidad de suprimir o reducir algunas de ellas, si se justifica desde el punto de vista de la demanda. Esta eliminación tendría un efecto directo sobre el perfil de velocidad y permitiría mejorar el rendimiento general de la explotación.

En lo que respecta al consumo energético, los resultados reflejan una lógica operativa muy realista, con fases de consumo intensivo en aceleraciones, tramos de inercia en velocidades constantes, y recuperación energética eficaz en fases de frenado. El modelo permite identificar con claridad las zonas de mayor demanda energética, lo que constituye una herramienta muy útil para dimensionar correctamente las subestaciones eléctricas necesarias en el trazado.

Respecto a las mallas de circulación, la comparación entre la malla propuesta y la malla actual evidencia las posibilidades que ofrece el modelo para optimizar la planificación de la explotación ferroviaria. La malla generada a partir del modelo presenta una mejor distribución horaria, con todos los cruces concentrados en una única estación (Calahorra), lo que facilita la operación y minimiza los tiempos de espera. Además, la separación entre trenes está suficientemente optimizada como para evitar interferencias, sin sacrificar una frecuencia adecuada del servicio.

En resumen, este trabajo demuestra que el modelo desarrollado es una herramienta versátil, fiable y de gran utilidad para la simulación dinámica y

energética de trenes en líneas reales. Su aplicación al caso del tramo Castejón–Logroño ha permitido obtener resultados técnicamente sólidos, detectar oportunidades de mejora en la infraestructura y en la explotación, y validar su uso para diseñar propuestas de malla de circulación más eficientes.

5.2. – Trabajos Futuros

El modelo presentado en este Trabajo de Fin de Máster constituye un primer paso sólido para la simulación de circulación ferroviaria con enfoque dinámico y energético, pero ofrece amplias posibilidades de evolución y ampliación.

El siguiente paso natural en el desarrollo del modelo es incorporar el análisis detallado de las subestaciones eléctricas. Esto permitiría comprobar si la demanda energética del tren en cada punto del trayecto puede ser abastecida por las subestaciones previstas en el proyecto, identificar posibles limitaciones, y determinar la necesidad de reforzar o redistribuir la alimentación eléctrica a lo largo de la línea.

Otros posibles trabajos futuros que se proponen son los siguientes:

- **Integración con software de trazado ferroviario:** Conectar el modelo con herramientas como AutoCAD para permitir automatizar la importación de datos geométricos.
- **Modelado de diferentes infraestructuras y adaptación a otros países:** Adaptar el modelo a normativas internacionales y utilizarlo como herramienta de análisis preliminar para proyectos ferroviarios fuera de España.

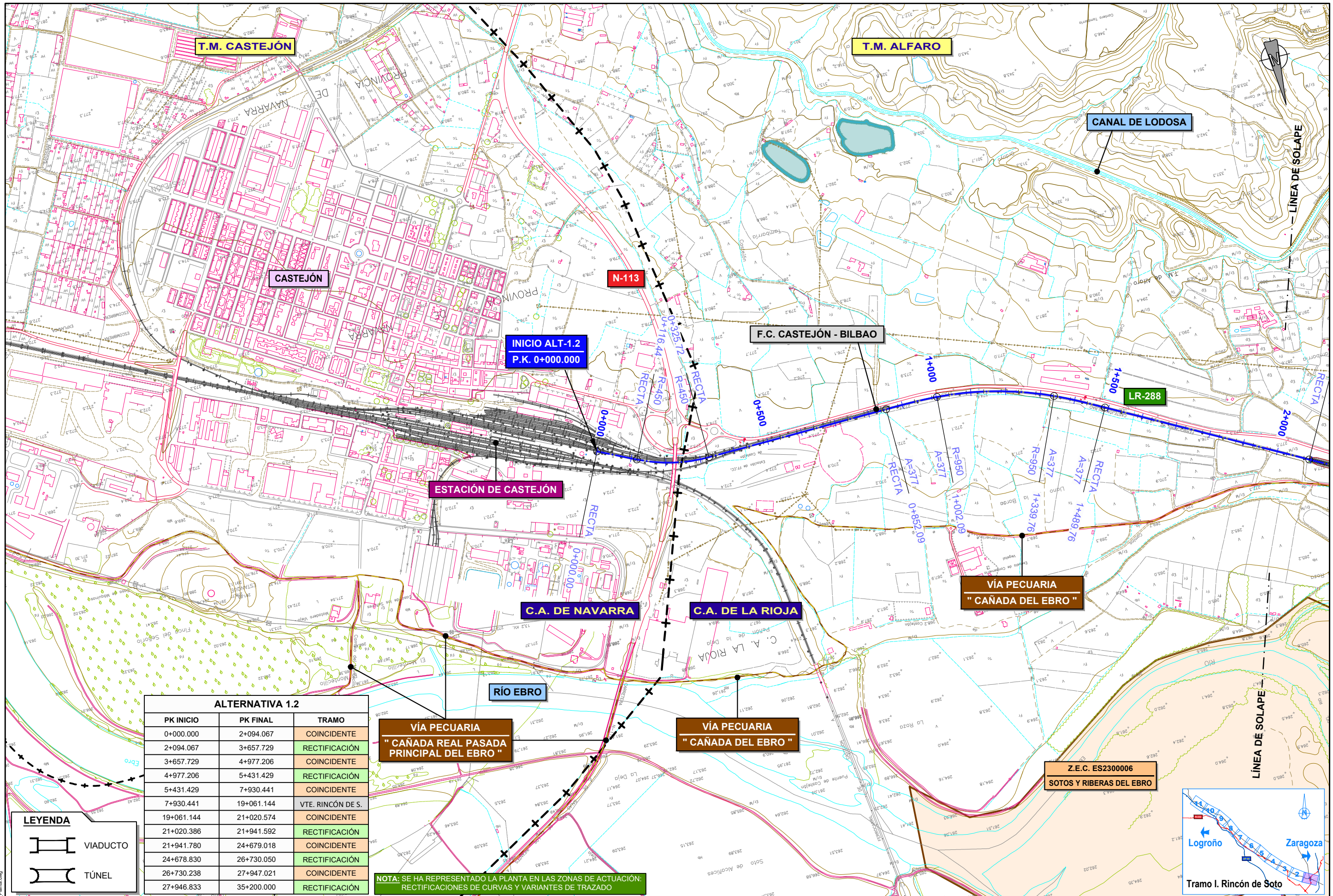
Estos desarrollos permitirían consolidar el modelo como una herramienta integral para el diseño, planificación y explotación de líneas ferroviarias, aportando un valor añadido claro en el contexto profesional y técnico del transporte ferroviario moderno.

Bibliografía

- García Álvarez, A., & González Franco, I. (2024). Dinámica longitudinal del tren en la explotación ferroviaria: Cálculo de tiempos de viaje, consumos de energía y cargas máximas. Grupo Editorial Garceta.
- Kiessling, F., Puschmann, R., Schmieder, A., & Vega, E. (2008). Líneas de contacto para ferrocarriles electrificados. Siemens.
- Peyrat, M. (2006). Horarios – Marchas tipo, cargas máximas, velocidades máximas.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, Gobierno de La Rioja, & Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF). (2022). *Estudio informativo del Corredor Cantábrico – Mediterráneo de Alta Velocidad. Tramo: Castejón – Logroño. Fase II – Memoria*. <https://www.mitma.gob.es/>
- Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF). (2024). *Pliego de prescripciones técnicas particulares: Servicios para la redacción de los proyectos de construcción del Corredor Cantábrico–Mediterráneo de Alta Velocidad. Tramo: Castejón–Logroño. Tres (3) lotes*.

Anexo 1

Planos oficiales del trazado. Estudio informativo del corredor Cantábrico-Mediterráneo de Alta Velocidad. Tramo: Castejón-Logroño



ALTERNATIVA 1.2		
PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
0+000.000	2+094.067	COINCIDENTE
2+094.067	3+657.729	RECTIFICACIÓN
3+657.729	4+977.206	COINCIDENTE
4+977.206	5+431.429	RECTIFICACIÓN
5+431.429	7+930.441	COINCIDENTE
7+930.441	19+061.144	VTE. RINCÓN DE S.
19+061.144	21+020.574	COINCIDENTE
21+020.386	21+941.592	RECTIFICACIÓN
21+941.780	24+679.018	COINCIDENTE
24+678.830	26+730.050	RECTIFICACIÓN
26+730.238	27+947.021	COINCIDENTE
27+946.833	35+200.000	RECTIFICACIÓN

VÍA PECUARIA "CAÑADA REAL PASADA PRINCIPAL DEL EBRO"

VÍA PECUARIA "CAÑADA DEL EBRO"

Z.E.C. ES2300006
SOTOS Y RIBERAS DEL EBRO

NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO

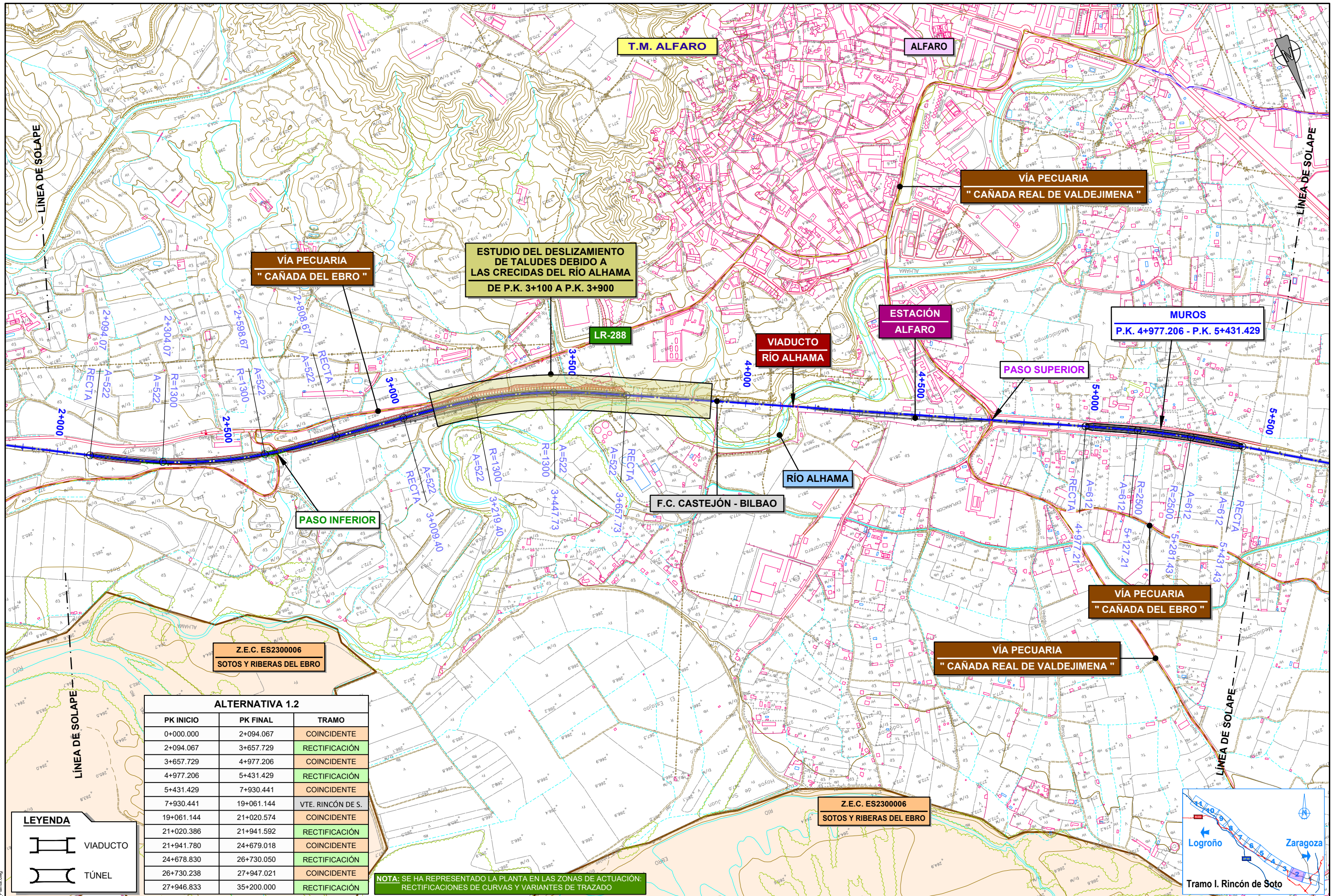
LEYENDA

	VIADUCTO
	TÚNEL



PLOT 04/03/2022
ANTOJUS 04/10/2021 4.2.1 Alt-1.2_Planta.dwg

	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANEACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO	AUTOR	ESCALA	FECHA	Nº DE PLANO	TÍTULO DE PLANO
		ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TRAMO: CASTEJÓN - LOGROÑO		1 : 5.000 ORIGINAL A-1	MARZO 2022	4.2.1 Nº DE HOJA HOJA 1 DE 11	TRAZADO PLANTA GENERAL TRAMO I. RINCÓN DE SOTO ALTERNATIVA 1.2



ALTERNATIVA 1.2

PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
0+000.000	2+094.067	COINCIDENTE
2+094.067	3+657.729	RECTIFICACIÓN
3+657.729	4+977.206	COINCIDENTE
4+977.206	5+431.429	RECTIFICACIÓN
5+431.429	7+930.441	COINCIDENTE
7+930.441	19+061.144	VTE. RINCÓN DE S.
19+061.144	21+020.574	COINCIDENTE
21+020.386	21+941.592	RECTIFICACIÓN
21+941.780	24+679.018	COINCIDENTE
24+678.830	26+730.050	RECTIFICACIÓN
26+730.238	27+947.021	COINCIDENTE
27+946.833	35+200.000	RECTIFICACIÓN

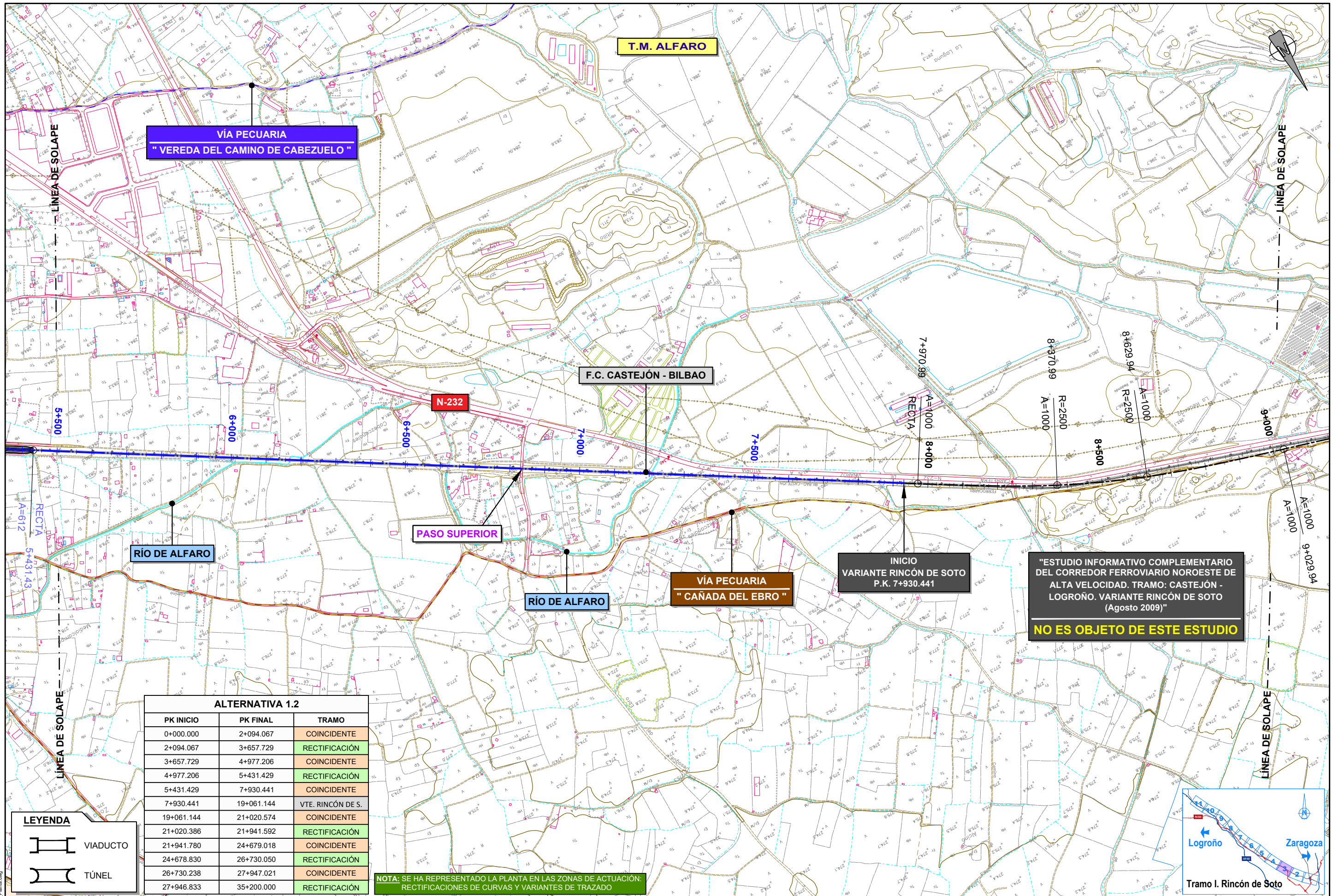
NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO

LEYENDA

	VIADUCTO
	TÚNEL



PLOT 04/03/2022
 ANTOUS 04/10/2021 4.2.1 Ab-1.2_Planta.dwg



ALTERNATIVA 1.2		
PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
0+000.000	2+094.067	COINCIDENTE
2+094.067	3+657.729	RECTIFICACIÓN
3+657.729	4+977.206	COINCIDENTE
4+977.206	5+431.429	RECTIFICACIÓN
5+431.429	7+930.441	COINCIDENTE
7+930.441	19+061.144	VTE. RINCÓN DE S.
19+061.144	21+020.574	COINCIDENTE
21+020.386	21+941.592	RECTIFICACIÓN
21+941.780	24+679.018	COINCIDENTE
24+678.830	26+730.050	RECTIFICACIÓN
26+730.238	27+947.021	COINCIDENTE
27+946.833	35+200.000	RECTIFICACIÓN

NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO

"ESTUDIO INFORMATIVO COMPLEMENTARIO DEL CORREDOR FERROVIARIO NOROESTE DE ALTA VELOCIDAD. TRAMO: CASTEJÓN - LOGROÑO. VARIANTE RINCÓN DE SOTO (Agosto 2009)"
NO ES OBJETO DE ESTE ESTUDIO

LEYENDA

	VIADUCTO
	TÚNEL



PLOT 04/03/2022
ANTOJUS 04/10/2021 4.2.1 Atr-1.2_Planta.dwg



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

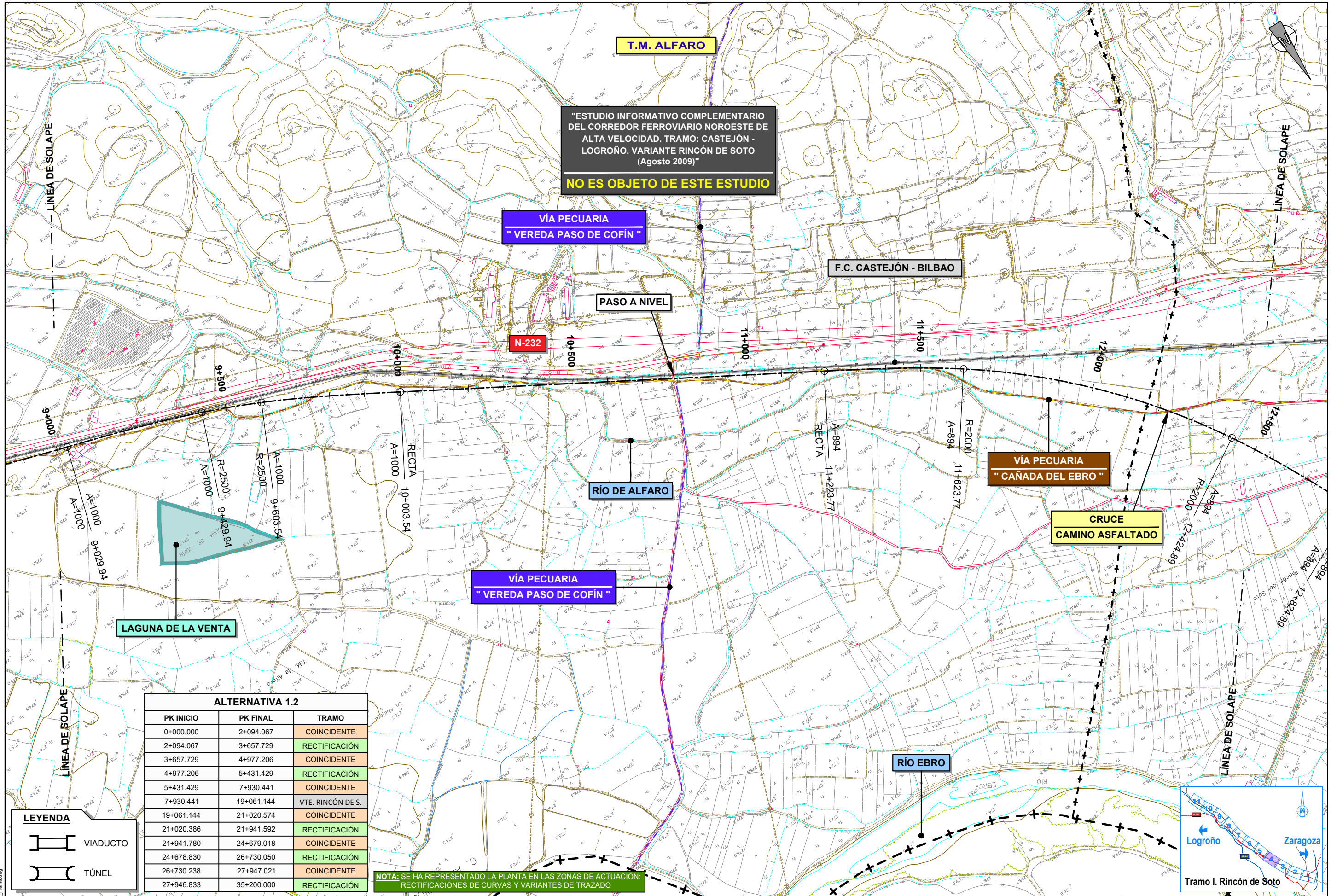
TÍTULO
ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TRAMO: CASTEJÓN - LOGROÑO

AUTOR
intecsa inarsa
EVA GALLEGU DE LA FUENTE

ESCALA
1 : 5.000
0 50 100 150 200m
ORIGINAL A-1
GRÁFICA

FECHA
MARZO 2022
Nº DE PLANO
4.2.1
Nº DE HOJA
HOJA 3 DE 11

TÍTULO DE PLANO
TRAZADO PLANTA GENERAL TRAMO I. RINCÓN DE SOTO ALTERNATIVA 1.2



ALTERNATIVA 1.2

PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
0+000.000	2+094.067	COINCIDENTE
2+094.067	3+657.729	RECTIFICACIÓN
3+657.729	4+977.206	COINCIDENTE
4+977.206	5+431.429	RECTIFICACIÓN
5+431.429	7+930.441	COINCIDENTE
7+930.441	19+061.144	VTE. RINCÓN DE S.
19+061.144	21+020.574	COINCIDENTE
21+020.574	21+941.592	RECTIFICACIÓN
21+941.780	24+679.018	COINCIDENTE
24+678.830	26+730.050	RECTIFICACIÓN
26+730.238	27+947.021	COINCIDENTE
27+946.833	35+200.000	RECTIFICACIÓN

NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO

LEYENDA

- VIADUCTO
- TÚNEL



PLOT 04/03/2022
ANTOJUS 04/10/2021 4.2.1 Ab-1.2_Planta.dwg



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

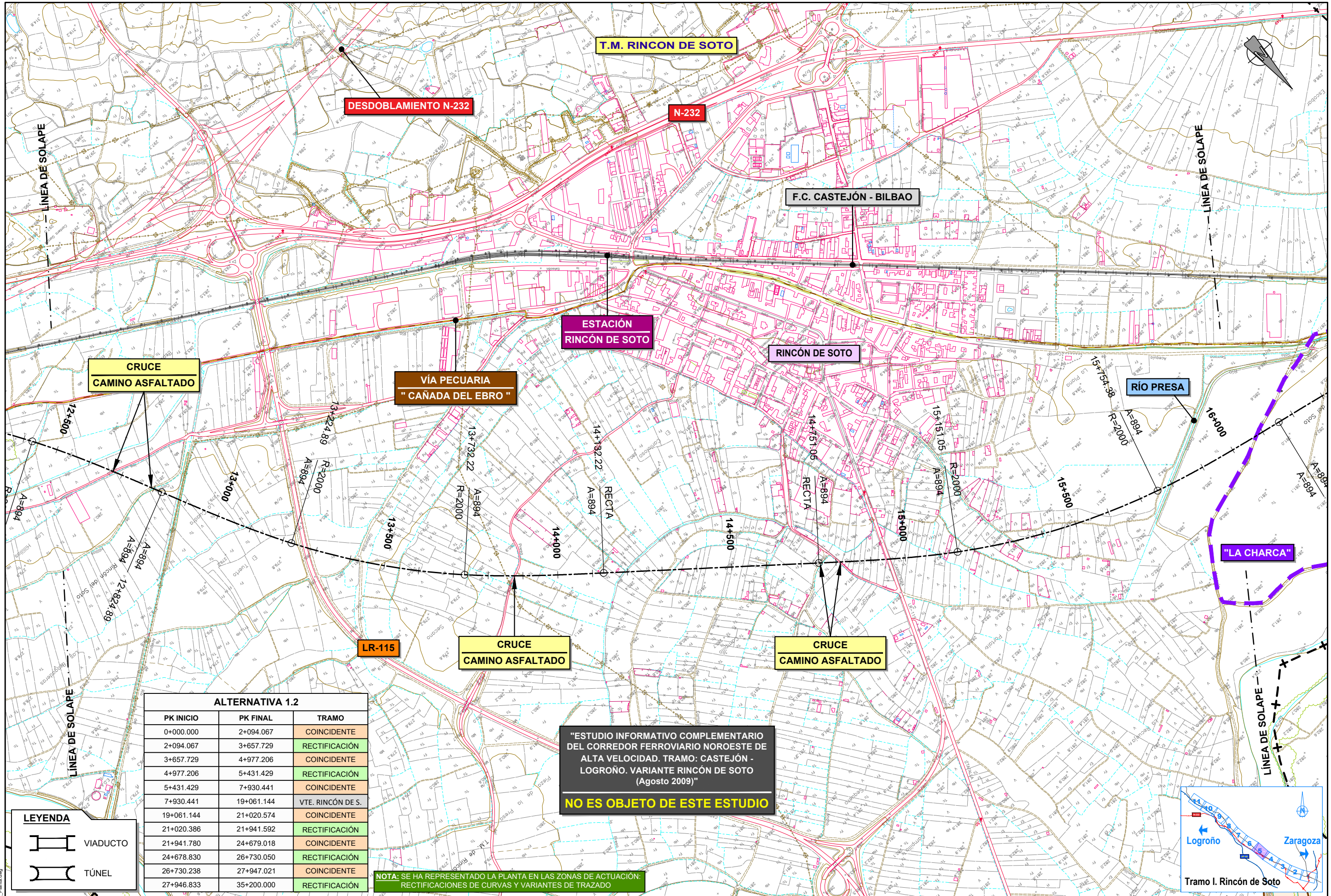
TÍTULO
ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TRAMO: CASTEJÓN - LOGROÑO

AUTOR
 EVA GALLEGU DE LA FUENTE

ESCALA
1:5.000
ORIGINAL A-1
GRÁFICA

FECHA
MARZO 2022

Nº DE PLANO
4.2.1
TÍTULO DE PLANO
TRAZADO PLANTA GENERAL TRAMO I. RINCÓN DE SOTO ALTERNATIVA 1.2
Nº DE HOJA
HOJA 4 DE 11



ALTERNATIVA 1.2

PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
0+000.000	2+094.067	COINCIDENTE
2+094.067	3+657.729	RECTIFICACIÓN
3+657.729	4+977.206	COINCIDENTE
4+977.206	5+431.429	RECTIFICACIÓN
5+431.429	7+930.441	COINCIDENTE
7+930.441	19+061.144	VTE. RINCÓN DE S.
19+061.144	21+020.574	COINCIDENTE
21+020.386	21+941.592	RECTIFICACIÓN
21+941.780	24+679.018	COINCIDENTE
24+678.830	26+730.050	RECTIFICACIÓN
26+730.238	27+947.021	COINCIDENTE
27+946.833	35+200.000	RECTIFICACIÓN

"ESTUDIO INFORMATIVO COMPLEMENTARIO DEL CORREDOR FERROVIARIO NOROESTE DE ALTA VELOCIDAD. TRAMO: CASTEJÓN - LOGROÑO. VARIANTE RINCÓN DE SOTO (Agosto 2009)"

NO ES OBJETO DE ESTE ESTUDIO

NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO

LEYENDA

	VIADUCTO
	TÚNEL

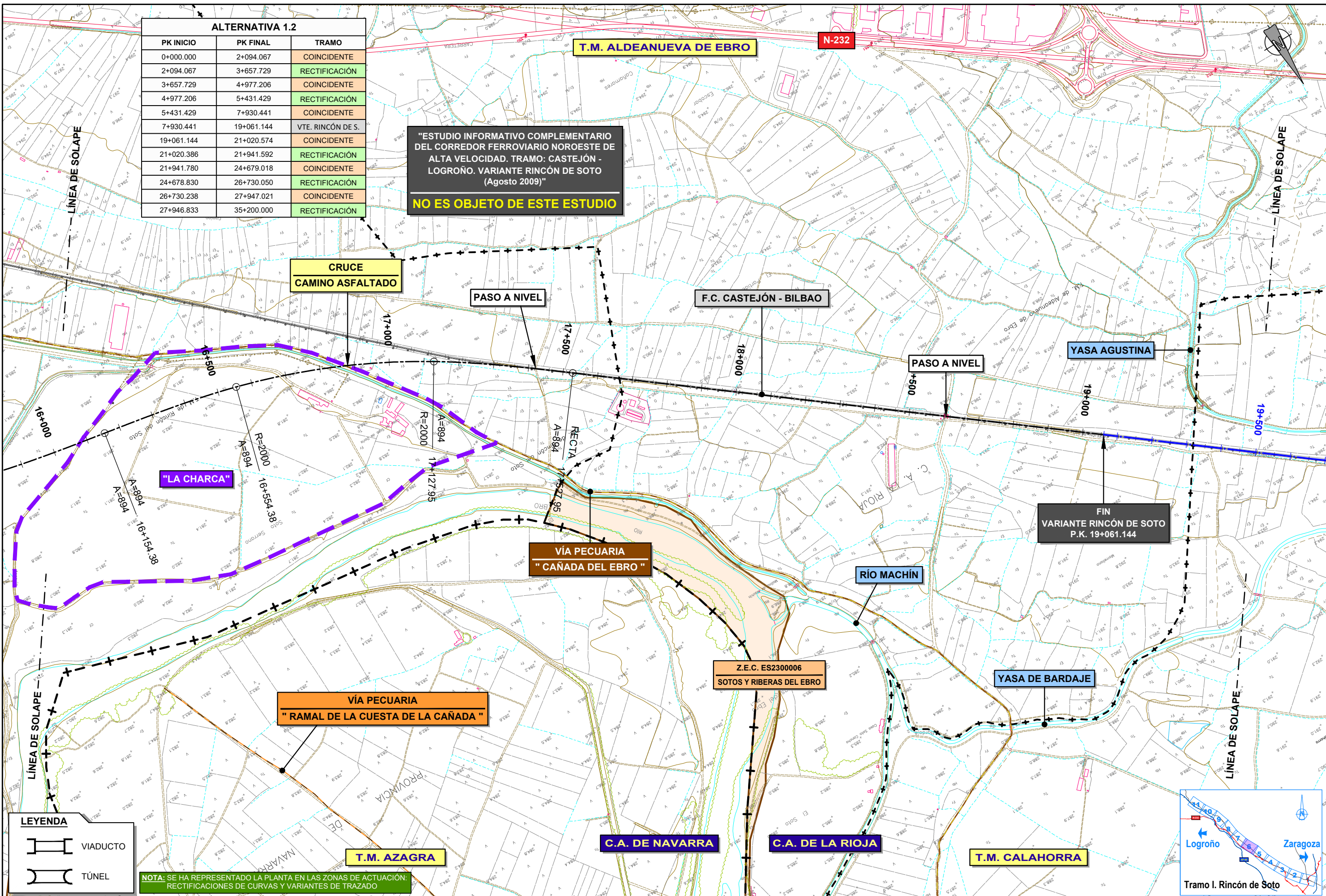


PLOT 04/03/2022 ANT05 04/10/2021 4.2.1 Alt-1.2_Planta.dwg

ALTERNATIVA 1.2		
PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
0+000.000	2+094.067	COINCIDENTE
2+094.067	3+657.729	RECTIFICACIÓN
3+657.729	4+977.206	COINCIDENTE
4+977.206	5+431.429	RECTIFICACIÓN
5+431.429	7+930.441	COINCIDENTE
7+930.441	19+061.144	VTE. RINCÓN DE S.
19+061.144	21+020.574	COINCIDENTE
21+020.574	21+941.592	RECTIFICACIÓN
21+941.592	24+679.018	COINCIDENTE
24+679.018	26+730.050	RECTIFICACIÓN
26+730.050	27+947.021	COINCIDENTE
27+947.021	35+200.000	RECTIFICACIÓN

"ESTUDIO INFORMATIVO COMPLEMENTARIO DEL CORREDOR FERROVIARIO NOROESTE DE ALTA VELOCIDAD. TRAMO: CASTEJÓN - LOGROÑO. VARIANTE RINCÓN DE SOTO (Agosto 2009)"

NO ES OBJETO DE ESTE ESTUDIO

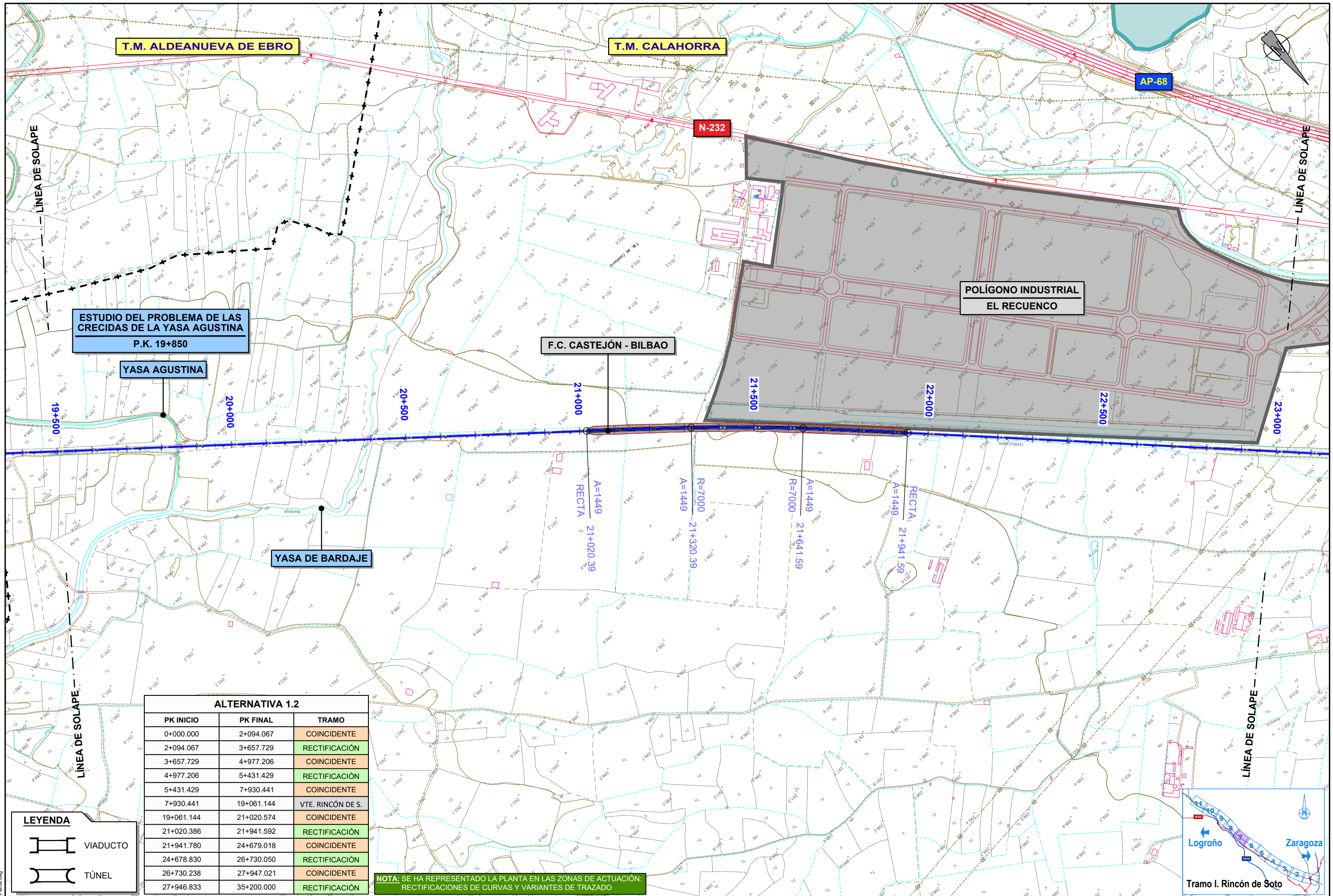


LEYENDA	
	VIADUCTO
	TÚNEL

NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO



PLOT 04/03/2022 ANT05 04/10/2021 4.2.1 Alc-1.2_Planta.dwg



ALTERNATIVA 1.2		
PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
0+000.000	2+094.067	COINCIDENTE
2+094.067	3+657.729	RECTIFICACIÓN
3+657.729	4+977.206	COINCIDENTE
4+977.206	5+431.429	RECTIFICACIÓN
5+431.429	7+930.441	COINCIDENTE
7+930.441	19+061.144	VTE. RINCÓN DE S.
19+061.144	21+020.574	COINCIDENTE
21+020.386	21+941.592	RECTIFICACIÓN
21+941.780	24+679.018	COINCIDENTE
24+678.830	26+730.050	RECTIFICACIÓN
26+730.238	27+947.021	COINCIDENTE
27+946.833	35+200.000	RECTIFICACIÓN

NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO

LEYENDA

VIADUCTO

TÚNEL



PLOT 04/03/2022
ANTOJUS 04/10/2021 4.2.1 Abc-1.2_Planta.dwg



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

TÍTULO
ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD
TRAMO: CASTEJÓN - LOGROÑO

AUTOR

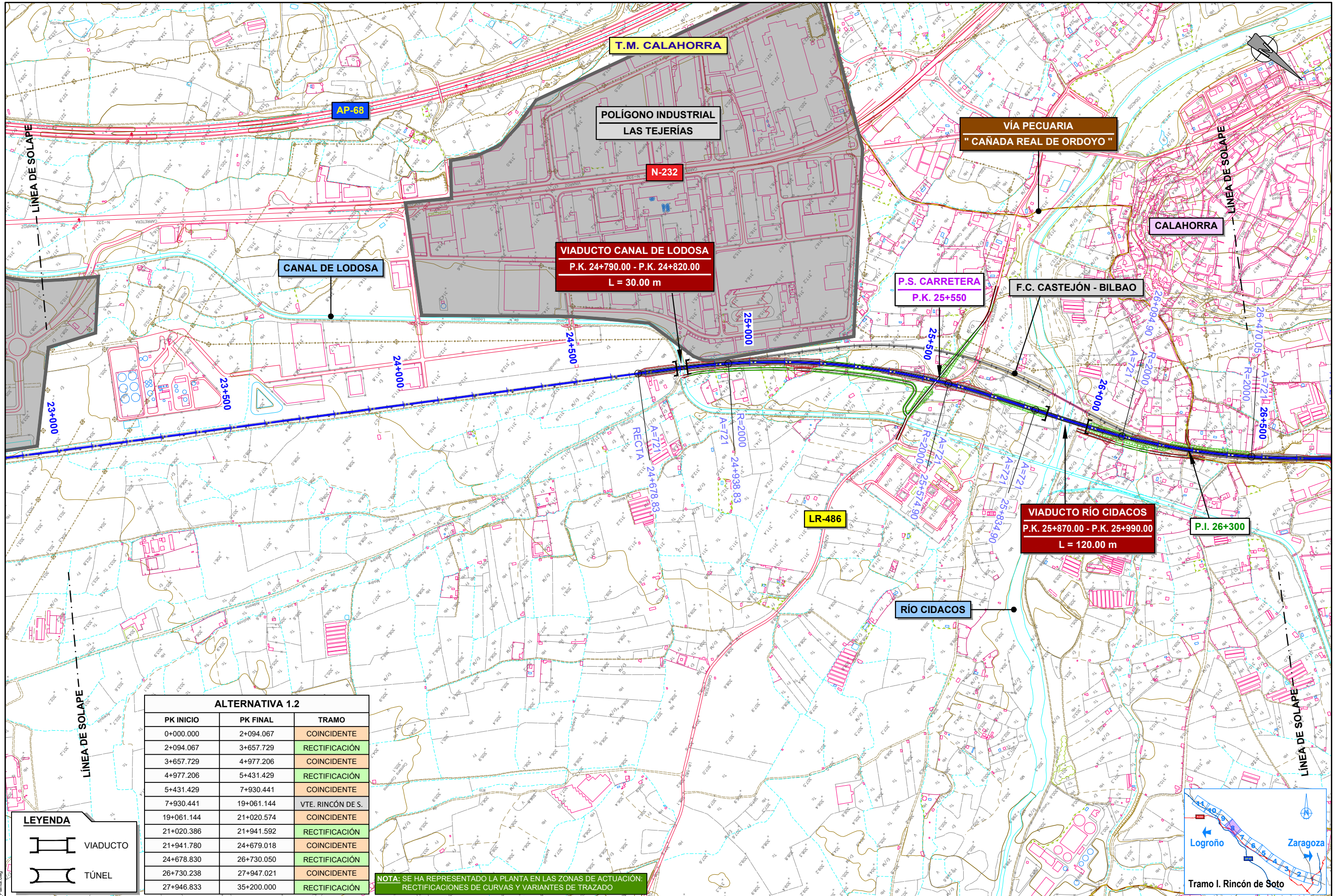
EVA GALLEGU DE LA FUENTE

ESCALA
1:5.000

ORIGINAL A-1
GRÁFICA

FECHA
MARZO 2022
Nº DE PLANO
4.2.1
Nº DE HOJA
HOJA 7 DE 11

TÍTULO DE PLANO
TRAZADO PLANTA GENERAL TRAMO I. RINCÓN DE SOTO ALTERNATIVA 1.2



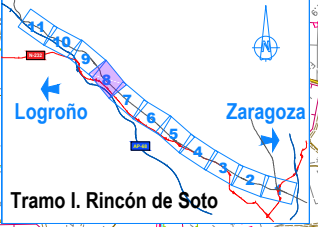
ALTERNATIVA 1.2		
PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
0+000.000	2+094.067	COINCIDENTE
2+094.067	3+657.729	RECTIFICACIÓN
3+657.729	4+977.206	COINCIDENTE
4+977.206	5+431.429	RECTIFICACIÓN
5+431.429	7+930.441	COINCIDENTE
7+930.441	19+061.144	VTE. RINCÓN DE S.
19+061.144	21+020.574	COINCIDENTE
21+020.386	21+941.592	RECTIFICACIÓN
21+941.780	24+679.018	COINCIDENTE
24+678.830	26+730.050	RECTIFICACIÓN
26+730.238	27+947.021	COINCIDENTE
27+946.833	35+200.000	RECTIFICACIÓN

NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO

LEYENDA

VIADUCTO

TÚNEL



PLOT 04/03/2022
ANTOJUS 04/10/2021 4.2.1 Ab-1.2_Planta.dwg



MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

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

TÍTULO
ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD
TRAMO: CASTEJÓN - LOGROÑO

AUTOR
 intecsa inarsa

ESCALA
1:5.000
0 50 100 150 200m

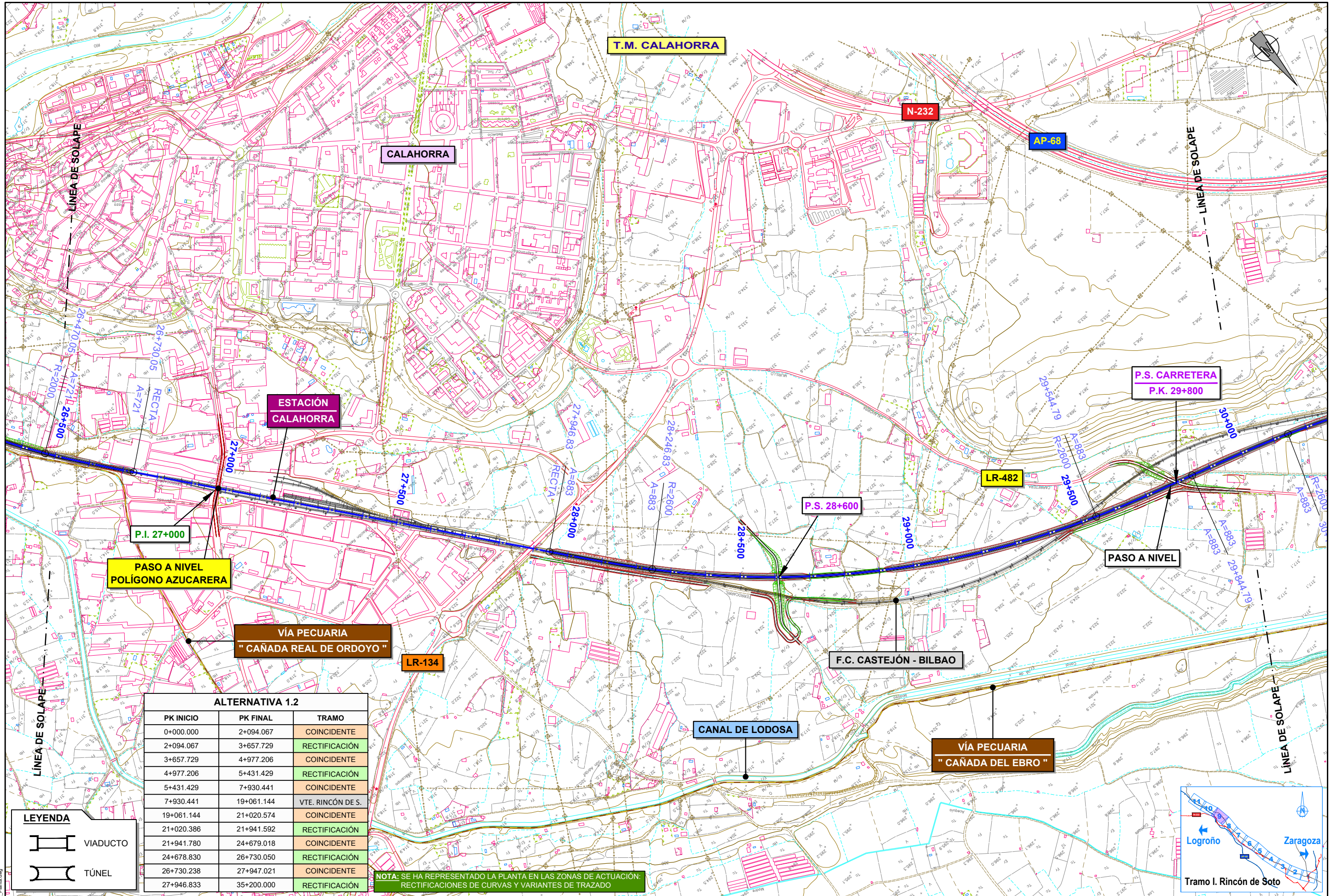
FECHA
MARZO 2022

Nº DE PLANO
4.2.1

Nº DE HOJA
HOJA 8 DE 11

TÍTULO DE PLANO
TRAZADO PLANTA GENERAL TRAMO I. RINCÓN DE SOTO ALTERNATIVA 1.2

EVA GALLEGU DE LA FUENTE ORIGINAL A-1 GRÁFICA



ALTERNATIVA 1.2

PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
0+000.000	2+094.067	COINCIDENTE
2+094.067	3+657.729	RECTIFICACIÓN
3+657.729	4+977.206	COINCIDENTE
4+977.206	5+431.429	RECTIFICACIÓN
5+431.429	7+930.441	COINCIDENTE
7+930.441	19+061.144	VTE. RINCÓN DE S.
19+061.144	21+020.574	COINCIDENTE
21+020.386	21+941.592	RECTIFICACIÓN
21+941.780	24+679.018	COINCIDENTE
24+678.830	26+730.050	RECTIFICACIÓN
26+730.238	27+947.021	COINCIDENTE
27+946.833	35+200.000	RECTIFICACIÓN

NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO

LEYENDA

	VIADUCTO
	TÚNEL

PLOT 04/03/2022
ANTOJUS 04/10/2021 4.2.1 Ab-1.2_Planta.dwg



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

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

TÍTULO
ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TRAMO: CASTEJÓN - LOGROÑO

AUTOR
intecsa inarsa

EVA GALLEGU DE LA FUENTE

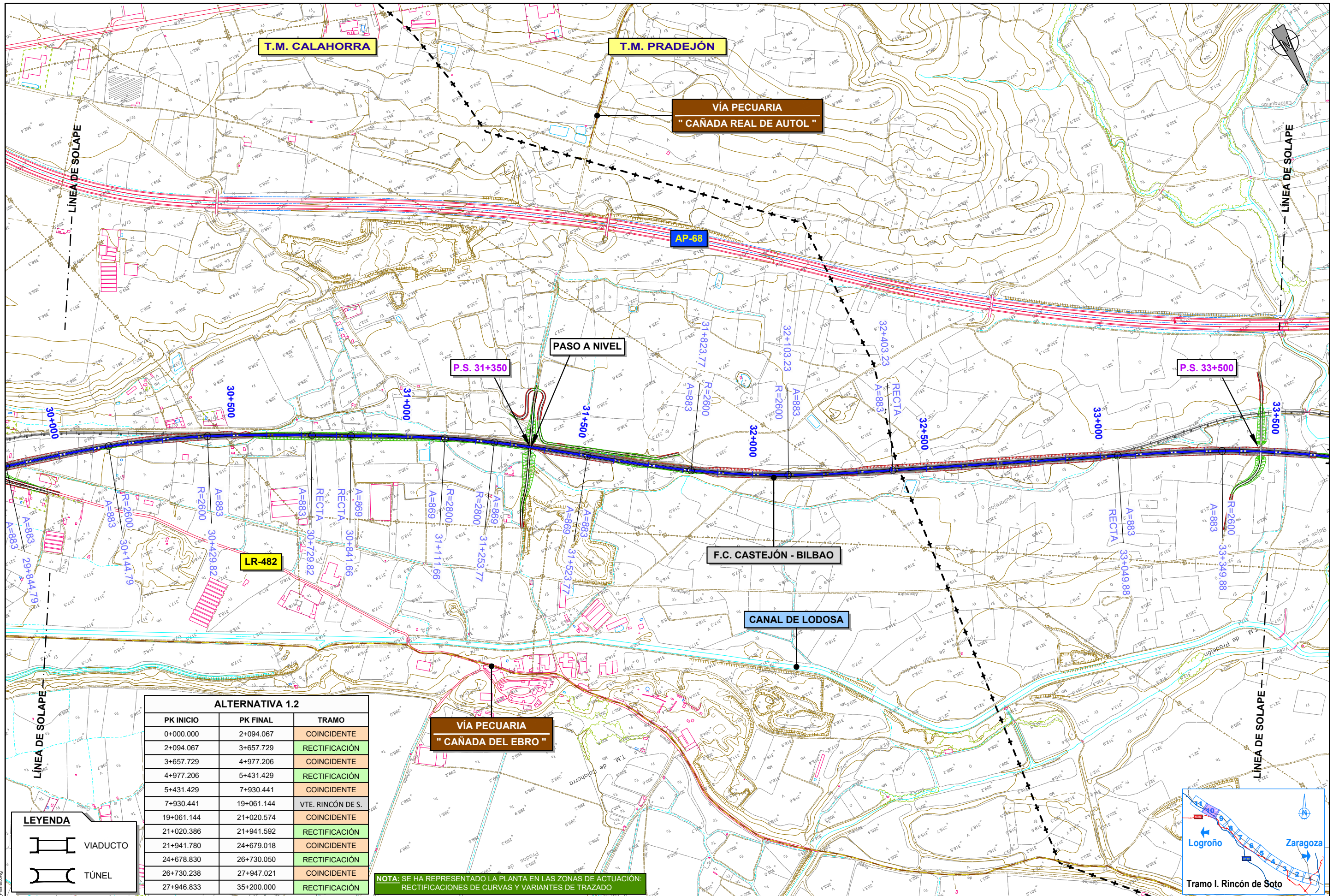
ESCALA
1:5.000
ORIGINAL A-1

FECHA
MARZO 2022

Nº DE PLANO
4.2.1
Nº DE HOJA
HOJA 9 DE 11

TÍTULO DE PLANO
TRAZADO PLANTA GENERAL TRAMO I. RINCÓN DE SOTO ALTERNATIVA 1.2





ALTERNATIVA 1.2		
PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
0+000.000	2+094.067	COINCIDENTE
2+094.067	3+657.729	RECTIFICACIÓN
3+657.729	4+977.206	COINCIDENTE
4+977.206	5+431.429	RECTIFICACIÓN
5+431.429	7+930.441	COINCIDENTE
7+930.441	19+061.144	VTE. RINCÓN DE S.
19+061.144	21+020.574	COINCIDENTE
21+020.386	21+941.592	RECTIFICACIÓN
21+941.780	24+679.018	COINCIDENTE
24+678.830	26+730.050	RECTIFICACIÓN
26+730.238	27+947.021	COINCIDENTE
27+946.833	35+200.000	RECTIFICACIÓN

NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO

LEYENDA

VIADUCTO

TÚNEL

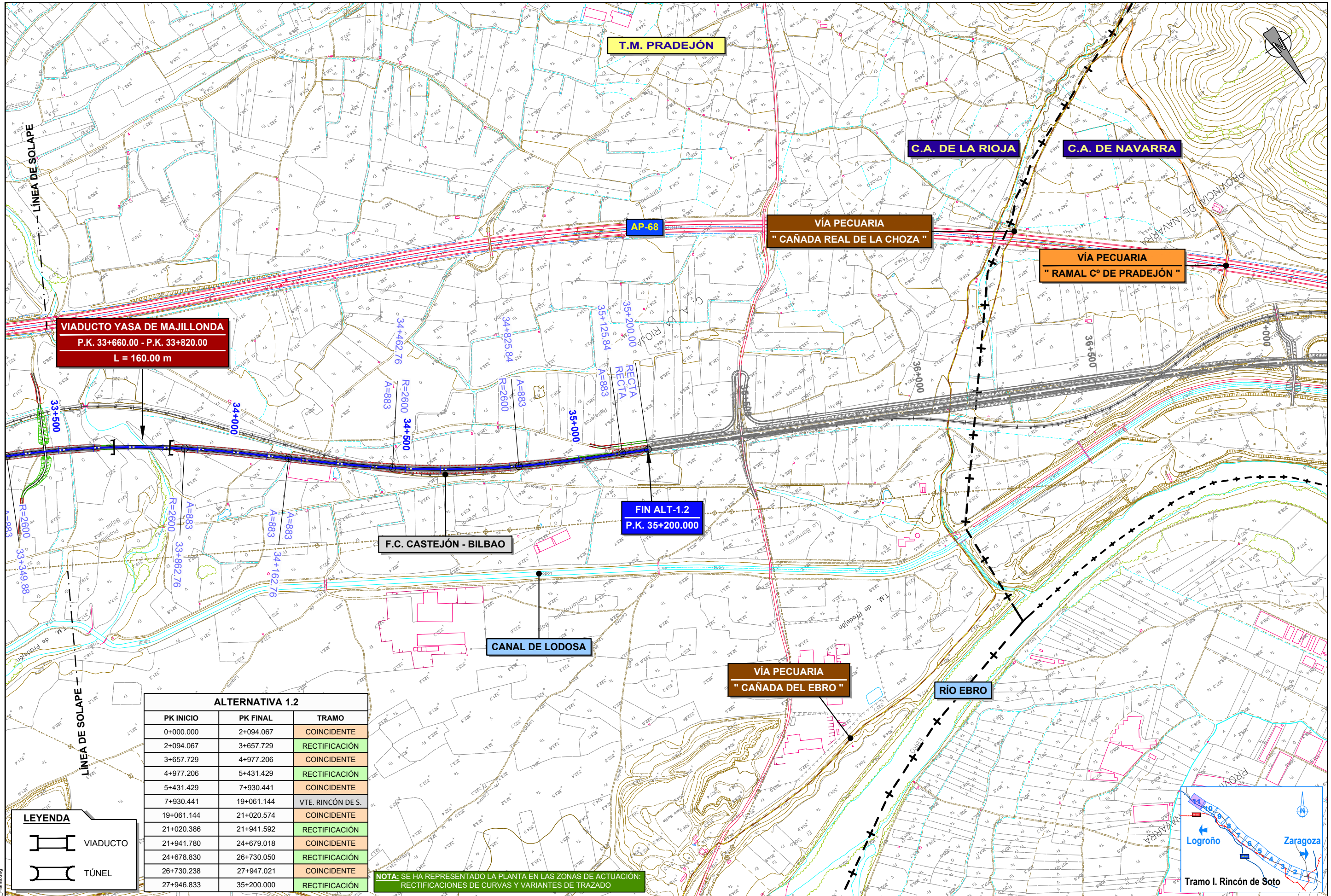
TÍTULO ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TRAMO: CASTEJÓN - LOGROÑO	AUTOR 	ESCALA 1:5.000 	FECHA MARZO 2022	Nº DE PLANO 4.2.1	TÍTULO DE PLANO TRAZADO PLANTA GENERAL TRAMO I. RINCÓN DE SOTO ALTERNATIVA 1.2
			EVA GALLEGU DE LA FUENTE	Nº DE HOJA HOJA 10 DE 11	

PLOT 04/03/2022
 ANTOUS 04/10/2021 4.2.1 Ab-1.2_Planta.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA
 MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

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





ALTERNATIVA 1.2

PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
0+000.000	2+094.067	COINCIDENTE
2+094.067	3+657.729	RECTIFICACIÓN
3+657.729	4+977.206	COINCIDENTE
4+977.206	5+431.429	RECTIFICACIÓN
5+431.429	7+930.441	COINCIDENTE
7+930.441	19+061.144	VTE. RINCÓN DE S.
19+061.144	21+020.574	COINCIDENTE
21+020.386	21+941.592	RECTIFICACIÓN
21+941.780	24+679.018	COINCIDENTE
24+678.830	26+730.050	RECTIFICACIÓN
26+730.238	27+947.021	COINCIDENTE
27+946.833	35+200.000	RECTIFICACIÓN

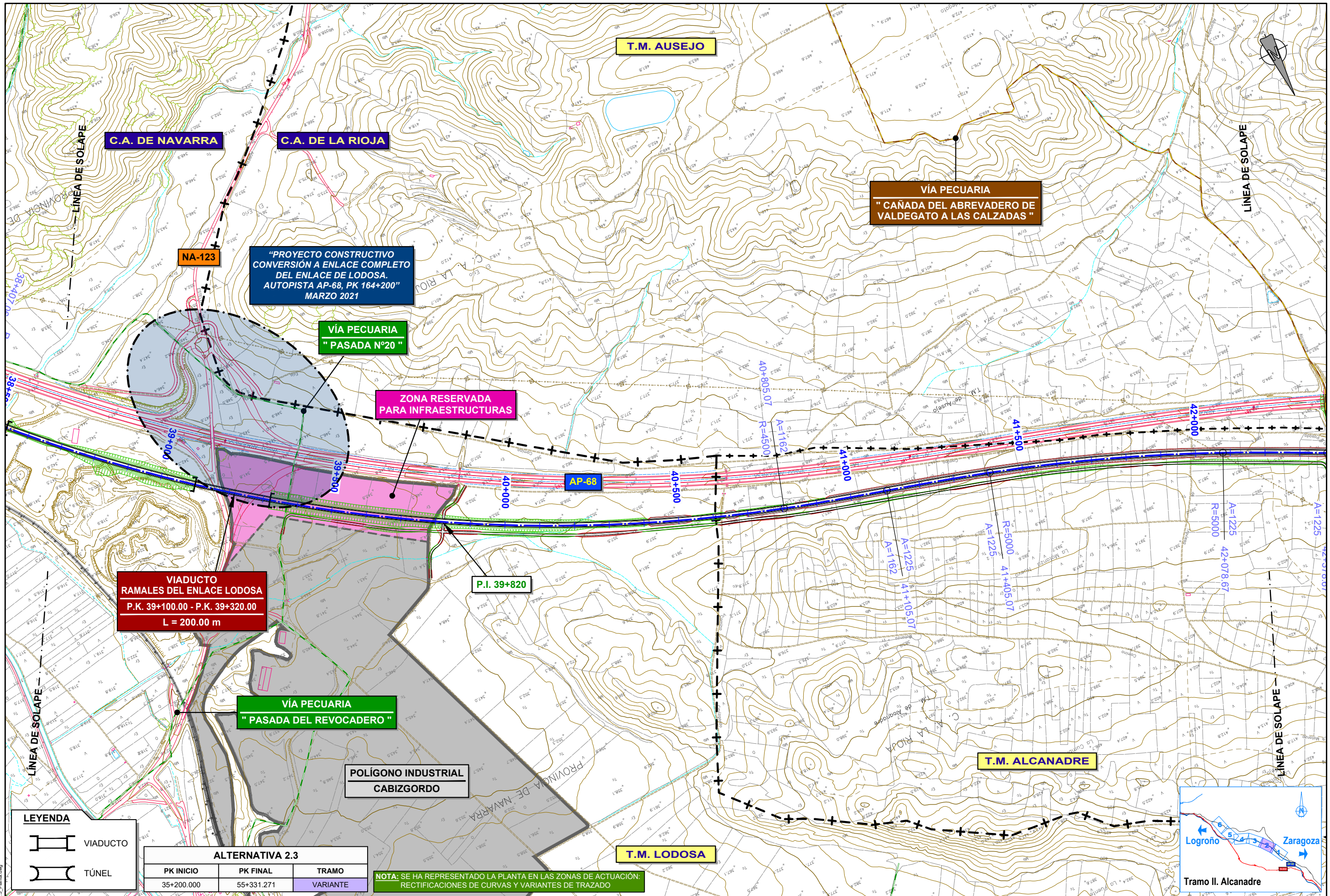
NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO

LEYENDA

- VIADUCTO
- TÚNEL



PLOT 04/03/2022
 ANT005 04/10/2021 4.2.1 Alt-1.2_Planta.dwg



LEYENDA

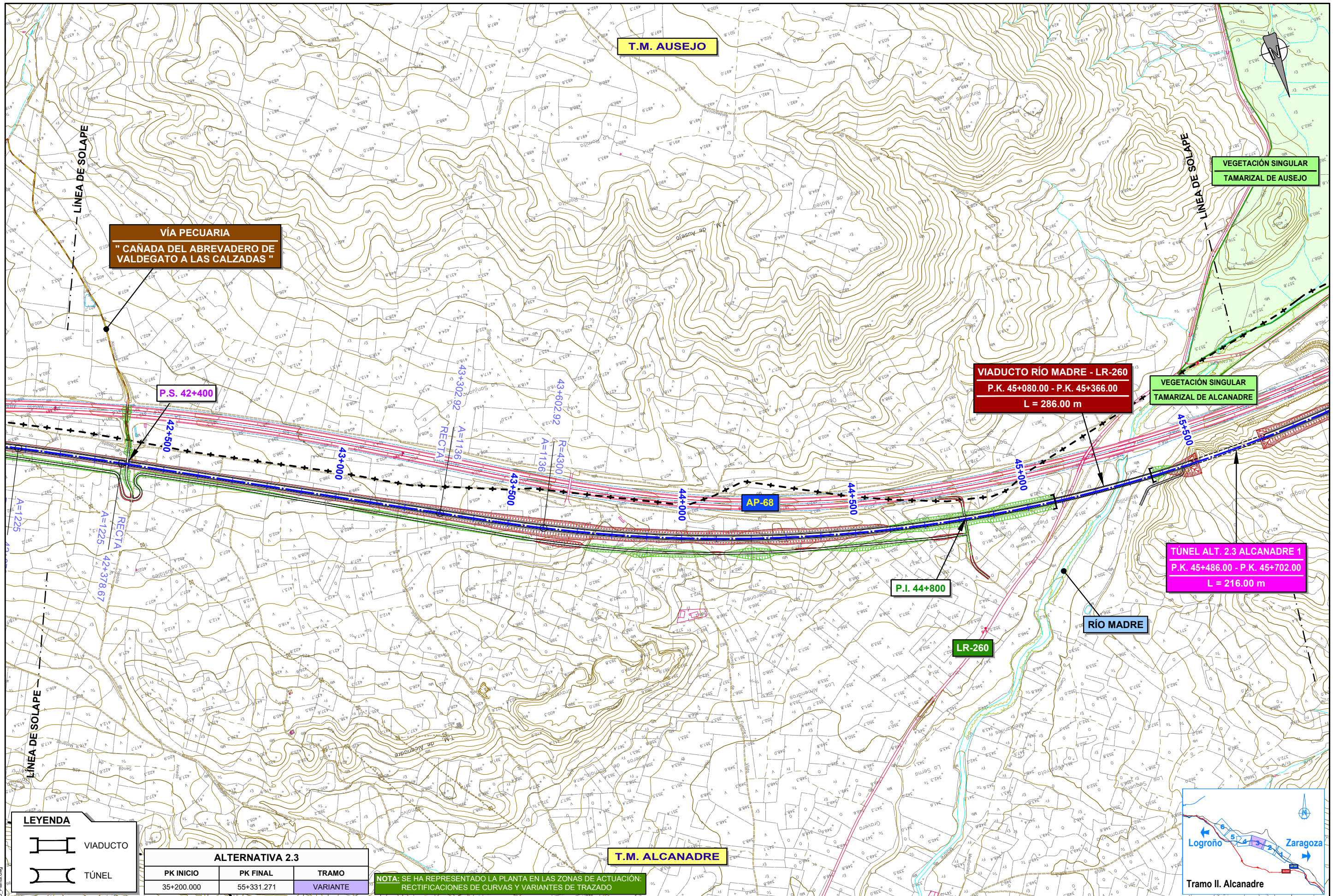
	VIADUCTO
	TÚNEL

ALTERNATIVA 2.3

PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
35+200.000	55+331.271	VARIANTE

NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO

PLOT 04/03/2022
 ANTOUS 18/11/2021 4.2.3.A1/2.3_Planos.dwg

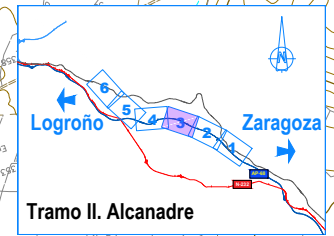


LEYENDA

	VIADUCTO
	TÚNEL

ALTERNATIVA 2.3		
PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
35+200.000	55+331.271	VARIANTE

NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO



PLOT 04/03/2022
ANTOJ5 18/11/2021 4.2.2.3.A1/2.3.Planta.dwg

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

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

TÍTULO
ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TRAMO: CASTEJÓN - LOGROÑO

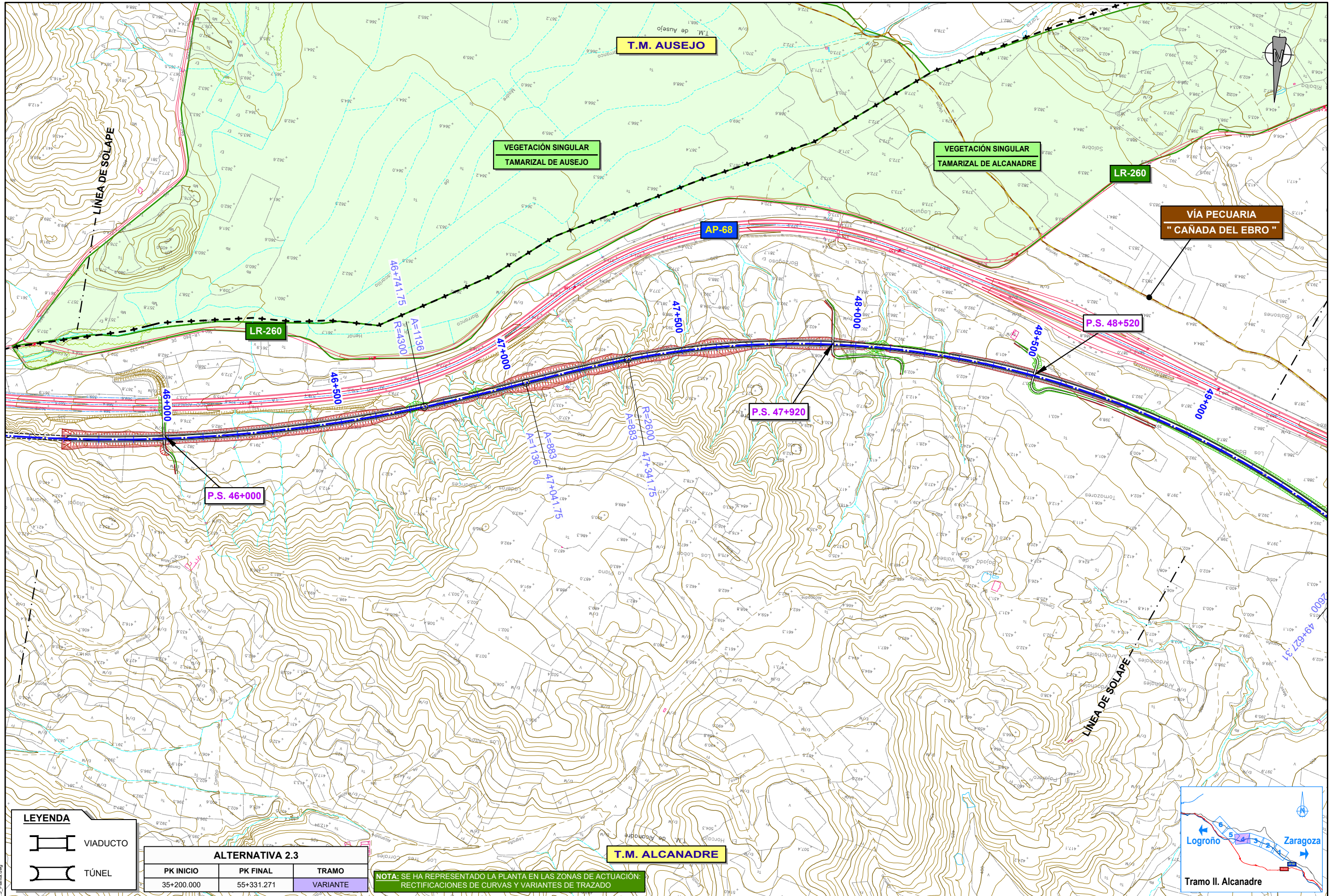
AUTOR

ESCALA
1 : 5.000
0 50 100 150 200m
ORIGINAL A-1

FECHA
MARZO 2022

Nº DE PLANO
4.2.2.3
Nº DE HOJA
HOJA 3 DE 6

TÍTULO DE PLANO
TRAZADO PLANTA GENERAL TRAMO II. ALCANADRE ALTERNATIVA 2.3



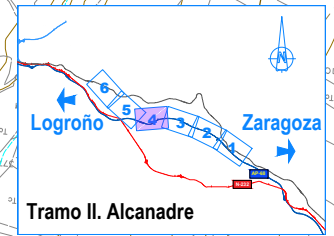
LEYENDA

	VIADUCTO
	TÚNEL

ALTERNATIVA 2.3

PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
35+200.000	55+331.271	VARIANTE

NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO



PLOT 04/03/2022
ANTOJ5 18/11/2021 4.2.2.3.A1/2.3_Planja.dwg



MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANEACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

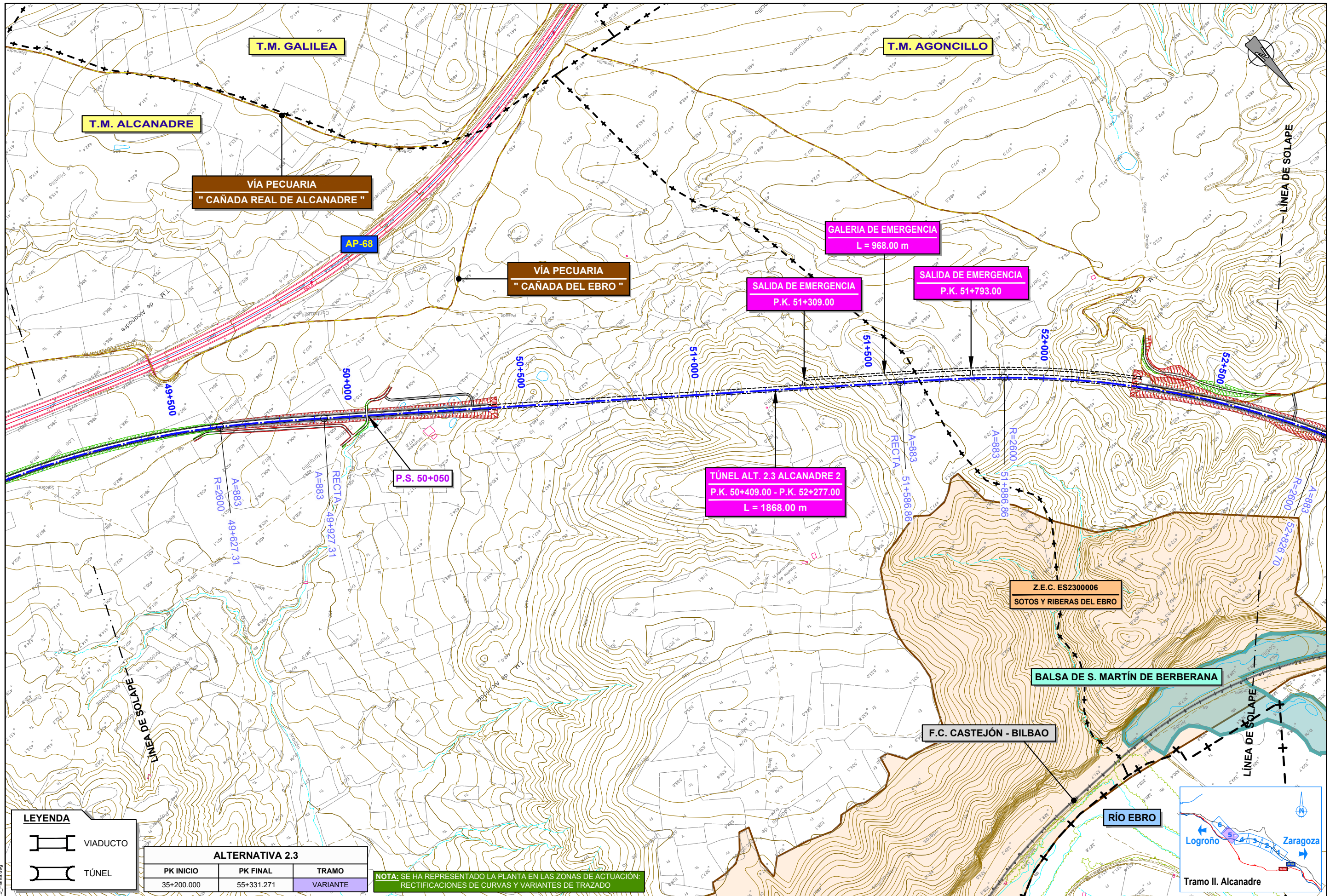
TÍTULO
ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TRAMO: CASTEJÓN - LOGROÑO

AUTOR
intecsa inarsa
EVA GALLEGU DE LA FUENTE

ESCALA
1 : 5.000
0 50 100 150 200m
ORIGINAL A-1 GRÁFICA

FECHA
MARZO 2022

Nº DE PLANO
4.2.2.3
Nº DE HOJA
HOJA 4 DE 6
TÍTULO DE PLANO
TRAZADO PLANTA GENERAL TRAMO II. ALCANADRE ALTERNATIVA 2.3



LEYENDA

	VIADUCTO
	TUNEL

ALTERNATIVA 2.3

PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
35+200.000	55+331.271	VARIANTE

NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO



PLOT 04/03/2022
ANT005 18/11/2021 4.2.3.A1/2.3_Plania.dwg



MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

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

TÍTULO
ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TRAMO: CASTEJÓN - LOGROÑO

AUTOR
intecsa inarsa

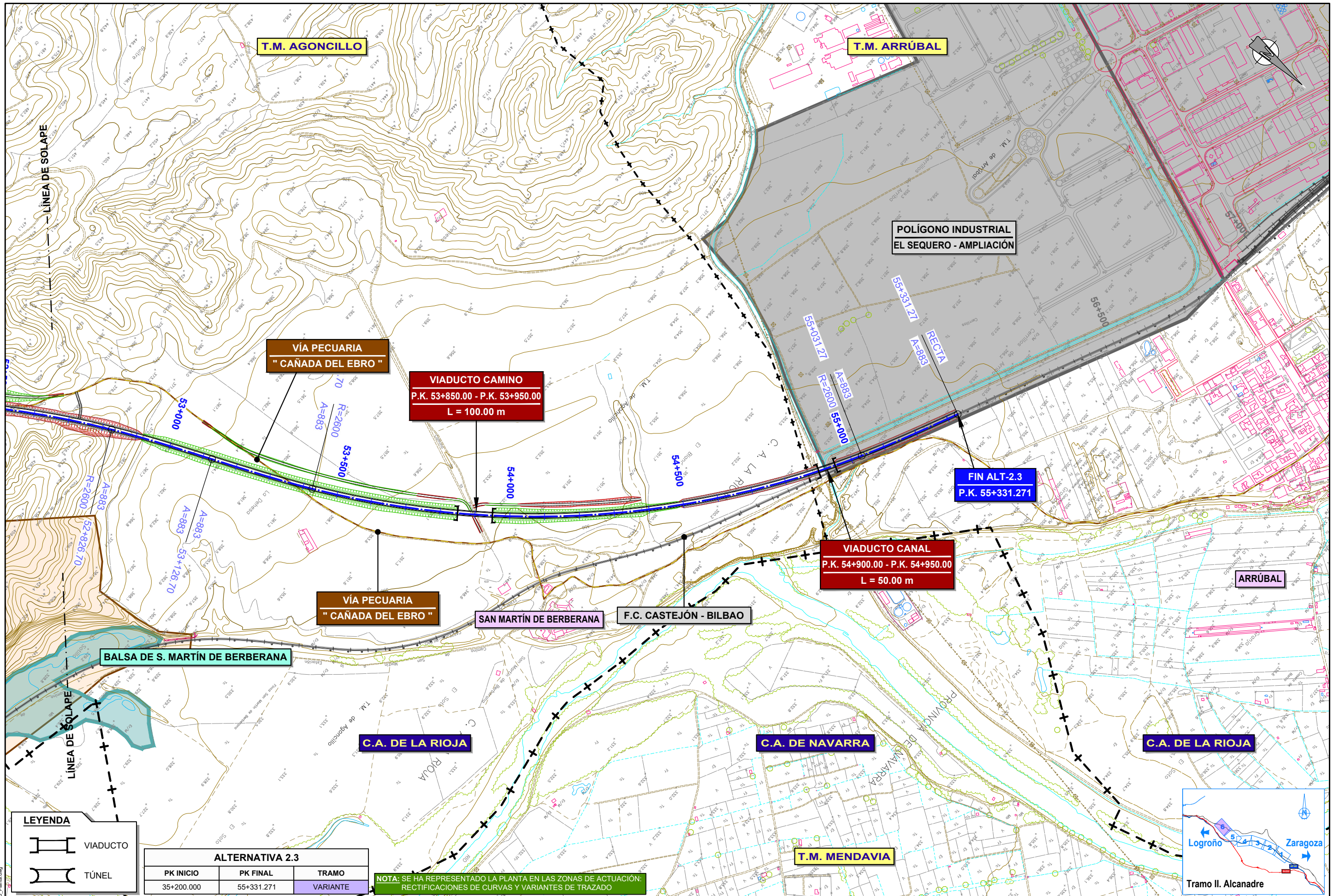
EVA GALLEGU DE LA FUENTE

ESCALA
1 : 5.000
0 50 100 150 200m
ORIGINAL A-1

FECHA
MARZO 2022
GRÁFICA

Nº DE PLANO
4.2.2.3
Nº DE HOJA
HOJA 5 DE 6

TÍTULO DE PLANO
TRAZADO PLANTA GENERAL TRAMO II. ALCANADRE ALTERNATIVA 2.3



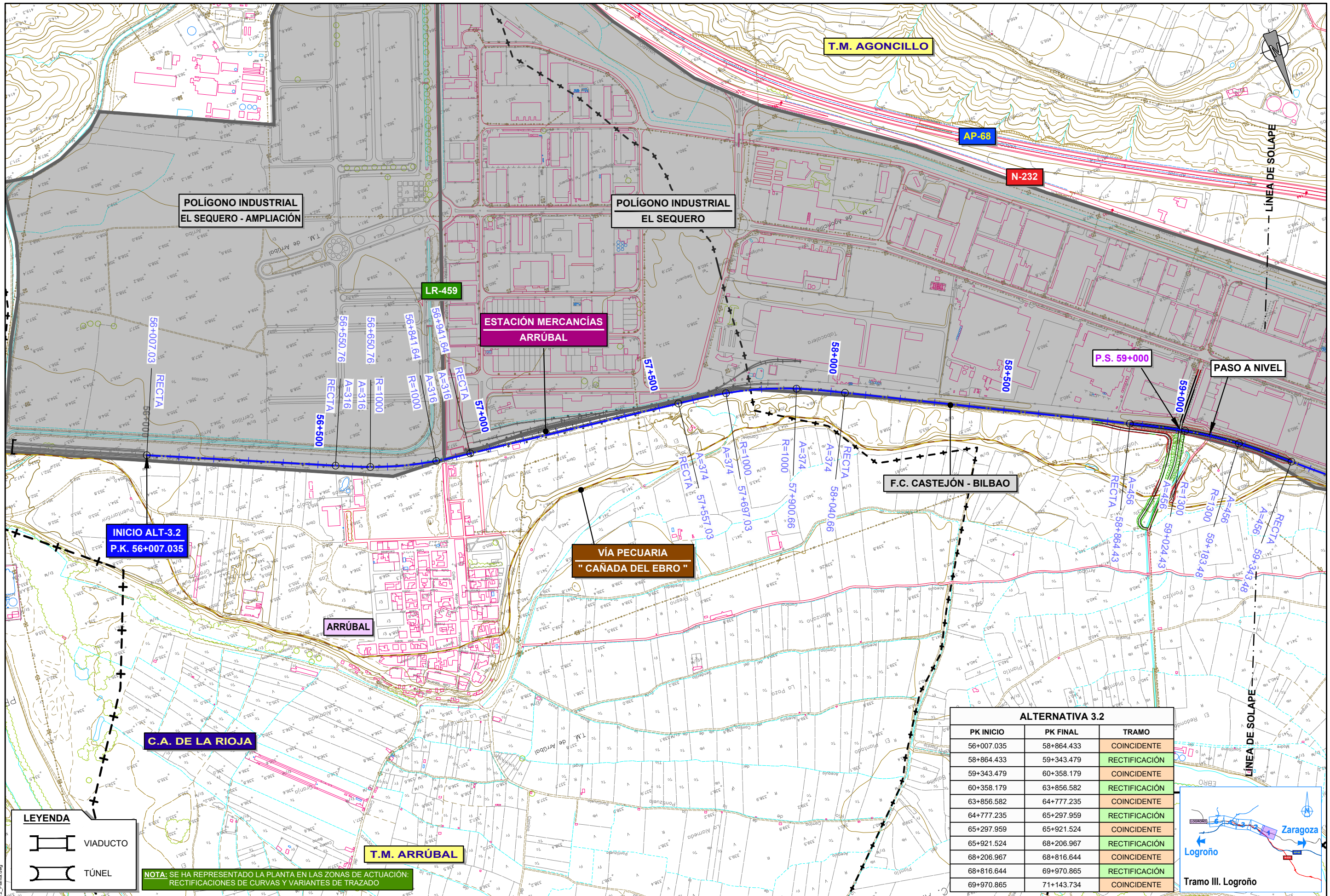
LEYENDA

	VIADUCTO
	TÚNEL

ALTERNATIVA 2.3		
PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
35+200.000	55+331.271	VARIANTE

NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO

PLOT 04/03/2022
 ANTOUS 18/11/2021 4.2.3.A1/2.3_Planos.dwg



POLÍGONO INDUSTRIAL EL SEQUERO - AMPLIACIÓN

POLÍGONO INDUSTRIAL EL SEQUERO

ESTACIÓN MERCANCÍAS ARRÚBAL

F.C. CASTEJÓN - BILBAO

VÍA PECUARIA "CAÑADA DEL EBRO"

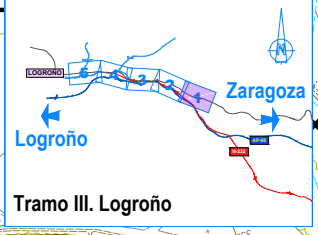
ARRÚBAL

C.A. DE LA RIOJA

T.M. ARRÚBAL

NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO

ALTERNATIVA 3.2		
PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
56+007.035	58+864.433	COINCIDENTE
58+864.433	59+343.479	RECTIFICACIÓN
59+343.479	60+358.179	COINCIDENTE
60+358.179	63+856.582	RECTIFICACIÓN
63+856.582	64+777.235	COINCIDENTE
64+777.235	65+297.959	RECTIFICACIÓN
65+297.959	65+921.524	COINCIDENTE
65+921.524	68+206.967	RECTIFICACIÓN
68+206.967	68+816.644	COINCIDENTE
68+816.644	69+970.865	RECTIFICACIÓN
69+970.865	71+143.734	COINCIDENTE

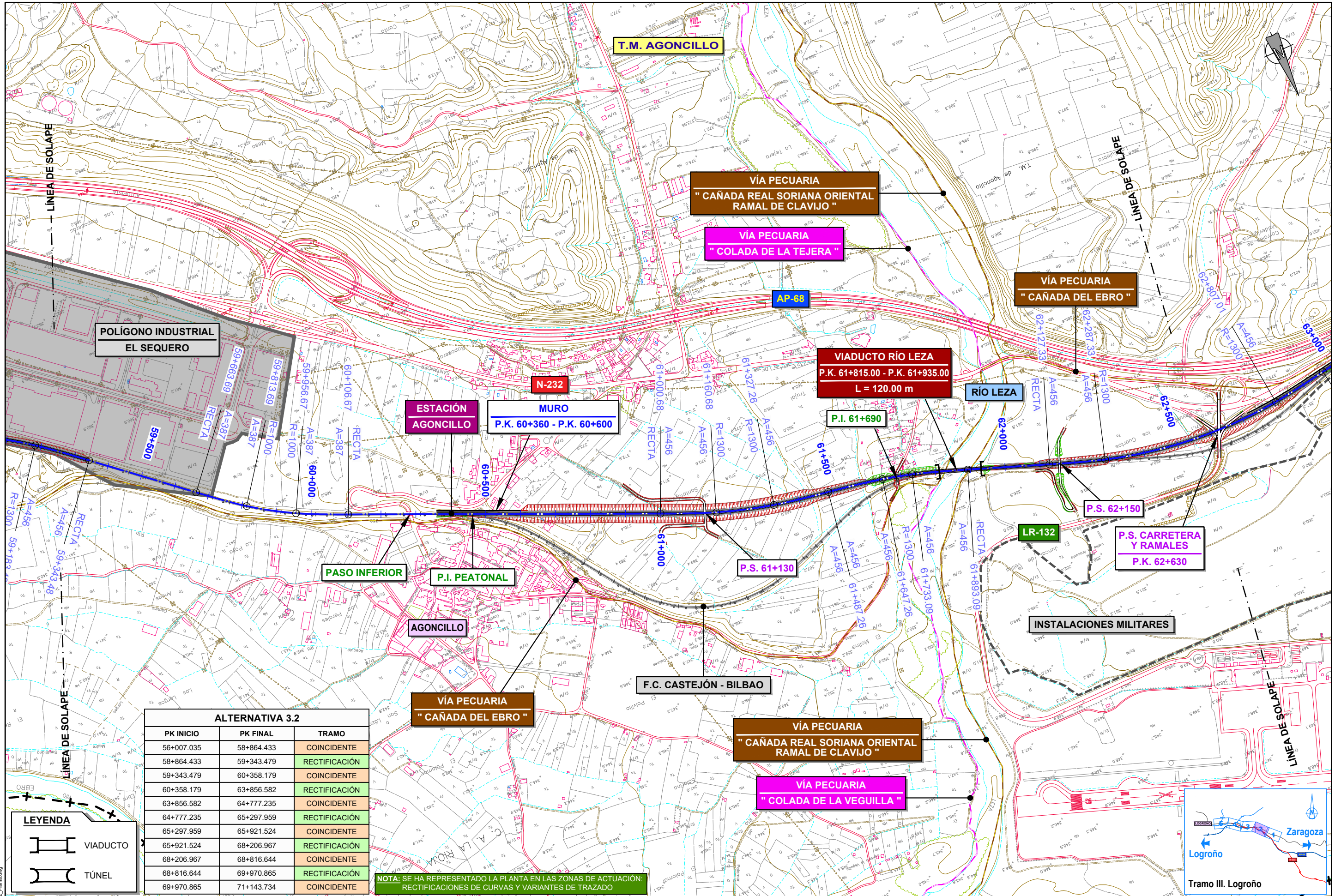


LEYENDA

- VIADUCTO
- TÚNEL

PLOT 04/03/2022 ANT05 28/07/2021 4.2.3.2.A13.2_Planja.dwg

	<p>TÍTULO</p> <p>ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TRAMO: CASTEJÓN - LOGROÑO</p>	<p>AUTOR</p>	<p>ESCALA</p> <p>1:5.000</p>	<p>FECHA</p> <p>MARZO 2022</p>	<p>Nº DE PLANO</p> <p>4.2.3.2</p>	<p>TÍTULO DE PLANO</p> <p>TRAZADO PLANTA GENERAL TRAMO III. LOGROÑO ALTERNATIVA 3.2</p>
					<p>Nº DE HOJA</p> <p>HOJA 1 DE 5</p>	



ALTERNATIVA 3.2

PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
56+007.035	58+864.433	COINCIDENTE
58+864.433	59+343.479	RECTIFICACIÓN
59+343.479	60+358.179	COINCIDENTE
60+358.179	63+856.582	RECTIFICACIÓN
63+856.582	64+777.235	COINCIDENTE
64+777.235	65+297.959	RECTIFICACIÓN
65+297.959	65+921.524	COINCIDENTE
65+921.524	68+206.967	RECTIFICACIÓN
68+206.967	68+816.644	COINCIDENTE
68+816.644	69+970.865	RECTIFICACIÓN
69+970.865	71+143.734	COINCIDENTE

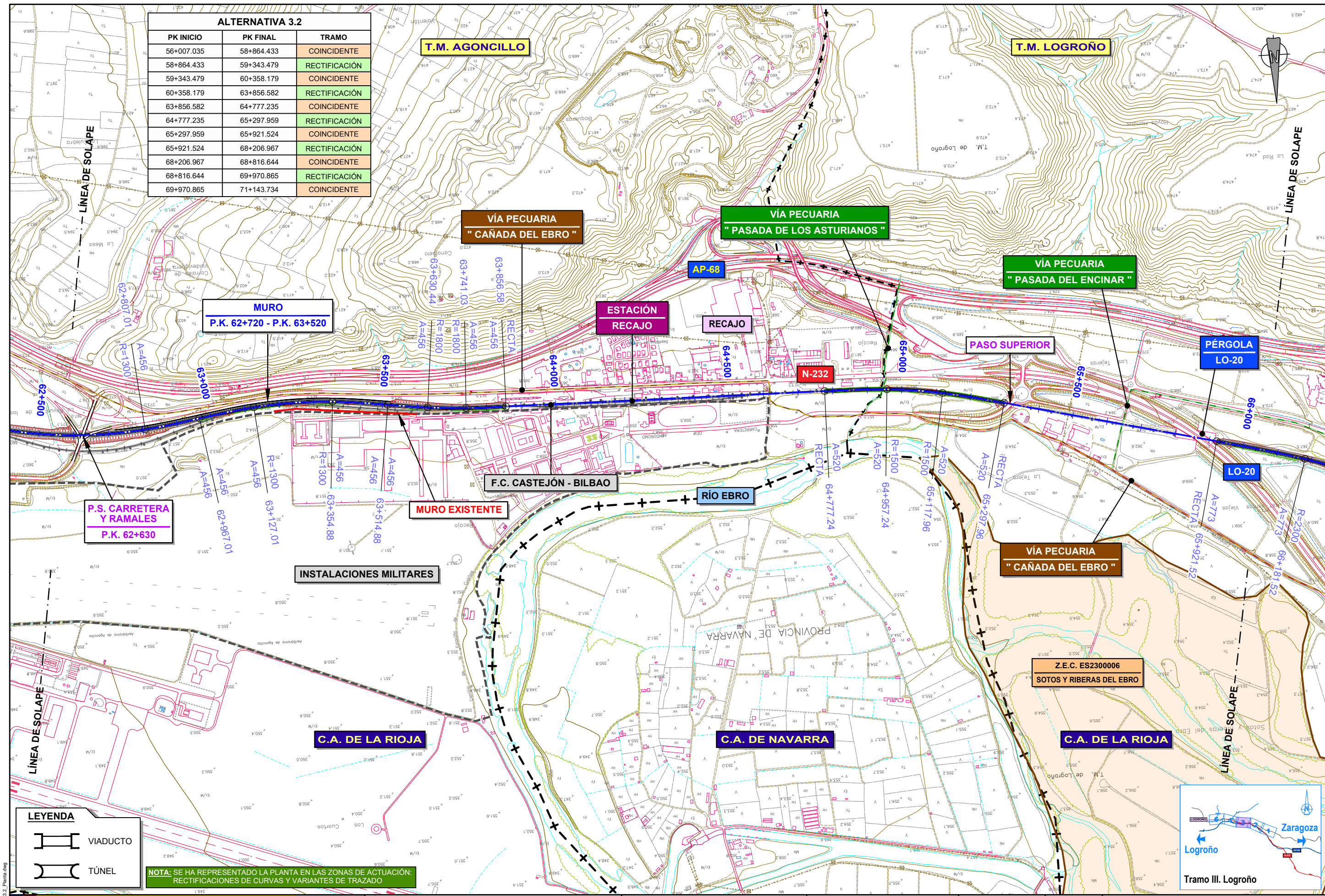
NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO

LEYENDA

- VIADUCTO
- TÚNEL

PLOT 04/03/2022
ANTOJ5 28/07/2021 4.2.3.2.A13.2_Planos.dwg

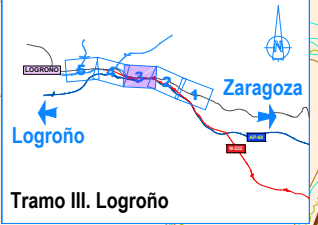
ALTERNATIVA 3.2		
PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
56+007.035	58+864.433	COINCIDENTE
58+864.433	59+343.479	RECTIFICACIÓN
59+343.479	60+358.179	COINCIDENTE
60+358.179	63+856.582	RECTIFICACIÓN
63+856.582	64+777.235	COINCIDENTE
64+777.235	65+297.959	RECTIFICACIÓN
65+297.959	65+921.524	COINCIDENTE
65+921.524	68+206.967	RECTIFICACIÓN
68+206.967	68+816.644	COINCIDENTE
68+816.644	69+970.865	RECTIFICACIÓN
69+970.865	71+143.734	COINCIDENTE



NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO

LEYENDA

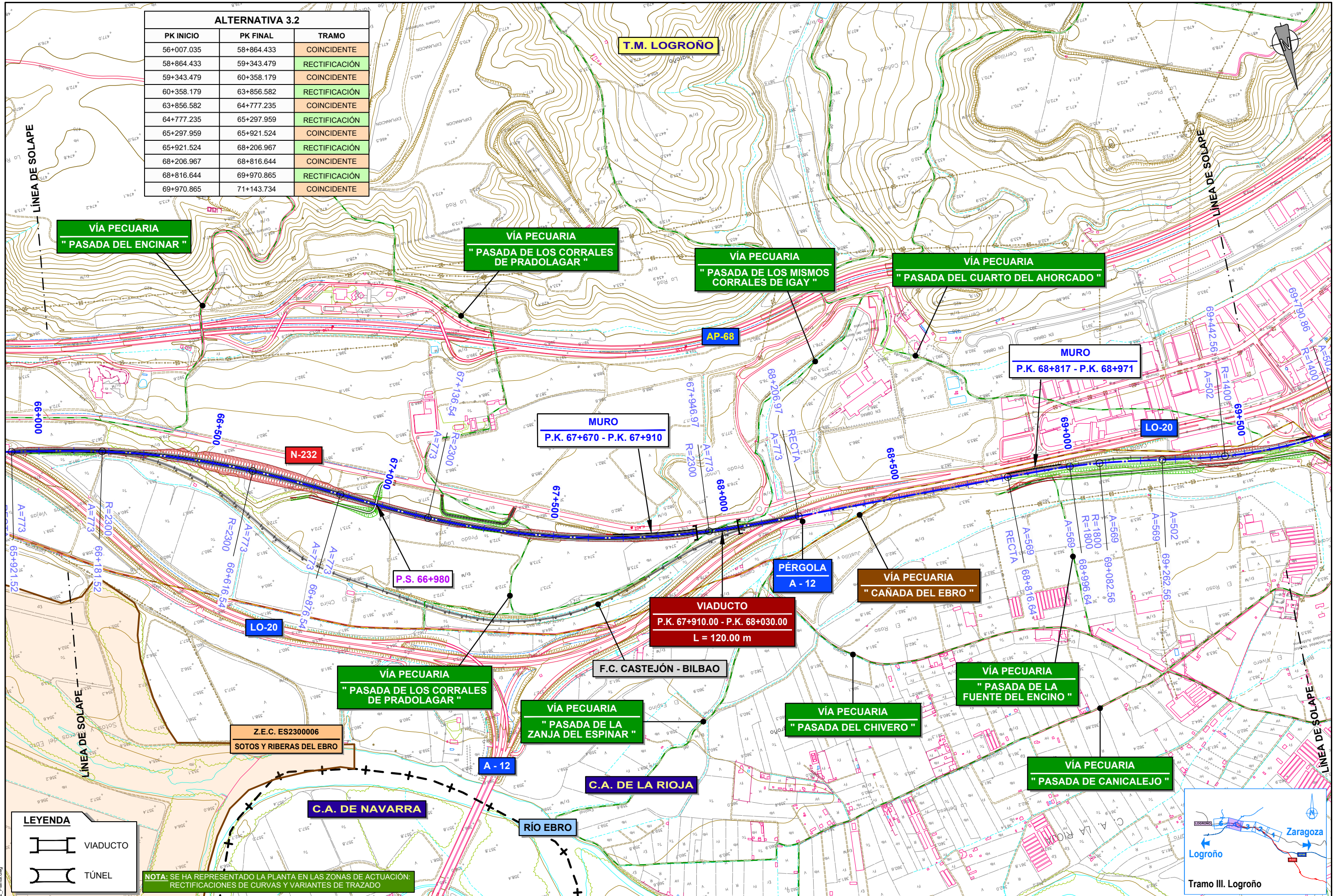
- VIADUCTO
- TÚNEL



	TÍTULO ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TRAMO: CASTEJÓN - LOGROÑO	AUTOR 	ESCALA 1:5.000 	FECHA MARZO 2022	Nº DE PLANO 4.2.3.2	TÍTULO DE PLANO TRAZADO PLANTA GENERAL TRAMO III. LOGROÑO ALTERNATIVA 3.2
					Nº DE HOJA HOJA 3 DE 5	

PLOT 04/03/2022
 ANTOJ5 28/07/2021 4.2.3.2.A13.2_Planos.dwg

ALTERNATIVA 3.2		
PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
56+007.035	58+864.433	COINCIDENTE
58+864.433	59+343.479	RECTIFICACIÓN
59+343.479	60+358.179	COINCIDENTE
60+358.179	63+856.582	RECTIFICACIÓN
63+856.582	64+777.235	COINCIDENTE
64+777.235	65+297.959	RECTIFICACIÓN
65+297.959	65+921.524	COINCIDENTE
65+921.524	68+206.967	RECTIFICACIÓN
68+206.967	68+816.644	COINCIDENTE
68+816.644	69+970.865	RECTIFICACIÓN
69+970.865	71+143.734	COINCIDENTE



LEYENDA

	VIADUCTO
	TUNEL

NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO



PLOT 04/03/2022
ANTOJ5 28/07/2021 4.2.3.2.A13.2_Planos.dwg



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

TÍTULO
ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD
TRAMO: CASTEJÓN - LOGROÑO

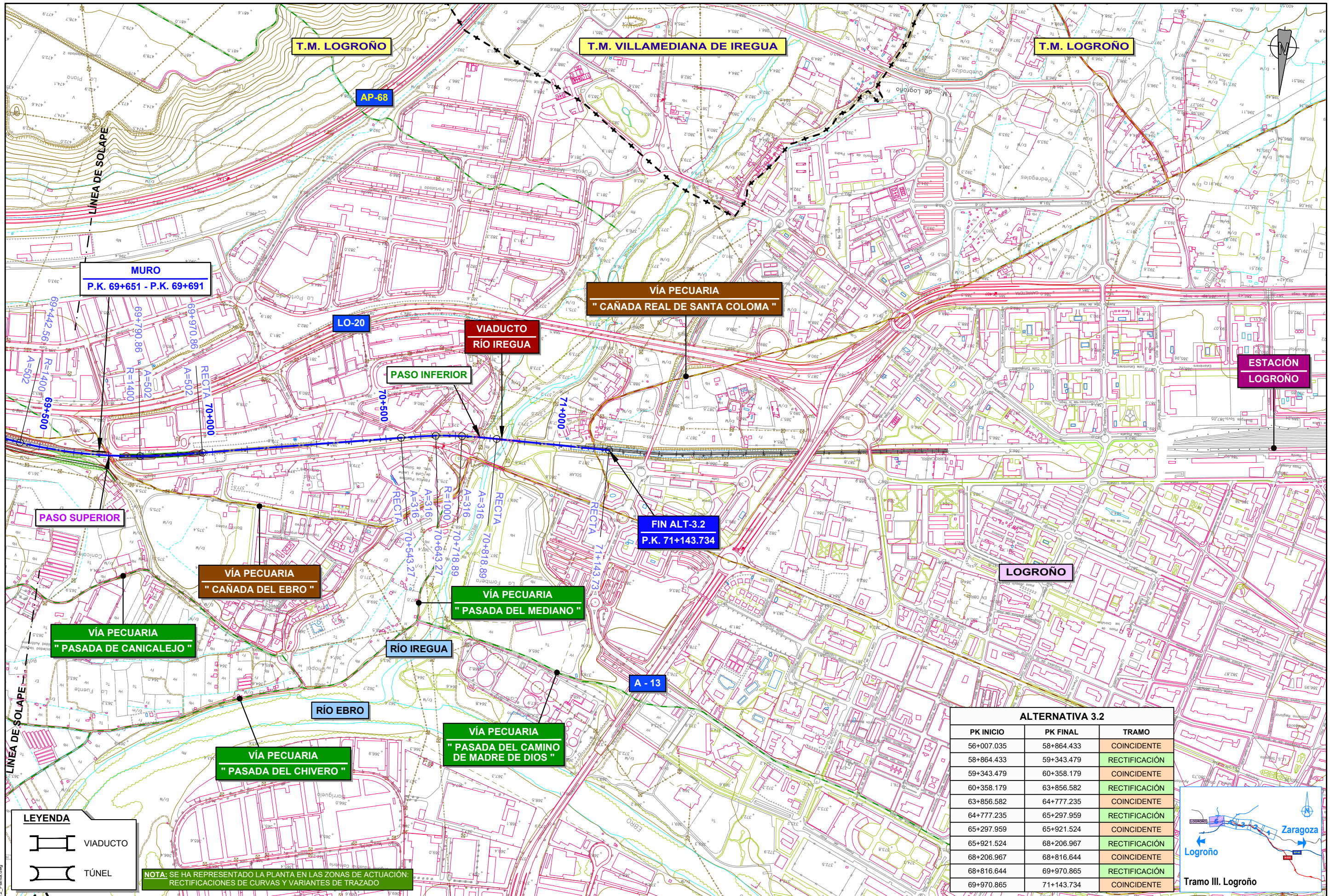
AUTOR

EVA GALLEGU DE LA FUENTE

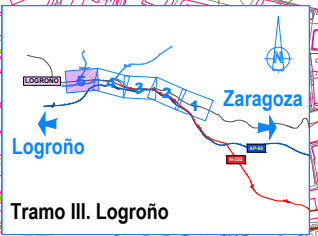
ESCALA
1 : 5.000
0 50 100 150 200m
ORIGINAL A-1
GRÁFICA

FECHA
MARZO 2022

Nº DE PLANO
4.2.3.2
Nº DE HOJA
HOJA 4 DE 5
TÍTULO DE PLANO
TRAZADO PLANTA GENERAL TRAMO III. LOGROÑO ALTERNATIVA 3.2



ALTERNATIVA 3.2		
PK INICIO	PK FINAL	TRAMO
56+007.035	58+864.433	COINCIDENTE
58+864.433	59+343.479	RECTIFICACIÓN
59+343.479	60+358.179	COINCIDENTE
60+358.179	63+856.582	RECTIFICACIÓN
63+856.582	64+777.235	COINCIDENTE
64+777.235	65+297.959	RECTIFICACIÓN
65+297.959	65+921.524	COINCIDENTE
65+921.524	68+206.967	RECTIFICACIÓN
68+206.967	68+816.644	COINCIDENTE
68+816.644	69+970.865	RECTIFICACIÓN
69+970.865	71+143.734	COINCIDENTE

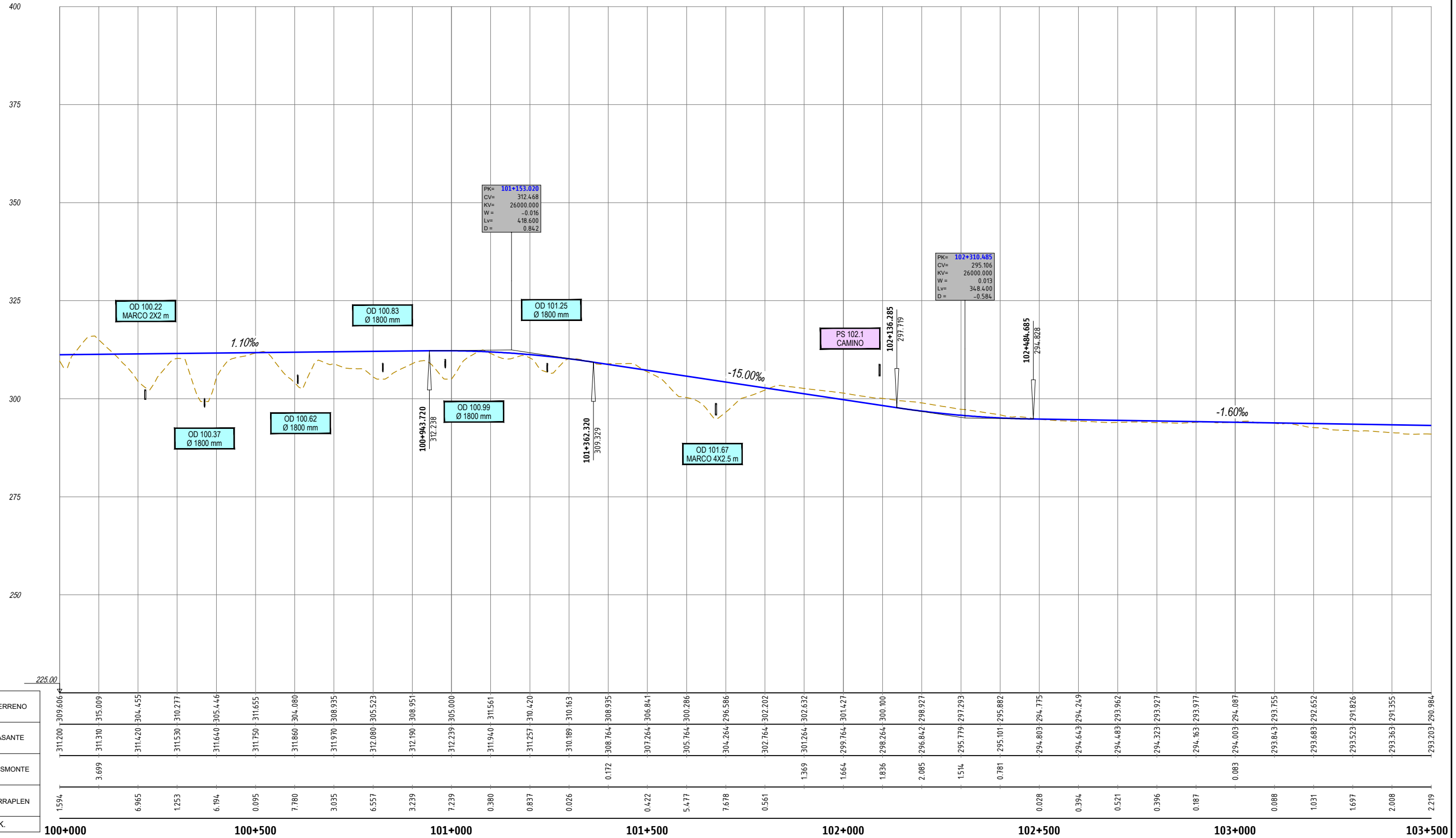


LEYENDA

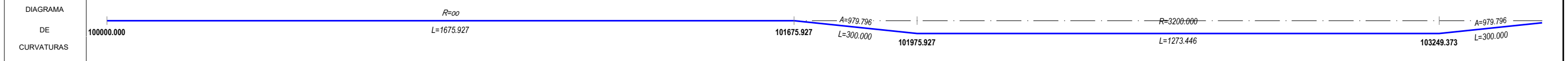
- VIADUCTO
- TÚNEL

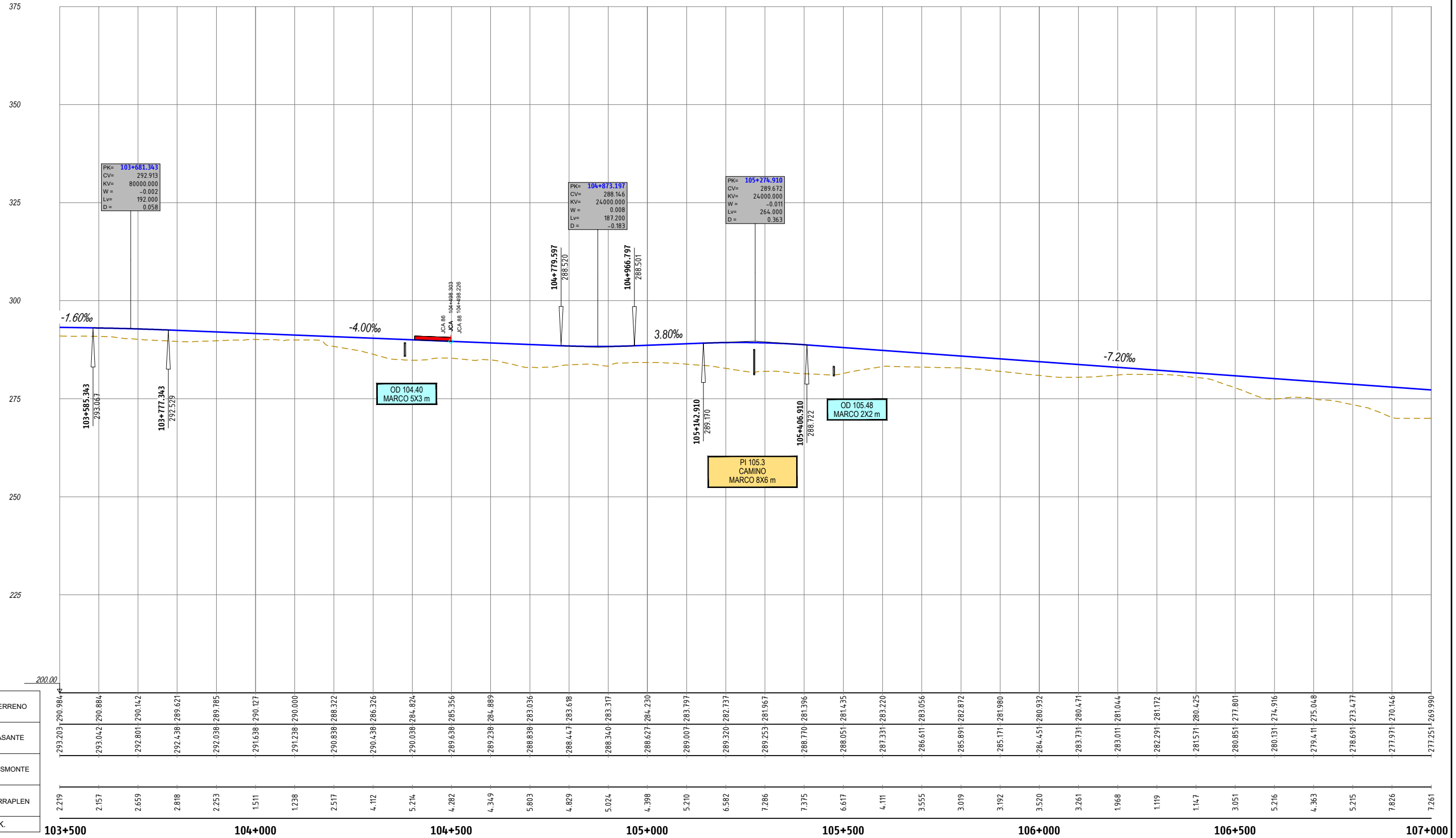
NOTA: SE HA REPRESENTADO LA PLANTA EN LAS ZONAS DE ACTUACIÓN: RECTIFICACIONES DE CURVAS Y VARIANTES DE TRAZADO

PLOT 04/03/2022
 ANTOJ5 28/07/2021 4.2.3.2.A13.2_Planos.dwg

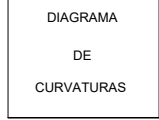


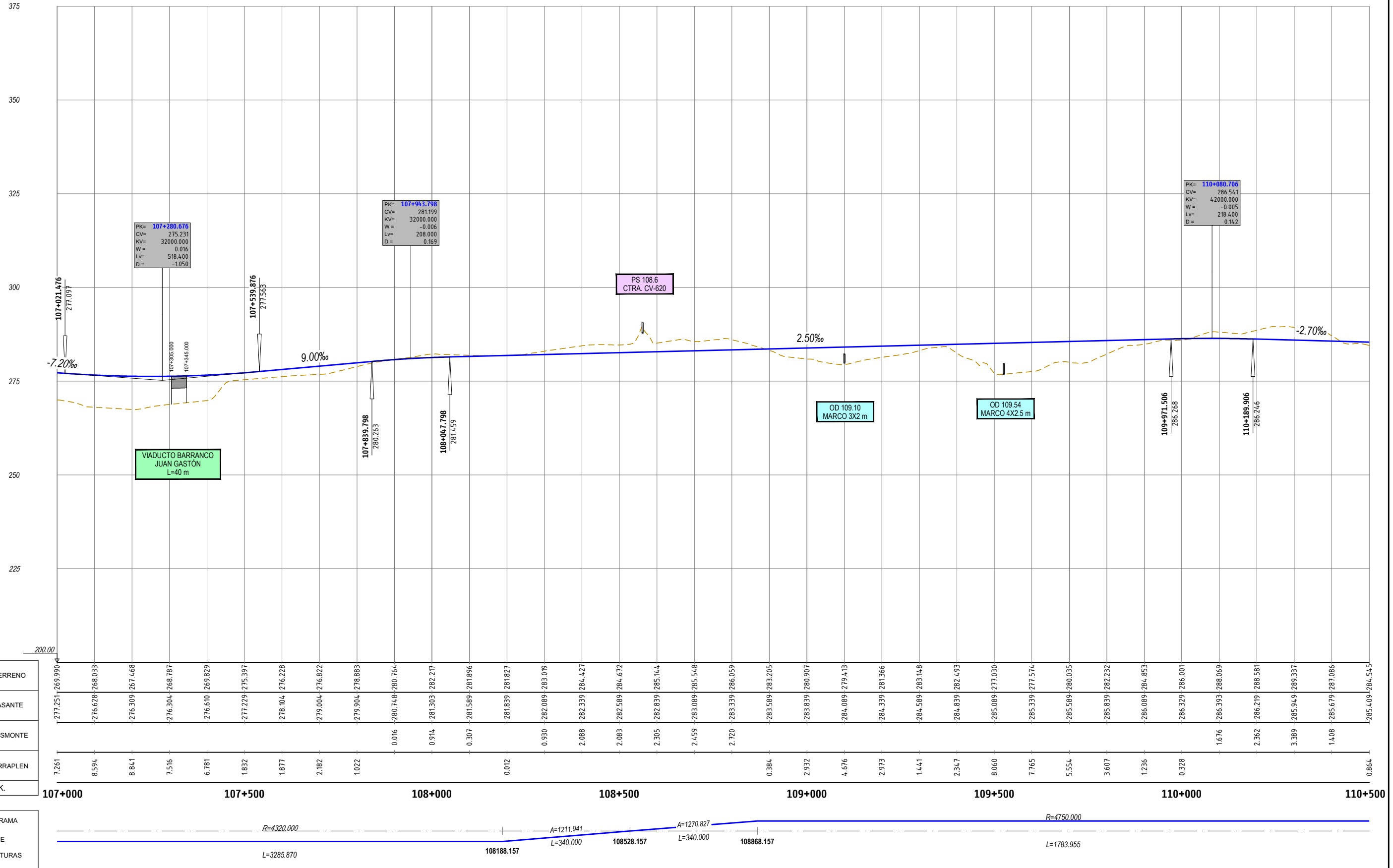
ORDENADAS	TERRENO	RASANTE	COTAS ROJAS	DESMONTE	TERRAPLEN	P.K.
	311.200	309.606	1.594			100+000
	311.310	315.009	3.699			
	311.420	304.455	6.965			
	311.530	310.277	1.253			
	311.640	305.446	6.194			
	311.750	311.655	0.095			
	311.860	304.080	7.780			
	311.970	308.935	3.035			
	312.080	305.523	6.557			
	312.190	308.951	3.239			
	312.239	305.000	7.239			
	311.940	311.561	0.380			
	311.257	310.420	0.837			
	310.189	310.163	0.026			
	308.764	308.935	0.172			
	307.264	306.841	0.422			
	305.764	300.286	5.477			
	304.264	296.586	7.678			
	302.764	302.202	0.561			
	301.264	302.632	1.369			
	299.764	301.477	1.664			
	298.264	300.100	1.836			
	296.842	298.927	2.085			
	295.779	297.293	1.514			
	295.101	295.882	0.781			
	294.803	294.775	0.028			
	294.643	294.249	0.394			
	294.483	293.962	0.521			
	294.323	293.927	0.396			
	294.163	293.977	0.187			
	294.003	294.087	0.083			
	293.843	293.755	0.088			
	293.683	292.652	1.031			
	293.523	291.826	1.697			
	293.363	291.355	2.008			
	293.203	290.984	2.219			103+500



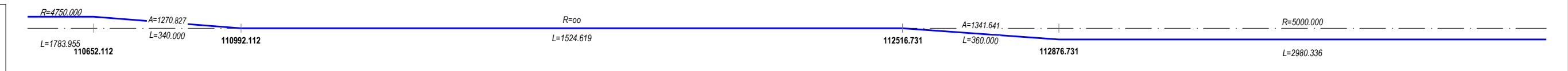
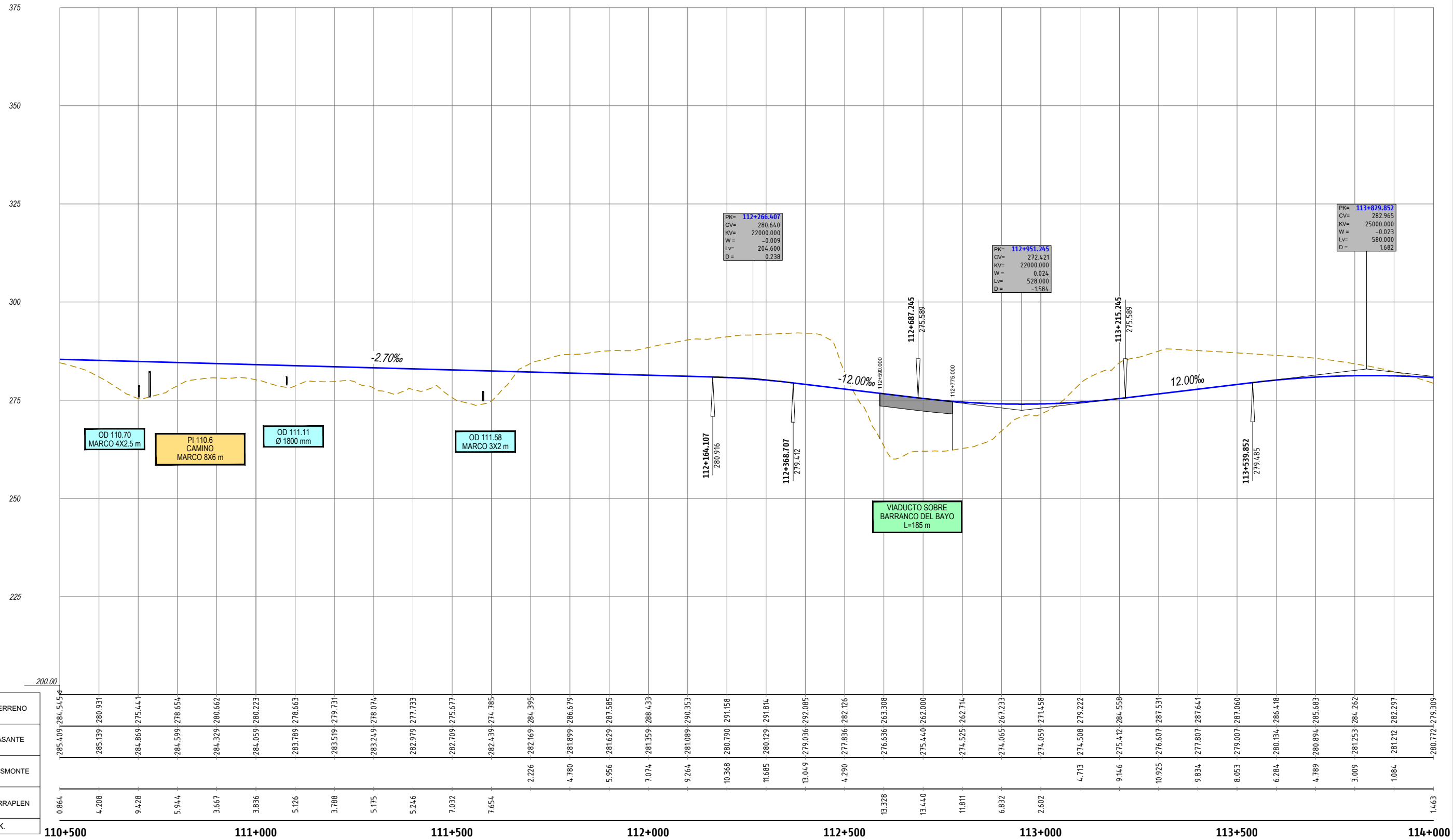


COTAS ROJAS	DESMONTE	TERRAPLEN	P.K.	
2.219			103+500	
2.157				
2.659				
2.818				
2.253				
1.511				
1.238				
2.517				
4.112				
5.214				
4.282				
4.349				
5.803				
4.829				
5.024				
4.398				
5.210				
6.582				
7.286				
7.375				
6.617				
4.111				
3.555				
3.019				
3.192				
3.520				
3.261				
1.968				
1.119				
1.147				
3.051				
5.216				
4.363				
5.215				
7.826				
7.261				107+000





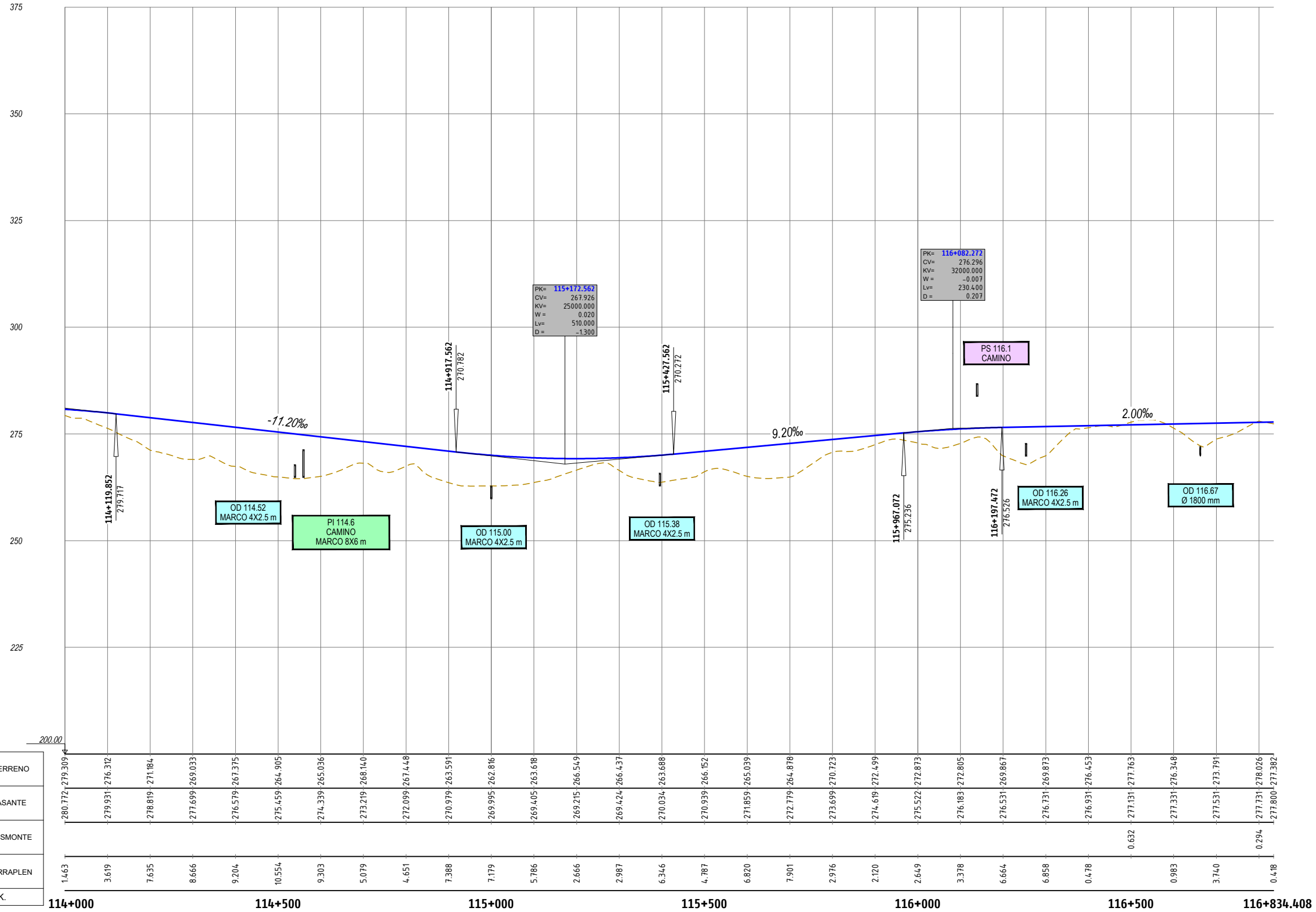
<p>GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA</p>	<p>SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA</p>	<p>TÍTULO ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TRAMO: ZARAGOZA - CASTEJÓN</p>	<p>AUTOR DEL ESTUDIO DELIA ROMERA LUENGO</p>	<p>ESCALA A3 H=1:10.000 A3 V=1:1.000 Numérica Gráfica</p>	<p>FECHA MARZO 2023</p>	<p>Nº DE PLANO: 4.3.1.1 Hoja 3 de 5</p>	<p>TÍTULO DEL PLANO TRAZADO PERFIL LONGITUDINAL TRAMO 1.ALTERNATIVA 1-S-1 (EJE 111)</p>



COTAS ROJAS	DESMONTE	
	TERRAPLEN	
P.K.		

DIAGRAMA DE CURVATURAS	
------------------------	--

 GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TRAMO: ZARAGOZA - CASTEJÓN	AUTOR DEL ESTUDIO DELIA ROMERA LUENGO	ESCALA A3 H=1:10.000 A3 V=1:1.000 Numérica Gráfica	FECHA MARZO 2023	Nº DE PLANO: 4.3.1.1 Hoja 4 de 5	TÍTULO DEL PLANO TRAZADO PERFIL LONGITUDINAL TRAMO 1.ALTERNATIVA 1S-1 (EJE 111)



COTAS ROJAS	DESMONTE	TERRAPLEN
1.463		
3.619		
7.635		
8.666		
9.204		
10.554		
9.303		
5.079		
4.651		
7.388		
7.179		
5.786		
2.666		
2.987		
6.346		
4.787		
6.820		
7.901		
2.976		
2.120		
2.649		
3.378		
6.664		
6.858		
0.478		
0.632		
0.983		
3.740		
0.294		
0.418		

DIAGRAMA DE CURVATURAS
R=5000.000 L=2980.336
A=1341.641 L=360.000
R=00 L=617.341
115857.067
116217.067
116834.408

PK= 116+082.272
CV= 276.296
KV= 32000.000
W = -0.007
Lv= 230.400
D = 0.207

PK= 115+172.562
CV= 267.926
KV= 25000.000
W = 0.020
Lv= 510.000
D = -1.300

PS 116.1 CAMINO

OD 114.52 MARCO 4X2.5 m

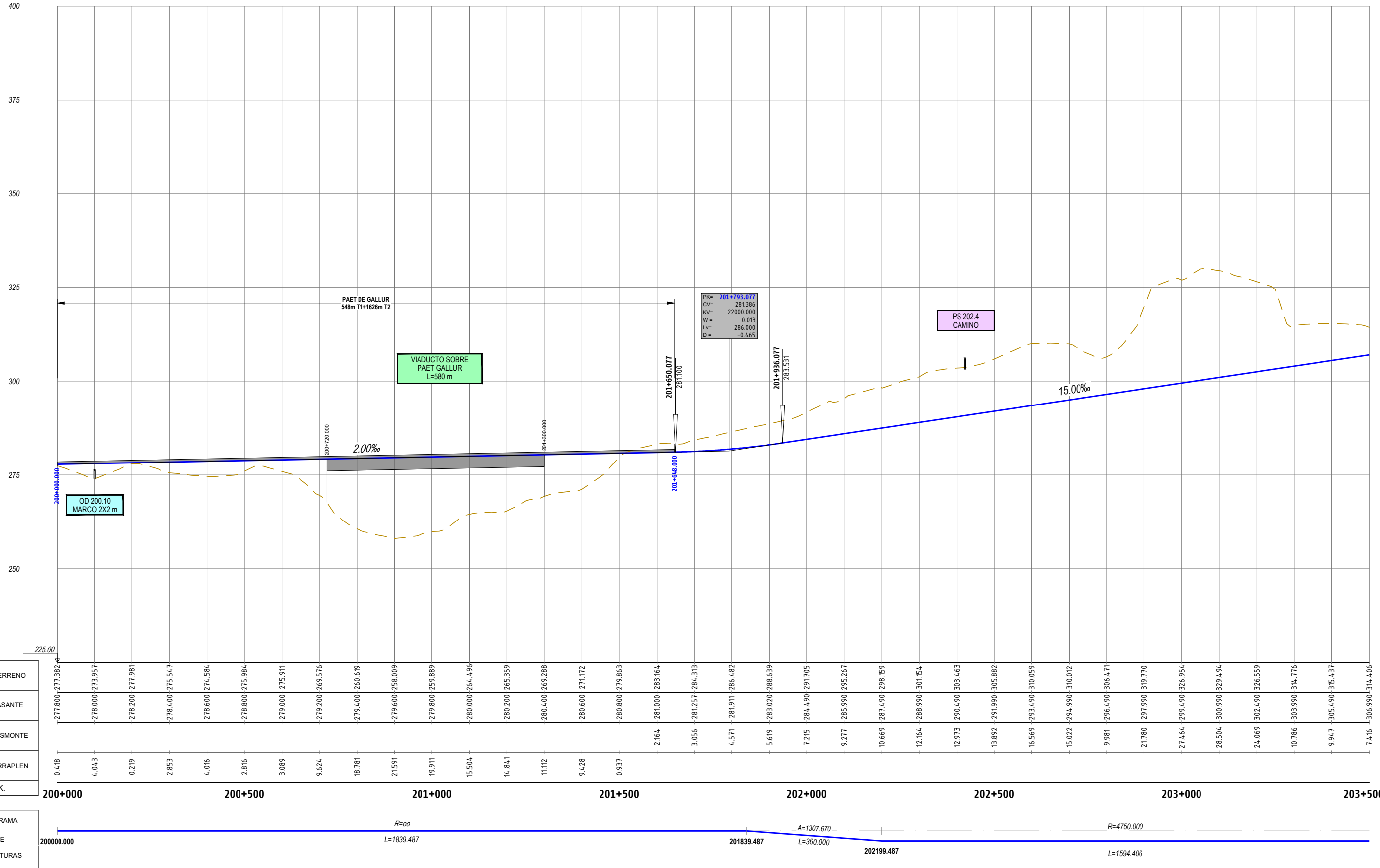
PI 114.6 CAMINO MARCO 8X6 m

OD 115.00 MARCO 4X2.5 m

OD 115.38 MARCO 4X2.5 m

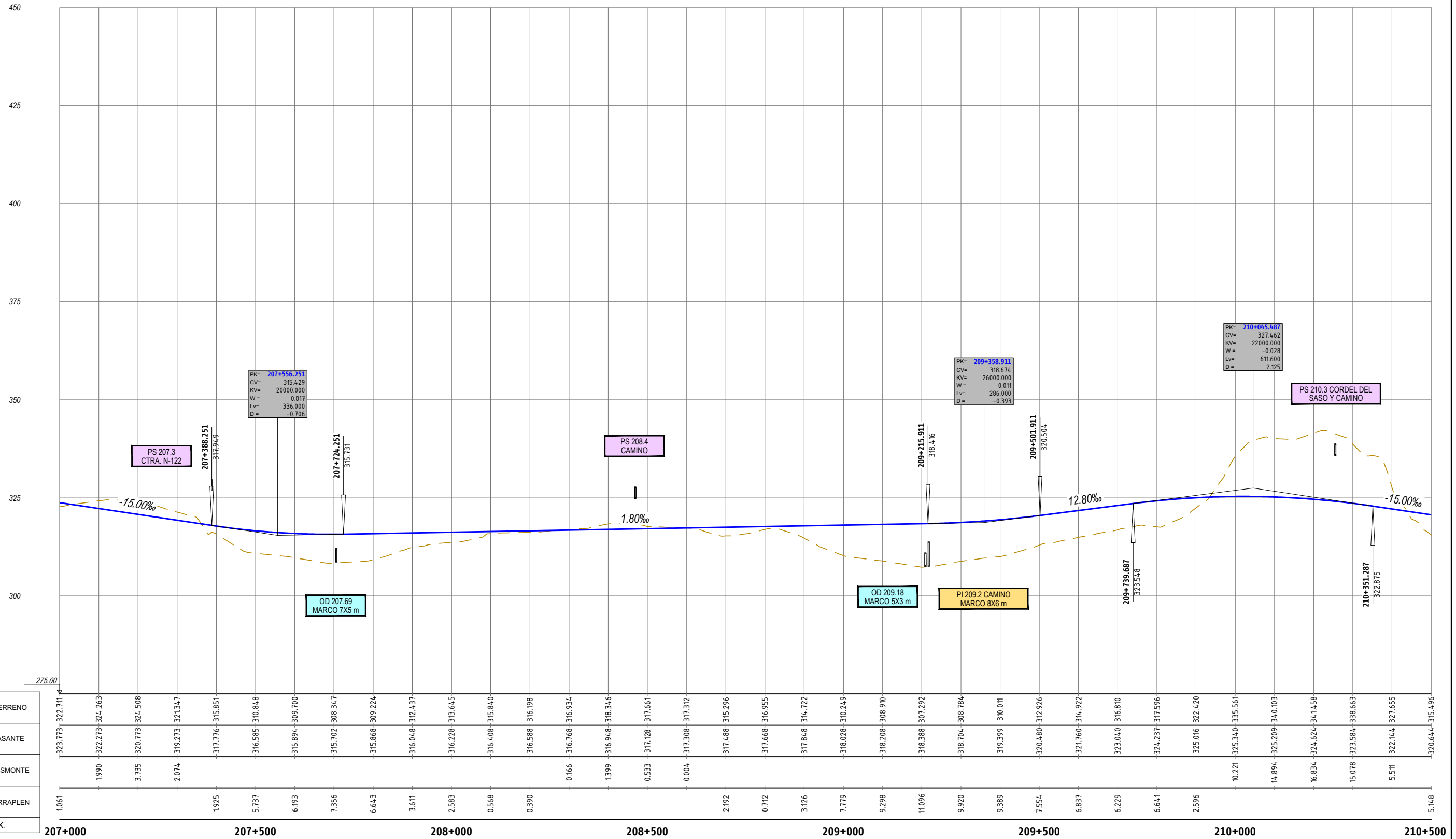
OD 116.26 MARCO 4X2.5 m

OD 116.67 Ø 1800 mm

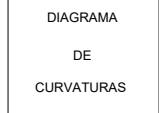


EJE 122

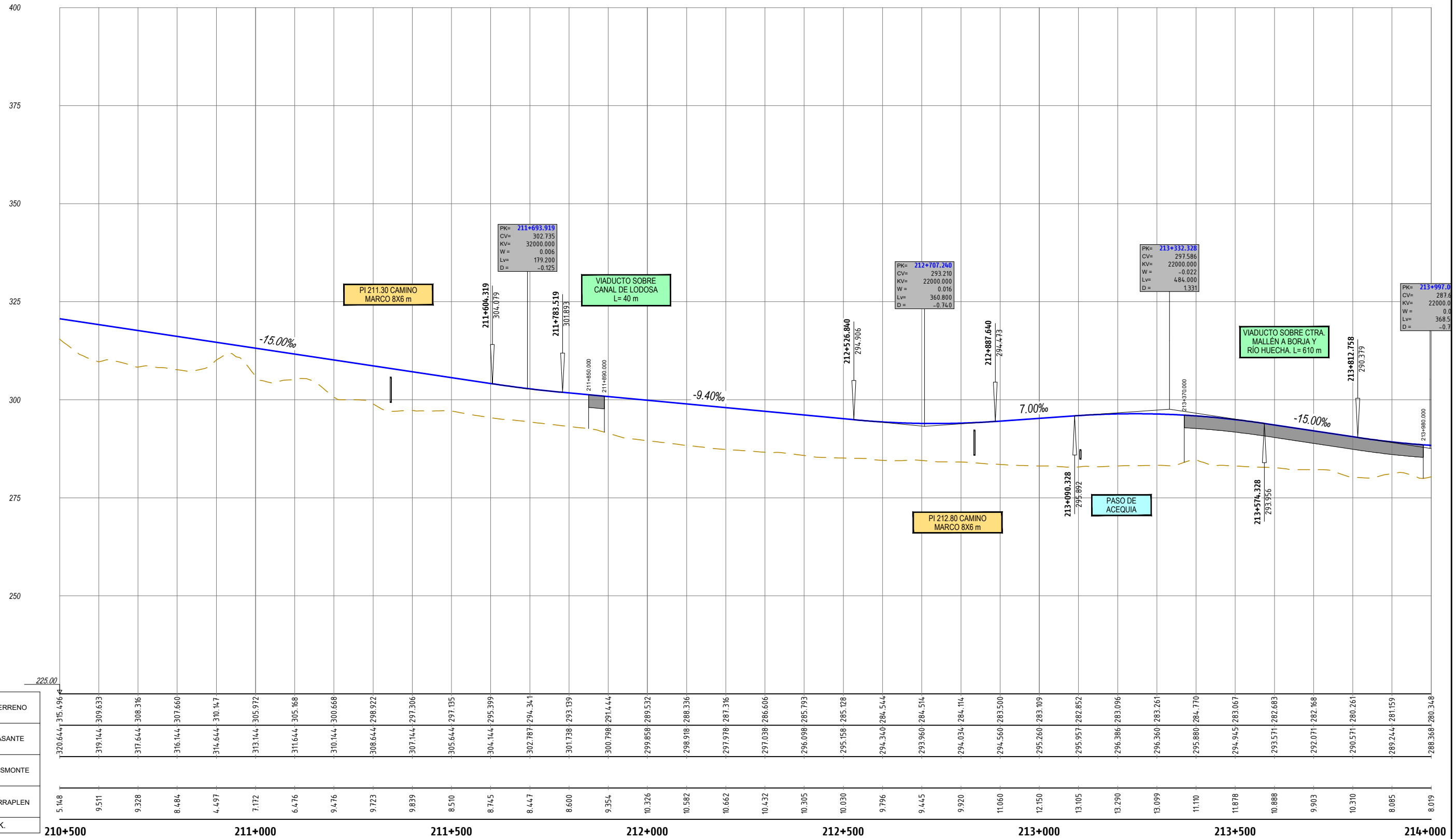
	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	TÍTULO ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TRAMO: ZARAGOZA - CASTEJÓN	AUTOR DEL ESTUDIO DELIA ROMERA LUENGO	ESCALA A3 H=1:10.000 A3 V=1:1.000 	FECHA MARZO 2023	Nº DE PLANO: 4.3.2.2	TÍTULO DEL PLANO TRAZADO PERFIL LONGITUDINAL TRAMO 2. ALTERNATIVA 2-S-2 (EJE 122)
	DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA						



COTAS ROJAS	DESMONTE	TERRAPLEN
1.990		
3.735		
2.074		
1.925		
5.737		
6.193		
7.356		
6.643		
3.611		
2.583		
0.568		
0.390		
0.166		
1.399		
0.533		
0.004		
2.192		
0.712		
3.126		
7.779		
9.298		
11.096		
9.920		
9.389		
7.554		
6.837		
6.229		
6.641		
2.596		
10.221		
14.894		
16.834		
15.078		
5.511		
5.148		



<p>GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA</p>	<p>SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA</p>	<p>TÍTULO ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TRAMO: ZARAGOZA - CASTEJÓN</p>	<p>AUTOR DEL ESTUDIO EPF INGENIERÍ DELIA ROMERA LUENGO</p>	<p>ESCALA A3 H=1:10.000 A3 V=1:1.000 0 50 100 200m 0 5 10 20m</p>	<p>FECHA MARZO 2023</p>	<p>Nº DE PLANO: 4.3.2.2</p>	<p>TÍTULO DEL PLANO TRAZADO PERFIL LONGITUDINAL TRAMO 2. ALTERNATIVA 2-S-2 (EJE 122)</p>

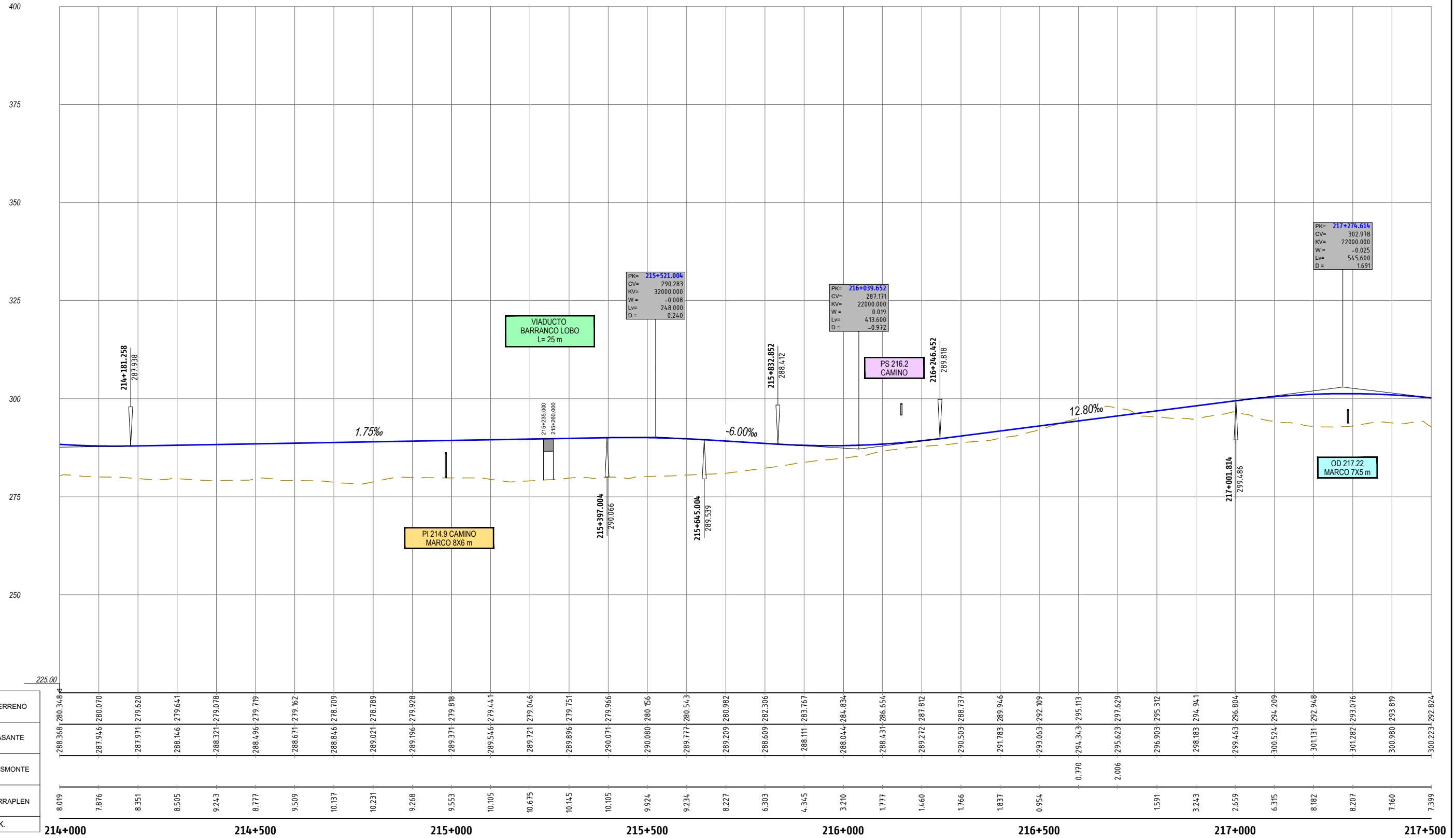


ORDENADAS	TERRENO	320.644, 315.496
	RASANTE	319.144, 309.633
COTAS ROJAS	DESMONTE	317.644, 308.316
	TERRAPLEN	316.144, 307.660
P.K.		5.148
		9.511

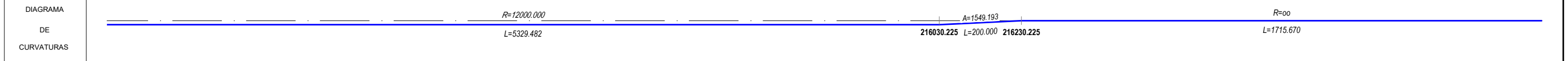
	317.644, 308.316	316.144, 307.660	314.644, 310.147	313.144, 305.972	311.644, 305.168	310.144, 300.668	308.644, 298.922	307.144, 297.306	305.644, 297.135	304.144, 295.399	302.787, 294.341	301.738, 293.139	300.798, 291.444	299.858, 289.532	298.918, 288.336	297.978, 287.316	297.038, 286.606	296.098, 285.793	295.158, 285.128	294.310, 284.544	293.360, 284.514	292.410, 284.114	291.460, 283.500	290.510, 283.109	289.560, 282.852	288.610, 283.096	287.660, 283.261	286.710, 284.770	285.760, 283.067	284.810, 282.683	283.860, 282.168	282.910, 281.159	281.960, 280.348	
	9.328	8.484	4.497	7.172	6.476	9.476	9.723	9.839	8.510	8.745	8.447	8.600	9.354	10.326	10.582	10.662	10.432	10.305	10.030	9.796	9.445	9.920	11.060	12.150	13.105	13.290	13.099	11.110	11.878	10.888	9.903	10.310	8.085	8.019

DIAGRAMA DE CURVATURAS	R=∞	A=1549.193	R=12000.000
	L=1364.577	L=200.000	L=5329.482
	210500.743	210700.743	

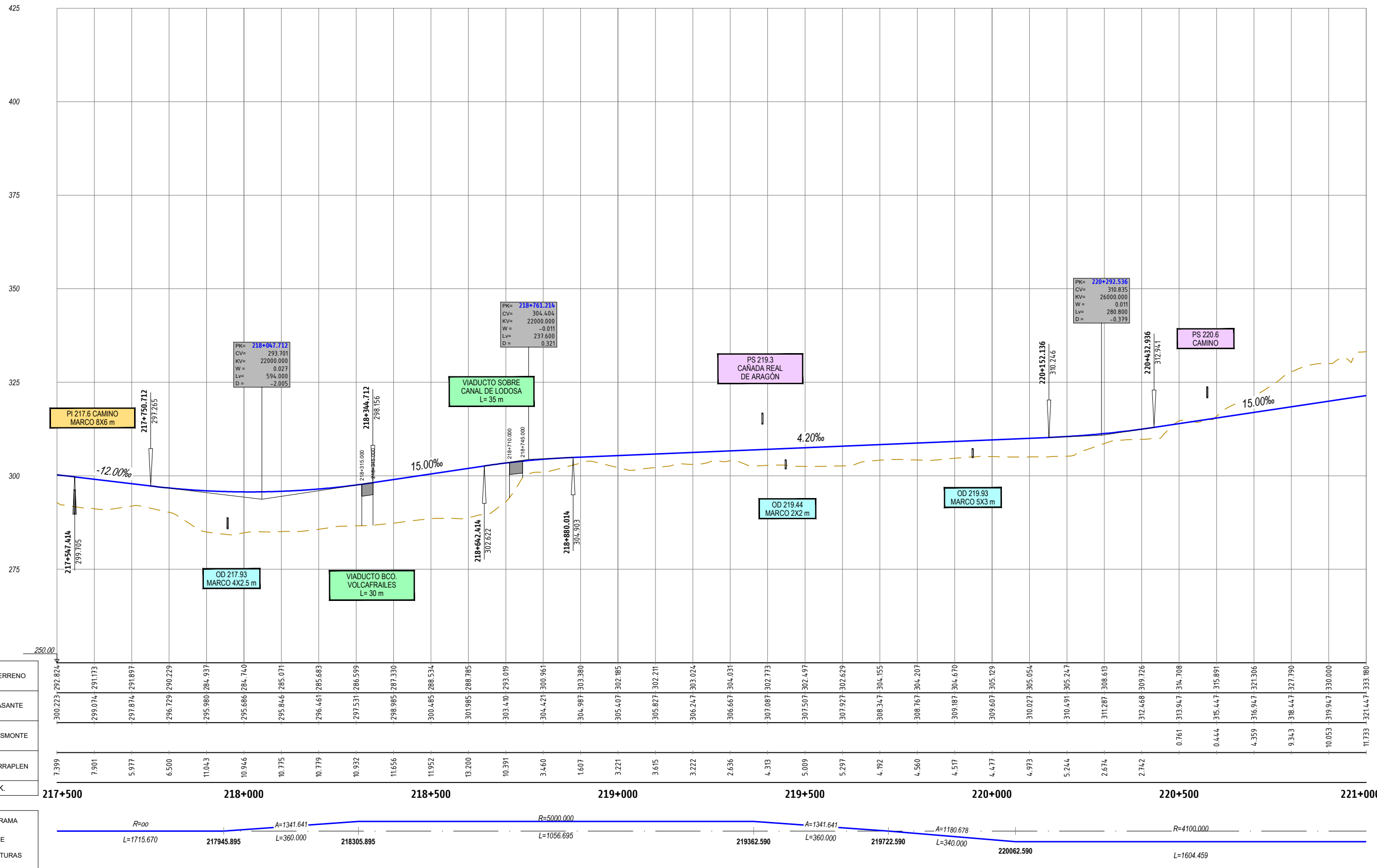
 GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TRAMO: ZARAGOZA - CASTEJÓN	AUTOR DEL ESTUDIO DELIA ROMERA LUENGO	ESCALA A3 H=1:10.000 A3 V=1:1.000 Numérica Gráfica	FECHA MARZO 2023	Nº DE PLANO: 4.3.2.2	TÍTULO DEL PLANO TRAZADO PERFIL LONGITUDINAL TRAMO 2. ALTERNATIVA 2-S-2 (EJE 122)



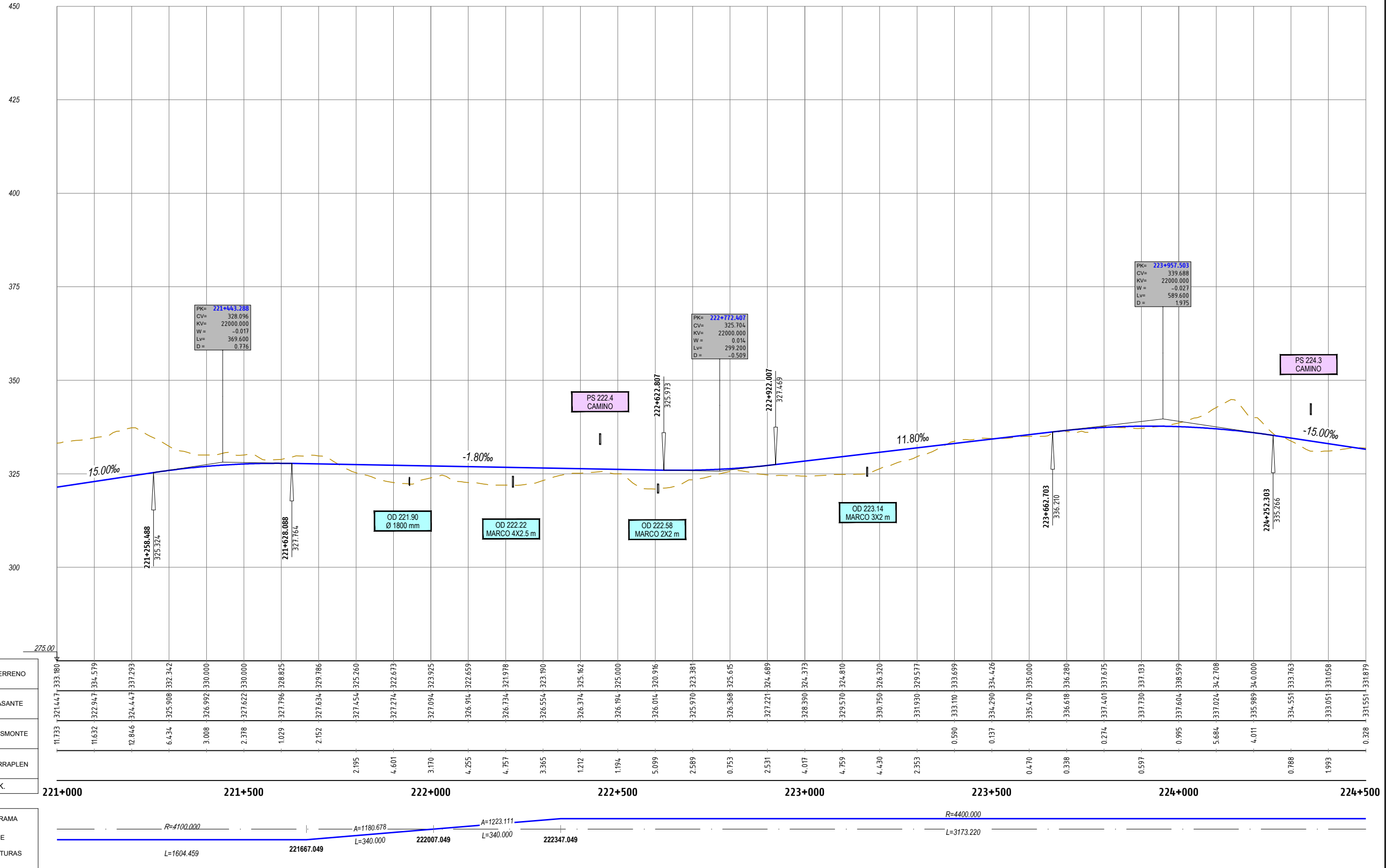
ORDENADAS	TERRENO	RASANTE	DESMONTE	TERRAPLEN	P.K.
288.368	280.348				8.019
287.946	280.070				7.876
287.971	279.620				8.351
288.146	279.641				8.505
288.321	279.078				9.243
288.496	279.709				8.777
288.671	279.162				9.509
288.846	278.709				10.137
289.021	278.789				10.231
289.196	279.928				9.268
289.371	279.818				9.553
289.546	279.441				10.105
289.721	279.046				10.675
289.896	279.751				10.145
290.071	279.966				10.105
290.080	280.156				9.924
289.777	280.543				9.234
289.209	280.982				8.227
288.609	282.306				6.303
288.111	283.767				4.345
288.044	284.834				3.210
288.431	286.654				1.777
289.272	287.812				1.460
290.503	288.737				1.766
291.783	289.946				1.837
293.063	292.109				0.954
294.343	295.113	0.770			
295.623	297.629	2.006			
296.903	295.312				1.591
298.183	294.941				3.243
299.463	296.804				2.659
300.524	294.209				6.315
301.131	292.948				8.182
301.282	293.076				8.207
300.980	293.819				7.160
300.223	292.824				7.399



	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	TÍTULO ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TRAMO: ZARAGOZA - CASTEJÓN	AUTOR DEL ESTUDIO DELIA ROMERA LUENGO	ESCALA A3 H=1:10.000 A3 V=1:1.000 	FECHA MARZO 2023	Nº DE PLANO: 4.3.2.2	TÍTULO DEL PLANO TRAZADO PERFIL LONGITUDINAL TRAMO 2. ALTERNATIVA 2-S-2 (EJE 122)
	SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS						

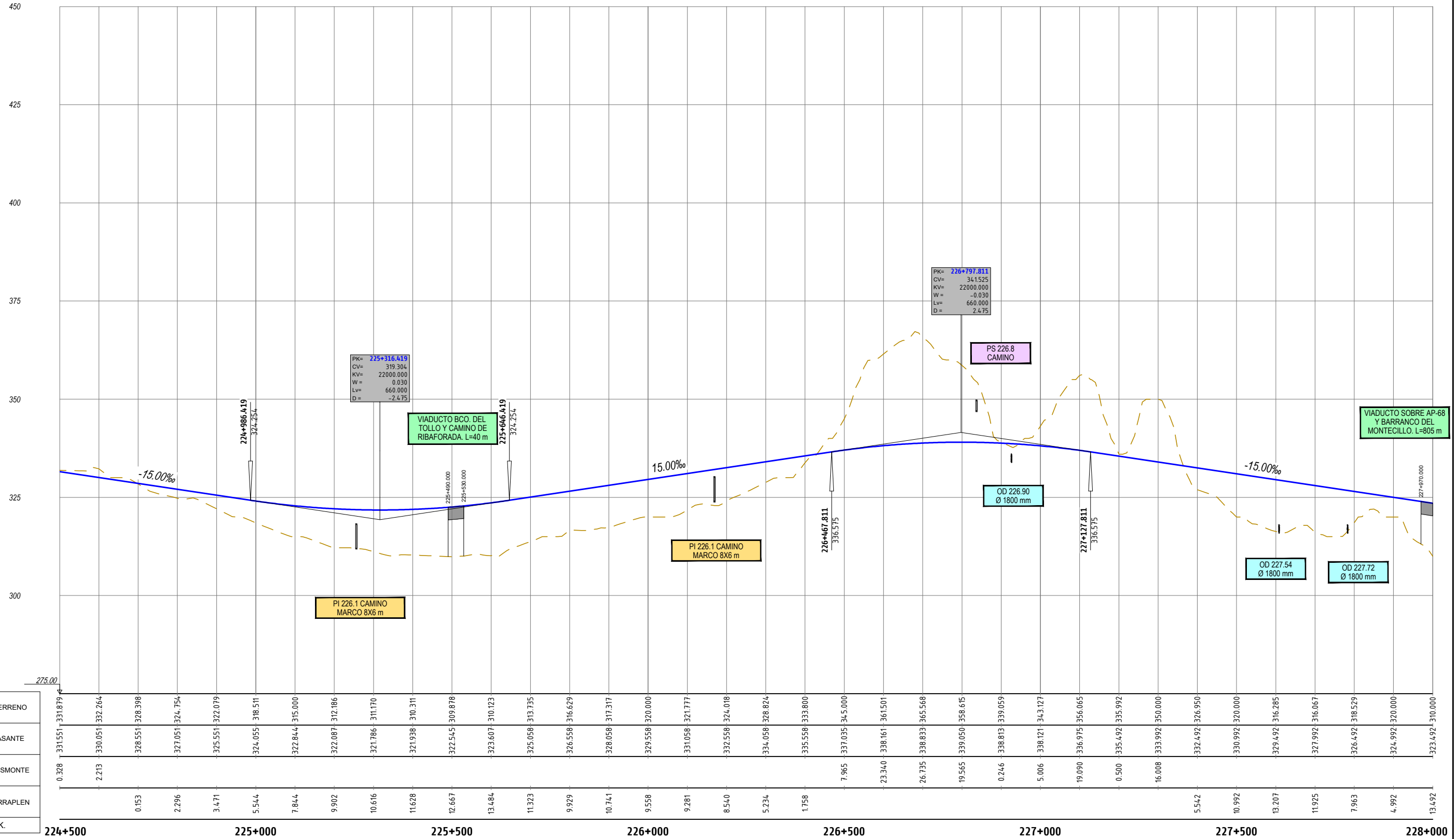


	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA	TÍTULO ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TRAMO: ZARAGOZA - CASTEJÓN	AUTOR DEL ESTUDIO DELIA ROMERA LUENGO	ESCALA A3 H=1:10.000 A3 V=1:1.000 	FECHA MARZO 2023	N° DE PLANO: 4.3.2.2 Hoja 6 de 14	TÍTULO DEL PLANO TRAZADO PERFIL LONGITUDINAL TRAMO 2. ALTERNATIVA 2-S-2 (EJE 122)
	CÓDIGO: 511018006060ES						

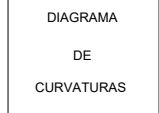


EJE 122

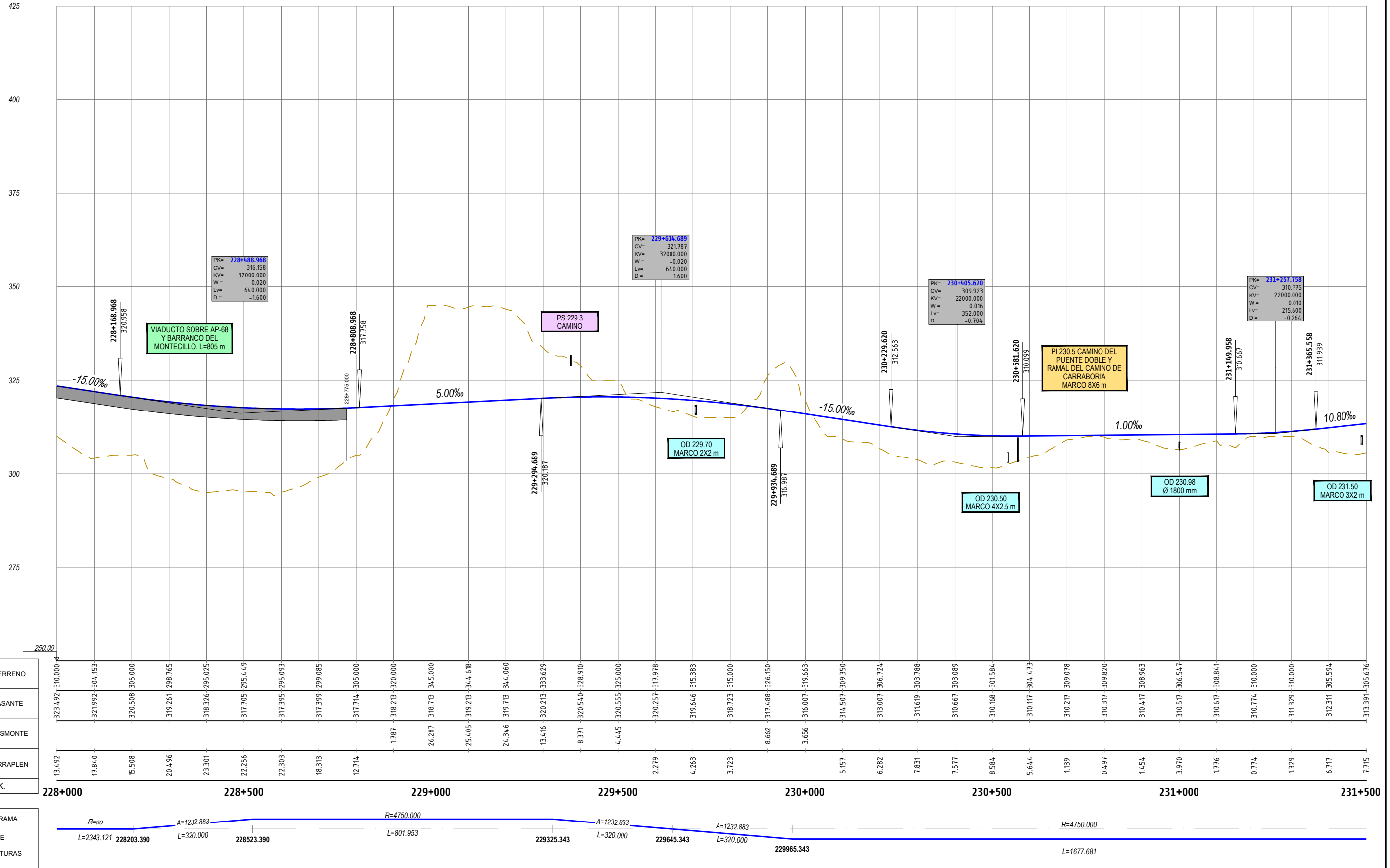
<p>GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA</p>	<p>SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA</p>	<p>TÍTULO ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TRAMO: ZARAGOZA - CASTEJÓN</p>	<p>AUTOR DEL ESTUDIO DELIA ROMERA LUENGO</p>	<p>ESCALA A3 H=1:10.000 A3 V=1:1.000 Numérica Gráfica</p>	<p>FECHA MARZO 2023</p>	<p>Nº DE PLANO: 4.3.2.2 Hoja 7 de 14</p>	<p>TÍTULO DEL PLANO TRAZADO PERFIL LONGITUDINAL TRAMO 2. ALTERNATIVA 2-S-2 (EJE 122)</p>



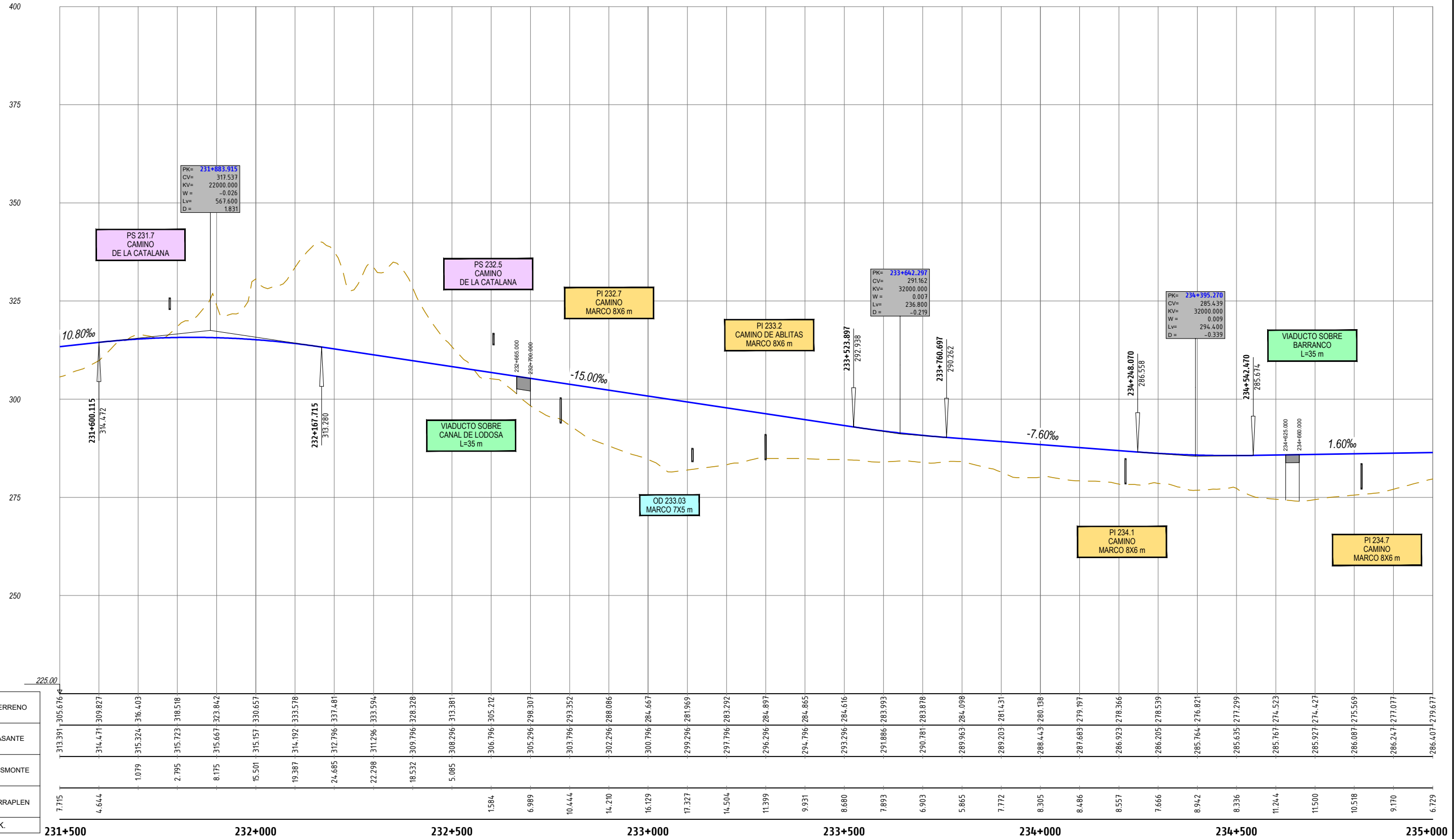
ORDENADAS	TERRENO
	RASANTE
COTAS ROJAS	DESMONTE
	TERRAPLEN
P.K.	



	SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	TÍTULO	AUTOR DEL ESTUDIO	ESCALA	FECHA	Nº DE PLANO:	TÍTULO DEL PLANO
	SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS	ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD	DELIA ROMERA LUENGO	A3 H=1:10.000 A3 V=1:1.000	MARZO 2023	4.3.2.2	TRAZADO PERFIL LONGITUDINAL TRAMO 2. ALTERNATIVA 2-S-2 (EJE 122)
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA		TRAMO: ZARAGOZA - CASTEJÓN		Númerica		Hoja 8 de 14	

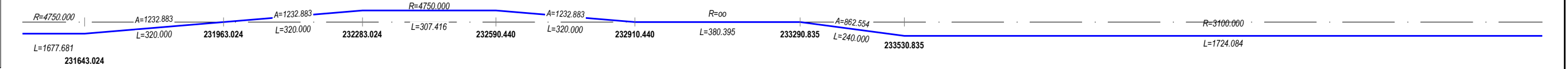


<p>GOBIERNO DE ESPAÑA</p> <p>MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA</p>	<p>SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA</p> <p>SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS</p> <p>DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA</p>	<p>TÍTULO</p> <p>ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD</p> <p>TRAMO: ZARAGOZA - CASTEJÓN</p>	<p>AUTOR DEL ESTUDIO</p> <p></p> <p>DELIA ROMERA LUENGO</p>	<p>ESCALA</p> <p>A3 H=1:10.000</p> <p>A3 V=1:1.000</p> <p>Númerica Gráfica</p>	<p>FECHA</p> <p>MARZO 2023</p>	<p>Nº DE PLANO:</p> <p>4.3.2.2</p> <p>Hoja 9 de 14</p>	<p>TÍTULO DEL PLANO</p> <p>TRAZADO PERFIL LONGITUDINAL TRAMO 2. ALTERNATIVA 2-S-2 (EJE 122)</p>

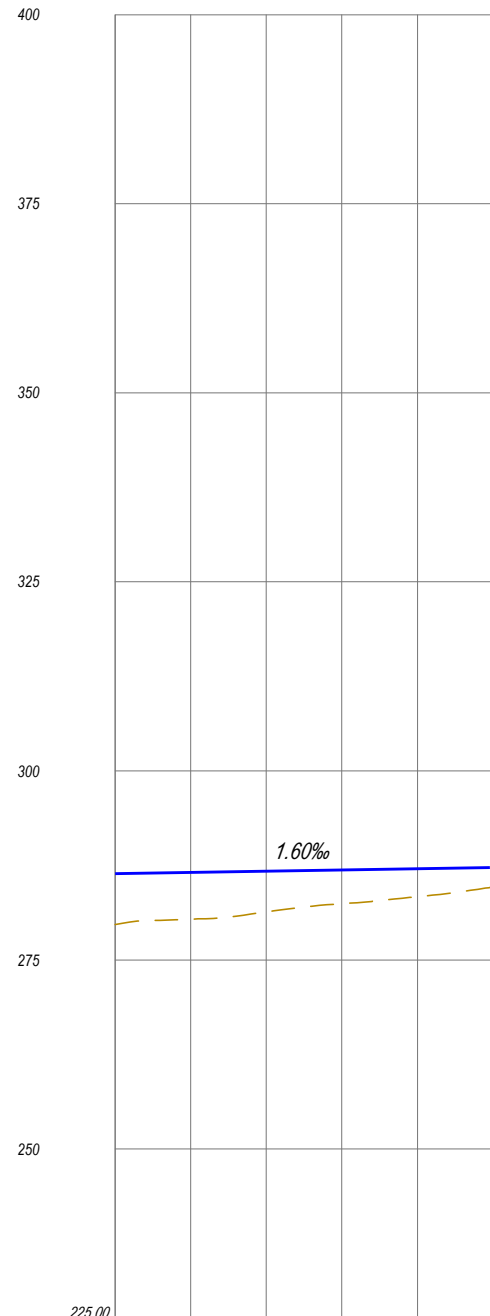


ORDENADAS	TERRENO	313.391 - 305.676
	RASANTE	314.471 - 309.827
COTAS ROJAS	DESMONTE	1.079
	TERRAPLEN	2.795
P.K.		7.715

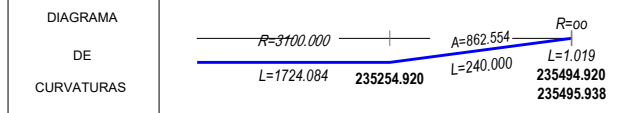
313.391	305.676	314.471	309.827	315.324	316.403	315.723	318.518	315.667	323.842	315.157	330.657	314.192	333.578	312.796	337.481	311.296	333.594	309.796	328.328	308.296	313.381	306.796	305.212	305.296	298.307	303.796	293.352	302.296	288.086	300.796	284.667	299.296	281.969	297.796	283.292	296.296	284.897	294.796	284.865	293.296	284.616	291.886	283.993	290.781	283.878	289.963	284.098	289.203	281.431	288.443	280.138	287.683	279.197	286.923	278.366	286.205	278.539	285.164	276.821	285.635	277.299	285.767	274.523	285.927	274.427	286.087	275.569	286.247	277.077	286.407	279.677
7.715	4.644	1.079	2.795	8.175	15.501	19.387	24.685	22.298	18.532	5.085	1.584	6.989	10.444	14.210	16.129	17.327	14.504	11.399	9.931	8.680	7.893	6.903	5.865	7.772	8.305	8.486	8.557	7.666	8.942	8.336	11.244	11.500	10.518	9.170	6.729																																				



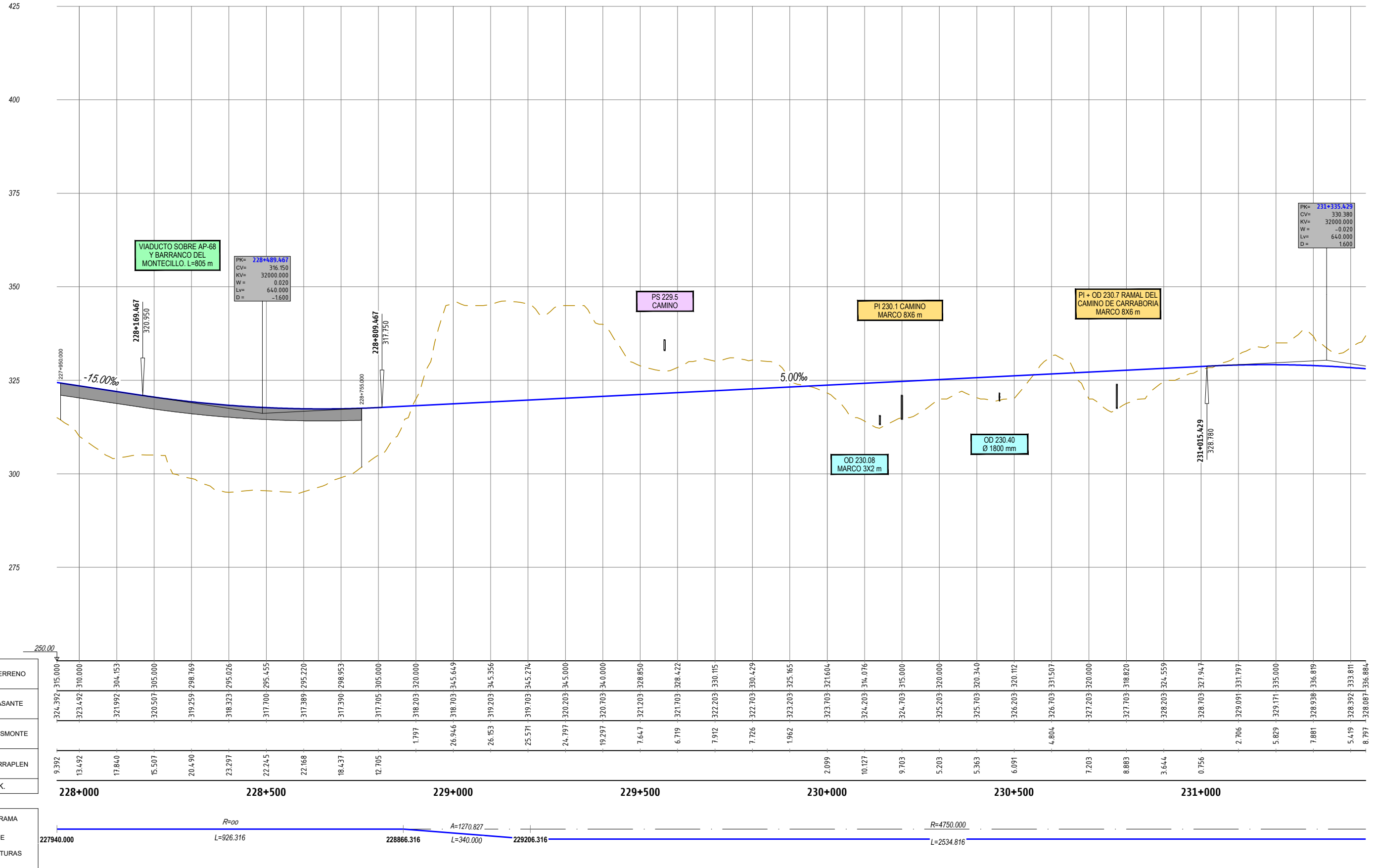
<p>GOBIERNO DE ESPAÑA</p> <p>MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA</p>	<p>SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA</p> <p>SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS</p> <p>DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA</p>	<p>TÍTULO</p> <p>ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD</p> <p>TRAMO: ZARAGOZA - CASTEJÓN</p>	<p>AUTOR DEL ESTUDIO</p> <p> EPR INGENIER</p> <p>DELIA ROMERA LUENGO</p>	<p>ESCALA</p> <p>A3 H=1:10.000</p> <p>A3 V=1:1.000</p> <p>Númerica Gráfica</p>	<p>FECHA</p> <p>MARZO 2023</p>	<p>Nº DE PLANO:</p> <p>4.3.2.2</p> <p>Hoja 10 de 14</p>	<p>TÍTULO DEL PLANO</p> <p>TRAZADO PERFIL LONGITUDINAL</p> <p>TRAMO 2. ALTERNATIVA 2-S-2 (EJE 122)</p>



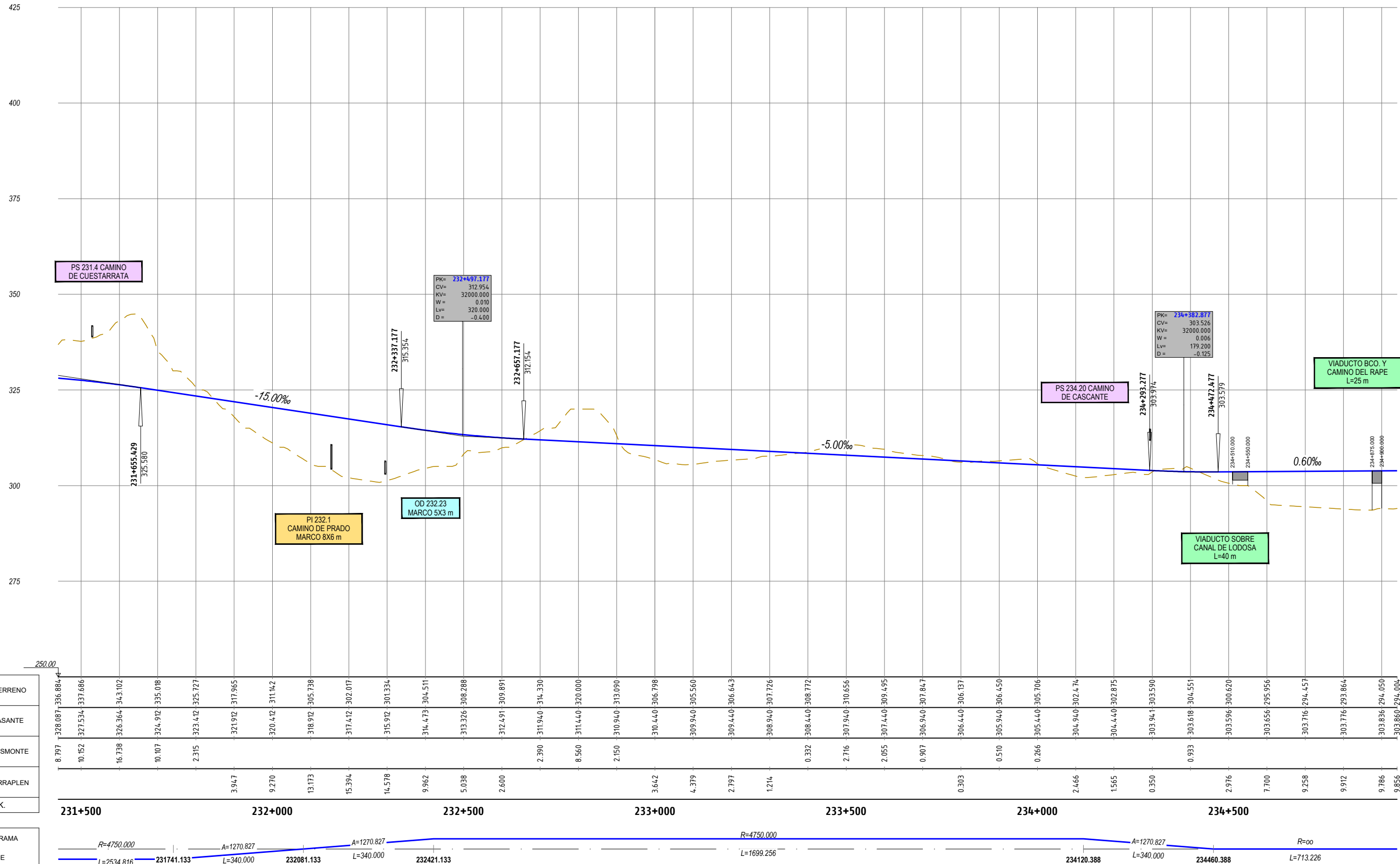
ORDENADAS	TERRENO	286.407	279.677	286.567	280.392	286.727	281.358	286.887	282.440	287.047	283.363	287.200	284.584
	RASANTE												
COTAS ROJAS	DESMONTE												
	TERRAPLEN	6.729		6.175		5.369		4.447		3.683		2.616	
P.K.		235+000		235+254.920		235+495.938							



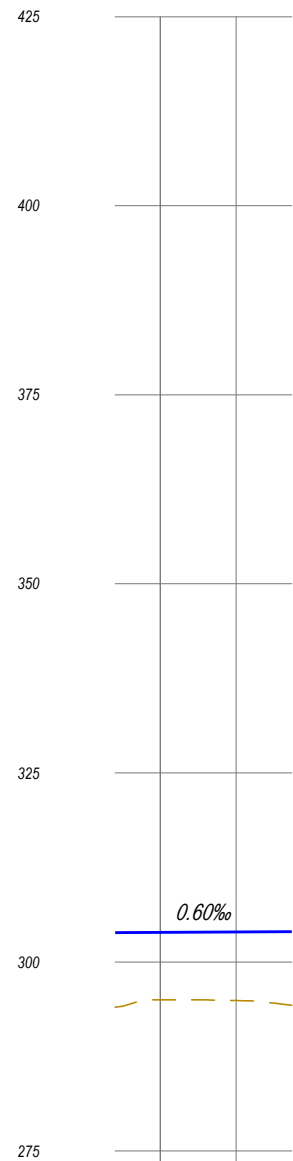
<p>GOBIERNO DE ESPAÑA</p> <p>MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA</p>	<p>SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA</p> <p>SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS</p> <p>DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA</p>	<p>TÍTULO</p> <p>ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD</p> <p>TRAMO: ZARAGOZA - CASTEJÓN</p>	<p>AUTOR DEL ESTUDIO</p> <p>DELIA ROMERA LUENGO</p>	<p>ESCALA</p> <p>A3 H=1:10.000</p> <p>A3 V=1:1.000</p>	<p>FECHA</p> <p>MARZO 2023</p>	<p>Nº DE PLANO:</p> <p>4.3.2.2</p>	<p>TÍTULO DEL PLANO</p> <p>TRAZADO PERFIL LONGITUDINAL TRAMO 2. ALTERNATIVA 2-S-2 (EJE 122)</p>
						<p>Hoja 11 de 14</p>	



EJE 123



<p>GOBIERNO DE ESPAÑA</p> <p>MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA</p>	<p>SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA</p> <p>SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS</p> <p>DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA</p>	<p>TÍTULO</p> <p>ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD</p> <p>TRAMO: ZARAGOZA - CASTEJÓN</p>	<p>AUTOR DEL ESTUDIO</p> <p></p> <p>DELIA ROMERA LUENGO</p>	<p>ESCALA</p> <p>A3 H=1:10.000</p> <p>A3 V=1:1.000</p> <p>Númerica Gráfica</p>	<p>FECHA</p> <p>MARZO 2023</p>	<p>Nº DE PLANO:</p> <p>4.3.2.2</p> <p>Hoja 13 de 14</p>	<p>TÍTULO DEL PLANO</p> <p>TRAZADO PERFIL LONGITUDINAL</p> <p>TRAMO 2. VARIANTE 2-S-2 (EJE 123)</p>



ORDENADAS	TERRENO	303.860	294.004	303.896	295.000	303.956	294.885	304.000	294.279
	RASANTE								
COTAS ROJAS	DESMONTE								
	TERRAPLEN	9.856	8.896	9.071	9.721				
P.K.		235+000		235+173.614					
DIAGRAMA DE CURVATURAS		$R=00$ $L=713.226$ 235173.614							



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

TÍTULO
 ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD
 TRAMO: ZARAGOZA - CASTEJÓN

AUTOR DEL ESTUDIO

 DELIA ROMERA LUENGO

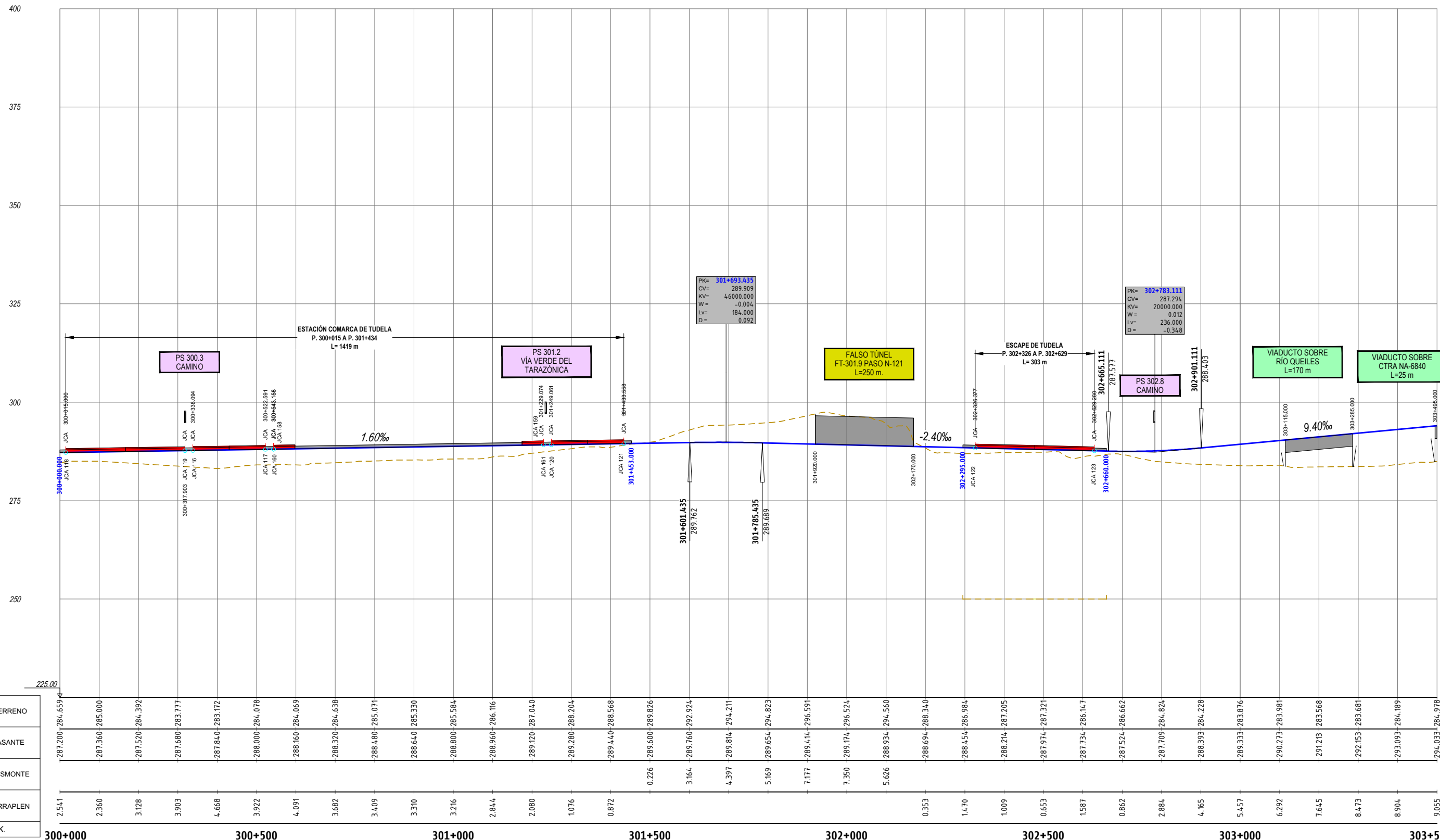
ESCALA
 A3 H=1:10.000
 A3 V=1:1.000

 Numérica Gráfica

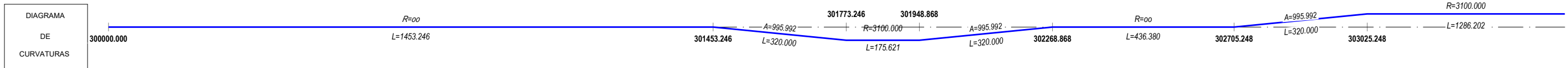
FECHA
 MARZO 2023

Nº DE PLANO:
 4.3.2.2
 Hoja 14 de 14

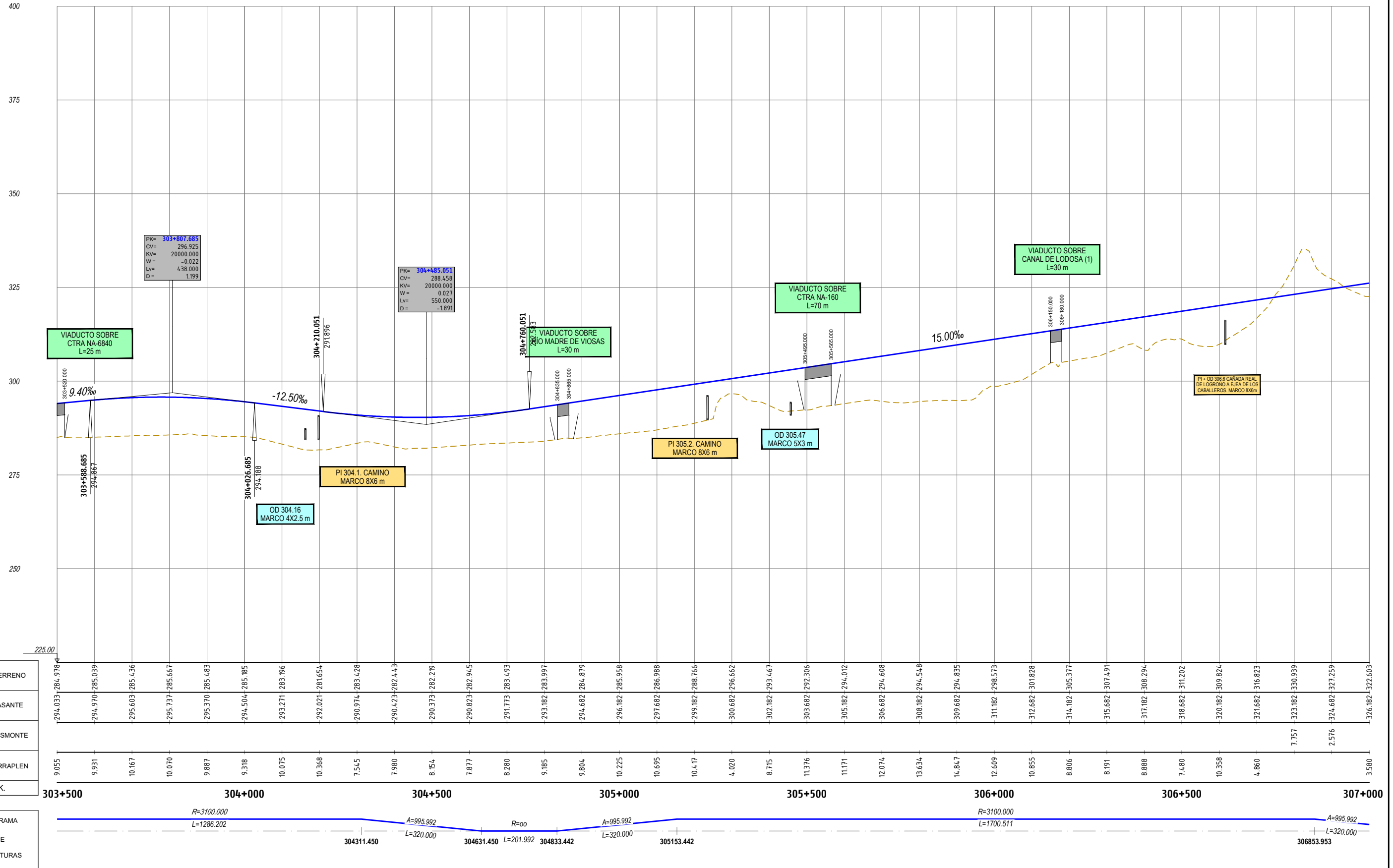
TÍTULO DEL PLANO
 TRAZADO
 PERFIL LONGITUDINAL
 TRAMO 2. VARIANTE 2-S-2 (EJE 123)

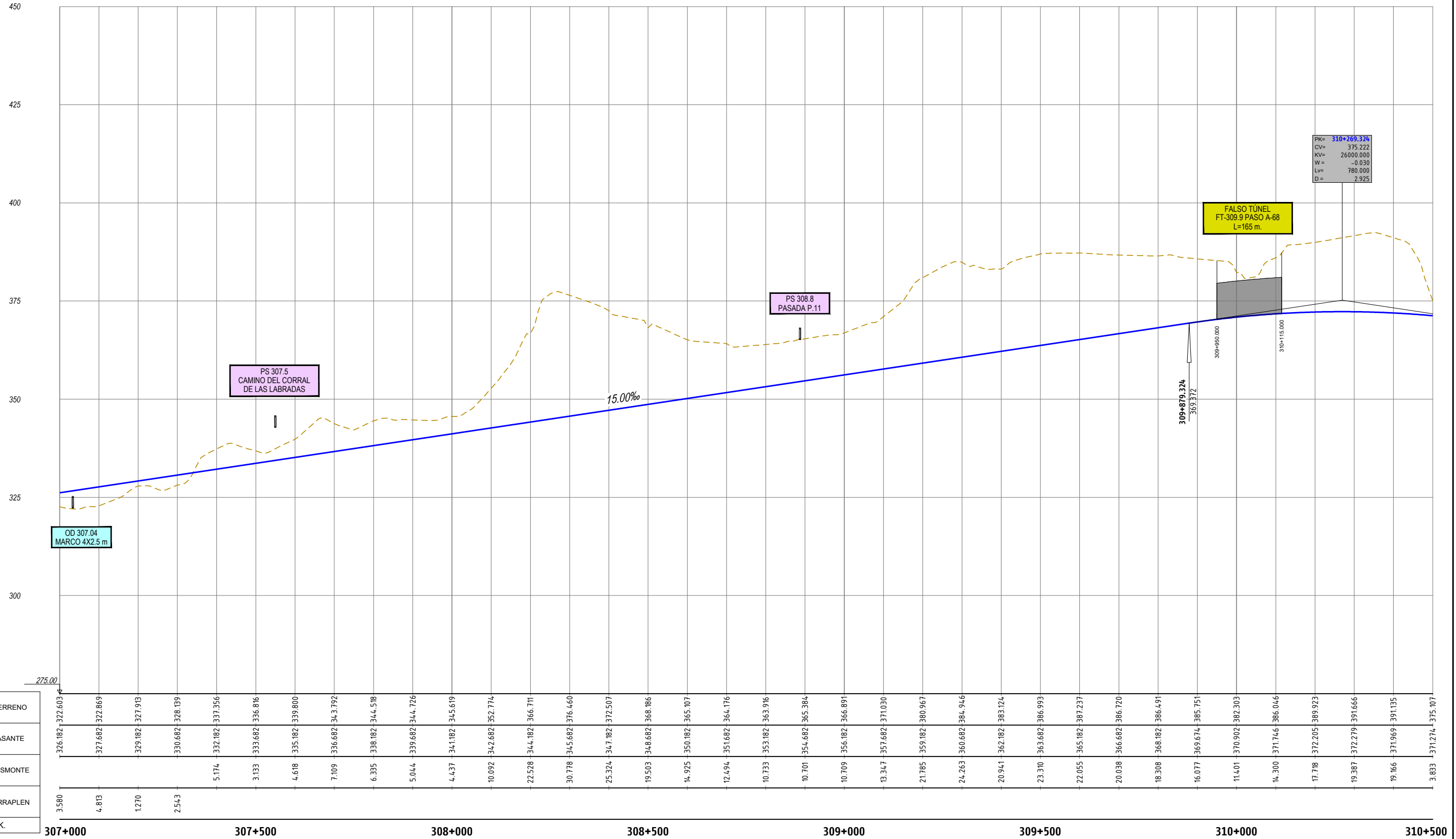


COTAS ROJAS	DESMONTE	TERRAPLEN
2.541		
2.360		
3.128		
3.903		
4.668		
3.922		
4.091		
3.682		
3.409		
3.310		
3.216		
2.844		
2.080		
1.076		
0.872		
0.226		
3.164		
4.397		
5.169		
7.177		
7.350		
5.626		
0.353		
1.470		
1.009		
0.653		
1.587		
0.862		
2.884		
4.165		
5.457		
6.292		
7.645		
8.473		
8.904		
9.055		



<p>GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA</p>	<p>SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA</p>	<p>TÍTULO ESTUDIO INFORMATIVO DEL CORREDOR CANTÁBRICO - MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TRAMO: ZARAGOZA - CASTEJÓN</p>	<p>AUTOR DEL ESTUDIO DELIA ROMERA LUENGO</p>	<p>ESCALA A3 H=1:10.000 A3 V=1:1.000 Numérica Gráfica</p>	<p>FECHA MARZO 2023</p>	<p>Nº DE PLANO: 4.3.3.1 Hoja 1 de 6</p>	<p>TÍTULO DEL PLANO TRAZADO PERFIL LONGITUDINAL TRAMO 3.ALTERNATIVA 3-S-1 (EJE 114)</p>





COTAS ROJAS	TERRAPLEN	P.K.
3.580		307+000
4.813		
1.270		
2.543		
5.174		307+500
3.133		
4.618		
7.109		
6.395		
5.044		
4.437		
10.092		308+000
22.528		
30.778		
25.324		
19.503		
14.925		
12.494		
10.733		
10.701		
10.709		
13.347		
21.785		
24.263		
20.941		
23.310		
22.055		
20.038		
18.308		
16.077		
11.401		
14.300		
17.718		
19.387		
19.166		
3.833		310+500

