

# TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

## Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos

**Jorge Espada Hernández**

Madrid, 2024



# TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



## **Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos**

Jorge Espada Hernández

Dirigida por:

María José Cano Adán

Marcos Rodríguez Serrano

Madrid, 2024

# AGRADECIMIENTOS

Desde el principio, debo reconocer los años de trabajo y esfuerzo de todas las personas que han contribuido a divulgar y contribuir en el ámbito de la investigación, pues mucha información es de gran utilidad y sirve como base para aprender y avanzar en nuevos e innovadores desafíos.

Estos últimos años, y en concreto los dos años de máster de Caminos, Canales y Puertos me han abierto la mente hacia el mundo del BIM y de la modelización. He de reconocer que es un mundo bastante extenso y en auge. En este sentido, expongo mi pequeña contribución, que servirá para el resto de compañeros, y que seguirá desarrollando y mejorando esta materia de conocimiento compartido.

Este trabajo desarrolla nuevas herramientas y técnicas de la ingeniería, y no habría sido posible sin las personas que me han estado apoyando y me han asesorado en todo momento.

Primeramente, agradecer a todo el equipo de Ineco y Adif, y en especial a mis compañeras y compañeros de la Subdirección de Proyectos de Superestructura, de la Dirección de Proyectos de Red Convencional y de Diseño Seguro, por el entusiasmo en solucionar los problemas reales de la infraestructura ferroviaria, y el manantial de conocimientos que me han transmitido, dando las gracias a todos ellos por darme la oportunidad de trabajar codo con codo y facilitarme la nube de puntos.

También agradecer a Jesús J. Ruiz Casamayor y Consuelo Montoya por todo el apoyo y consejos que me han dado a lo largo de este TFM, pues ellos son los que me ilustraron en la idea de la presente publicación.

Por otro parte, este trabajo no habría visto la luz sin la inspiración y apoyo de mis tutores María José Cano Adán y Marcos Rodríguez Serrano, sobre todo, en la gran fuente de información BIM, gracias a la experiencia y profesionalidad de ellos.

Por último, quiero dar las gracias a mis padres por todo su apoyo y esfuerzo, y en general a toda mi familia que siempre ha estado presente, y a mi pareja que siempre me ha mostrado su apoyo para proseguir en esta dura carrera de fondo.



# RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Máster tiene como finalidad investigar sobre las nubes de puntos y sus aplicaciones al sector ferroviario, ahondando en la determinación de los gálidos ferroviarios y la representación e identificación de las interferencias entre gálido e infraestructura, mediante el escaneado del entorno existente con equipos específicos que generan nubes de puntos.

En este sentido, se profundiza en las normativas y tipologías de gálidos para su determinación, estableciendo los aspectos más relevantes en la adecuación de las infraestructuras y la necesidad de analizarlos con la tecnología de nube de puntos.

El empleo de esta tecnología se encuentra en auge y en constante actualización y evolución, explotando nuevas funciones e interesantes aplicaciones en el sector ferroviario.

A este respecto, se exponen las características, beneficios y herramientas de la tecnología de nube de puntos, presentando diferentes equipos de medición y escaneado, así como la realización comparativa de rendimiento entre los equipos, de entre los que destaca los sistemas de mobile mapping.

Dentro de este TFM se ha desarrollado una metodología para la representación de los gálidos ferroviarios y la detección de conflictos mediante la innovadora tecnología de nube de puntos, de tal manera, que quede recogido el conocimiento y trabajo con este sistema en el ámbito ferroviario, elaborando un proceso rápido, sencillo y accesible, que mejorará en la planificación, el diseño y el mantenimiento ferroviario.

Esta metodología ataca desde un inicio a la configuración y manejo de la nube de puntos, que previamente ha sido obtenida con un equipo de escaneo.

Posteriormente, se han ido estableciendo procesos y pasos a seguir con diferentes softwares para la obtención de planos 2D y la creación de un modelo BIM en 3D junto con un informe de conflictos, que comprobará las colisiones afectadas al implantar un gálido deseado en una infraestructura existente.

Se concluye, haciendo efectiva la metodología en un caso de estudio, que comprende un tramo de la línea 200 con varias infraestructuras involucradas, destacando el túnel de *“La Anchada”*, al cual se le incorpora un gálido determinado, produciendo conflicto entre el gálido y el hastial y bóveda izquierdo.

Por último, se acometen una serie de soluciones para evitar dichos conflictos, volviendo a realizar la metodología y obtener el modelo en 3D, para comprobar si cumple gálido, o de lo contrario, necesita medidas adicionales.

**PALABRAS CLAVE:** Gálido, Nube de puntos, Ferrocarril, Mobile Mapping y Colisiones.



# ABSTRACT

This Master's Dissertation aims to investigate point clouds and their applications to the railway sector, delving into the determination of railway gauges and the representation and identification of interference between gauges and infrastructure through scanning the existing environment with specific equipment that generates points clouds.

In this sense, it delves into the regulations and types of gauges for their determination, establishing the most relevant aspects in the adaptation of infrastructures and the need to analyze them with point cloud technology.

The use of this technology is on the rise and in constant update and evolution, exploiting new functions and interesting applications in the railway sector.

In this regard, the characteristics, benefits, and tools of point cloud technology are presented, showcasing different measurement and scanning equipment, as well as a comparative performance analysis of the equipment, with mobile mapping systems standing out.

Within this thesis, a methodology has been developed for representing railway gauges and detecting conflicts using innovative point cloud technology, in such a way that the knowledge and work with this system in the railway field are recorded, creating a fast, simple, and accessible process that will improve railway planning, design and maintenance.

This methodology initially tackles the configuration and handling of the point cloud, which has previously been obtained with scanning equipment.

Subsequently, processes and steps have been established with different software for obtaining 2D plans and creating a 3D BIM model along with a conflict report that will verify the collisions affected by implementing a desired gauge in an existing infrastructure.

It concludes by effectively applying the methodology in a case study, comprising a section of line 200 with several involved infrastructures, highlighting the "*La Anchada*" tunnel, where a specific gauge is incorporated, resulting in conflicts between the gauge and the left sidewall and vault.

Finally, a series of solutions are undertaken to avoid these conflicts, repeating the methodology and obtaining the 3D model to verify if it meets the gauge requirements or if additional measures are needed.

**KEYWORDS:** Gauge, Points Cloud, Railway, Mobile Mapping and Collisions.



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

## 1. INTRODUCCIÓN ..... 11

### 1.1. Pasado y presente de la Red Ferroviaria de Interés General (RFIG) ..... 11

1.1.1. Aparición del ferrocarril en España ..... 11

1.1.2. Progreso del ferrocarril ..... 12

1.1.3. El ferrocarril del siglo XX en adelante ..... 16

### 1.2. Caso de los gálibos en Asturias y Cantabria ..... 17

## 2. OBJETIVO ..... 23

## 3. MOTIVACIÓN ..... 24

## 4. PLANTEAMIENTO TFM ..... 25

## 5. ESTADO DEL ARTE ..... 26

### 5.1. Marco regulatorio y planificación ferroviaria en España y Europa ..... 26

5.1.1. Políticas y planes ferroviarios en España ..... 26

5.1.2. Políticas europeas de transporte ..... 31

5.1.3. Estado Actual de la RFIG ..... 34

5.1.4. Registro de Infraestructura ..... 39

### 5.2. Gálibos Ferroviarios ..... 42

5.2.1. Normativa de Gálibos ..... 46

5.2.2. Gálibos considerados según la “Instrucción Ferroviaria de Gálibos” ..... 48

5.2.2.1. *Contorno de Referencia* ..... 48

5.2.2.2. *Gálibo de Implantación de Obstáculos* ..... 52

5.2.2.2.1. Gálbo límite de implantación de obstáculos y gálbo nominal de implantación de obstáculos .....	53
5.2.2.2.2. Gálbo uniforme de implantación de obstáculos .....	54
5.2.2.3. Gálbo del pantógrafo .....	58
5.2.3. Gálbo de Material Rodante .....	60
5.2.4. Gálbo de cargamento .....	62
5.2.5. Gálbos Autopista Ferroviaria .....	64
<b>5.3. Necesidad de ampliación de gálbos .....</b>	<b>68</b>
<b>5.4. Problemática para determinación de gálbos .....</b>	<b>68</b>
5.4.1. Taquímetro y Estación Total .....	70
5.4.2. Laser Scanner .....	72
5.4.2.1. Terrestrial Laser Scanner (TLS) .....	74
5.4.2.2. Aerial Laser Scanner (ALS) .....	76
5.4.3. Comparación Topografía clásica y Laser Scanner .....	77
<b>5.5. ¿Qué se está haciendo en la actualidad? .....</b>	<b>79</b>
5.5.1. Mobile Laser Scanner (MLS).....	79
5.5.2. Mobile Mapping .....	83
5.5.3. Dresinas.....	91
5.5.4. Comparación Mobile Mapping y TLS .....	92
5.5.5. Aplicaciones Software comerciales .....	92
<b>5.6. Nube de puntos como un sistema innovador.....</b>	<b>96</b>
5.6.1. ¿En qué consiste la nube de puntos? .....	96
5.6.1.1. Análisis de Patologías .....	98
5.6.2. Ventajas y desventajas .....	100
5.6.3. ¿Qué se está haciendo en la actualidad con nube de puntos?.....	102
5.6.4. Solucionar la problemática de los gálbos con nube de puntos .....	102

5.6.4.1. Ampliación lateral de gálibos .....	103
5.6.4.2. Novedoso caso de éxito en la ampliación de gálibos.....	105
5.6.5. Avances en la ingeniería con nube de puntos .....	109
<b>6. METODOLOGÍA .....</b>	<b>111</b>
<b>6.1. Nube de puntos .....</b>	<b>111</b>
<b>6.2. Recap .....</b>	<b>115</b>
<b>6.3. Istram .....</b>	<b>121</b>
<b>6.4. Planos 2D .....</b>	<b>130</b>
<b>6.5. Modelo 3D .....</b>	<b>133</b>
<b>6.6. Navisworks.....</b>	<b>135</b>
<b>7. CASO DE ESTUDIO .....</b>	<b>142</b>
<b>7.1. Introducción.....</b>	<b>142</b>
<b>7.2. Situación actual.....</b>	<b>145</b>
<b>7.3. Soluciones proyectadas .....</b>	<b>166</b>
7.3.1. Solución con Gálibo GEC16.....	168
7.3.2. Solución con Gálibo AF 4.2-IP .....	174
<b>7.4. RESULTADOS .....</b>	<b>180</b>
<b>7.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>181</b>
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>183</b>
<b>9. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>185</b>
<b>10. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS .....</b>	<b>186</b>
<b>11. ANEXOS .....</b>	<b>196</b>



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Pasado y presente de la Red Ferroviaria de Interés General (RFIG)

#### 1.1.1. Aparición del ferrocarril en España

La llegada del ferrocarril a España se produjo en el contexto de una Europa ya inmersa en la “fiebre ferroviaria” del siglo XIX<sup>1</sup>, aunque España se unió con cierto retraso a este innovador medio de transporte de aquella época.

Los primeros intentos por establecer líneas ferroviarias en España tuvieron lugar en Andalucía, con concesiones para construir trazados ferroviarios entre Jerez de la Frontera y El Portal en 1829, así como entre Jerez y el Puerto de Santa María, Rota y Sanlúcar de Barrameda en 1830.

Sin embargo, estos proyectos no prosperaron debido a la insuficiencia de capital y la desconfianza de los inversores sobre los posibles beneficios de este nuevo sistema de transporte. (Gavira Narváez, Antonio & Ventura Fernández, Jesús, 2017)

Tuvieron que pasar varios años, hasta 1837, cuando el primer tren español entró en funcionamiento de manera peculiar, iniciando su trayecto fuera de la península, en la entonces provincia española de Cuba, concretamente desde La Habana hasta Güines.

El proyecto ferroviario en Cuba, fue propuesto por Marcelino Calero y Portocarrero, un comerciante de origen andaluz establecido en Londres que planteó la construcción de un ferrocarril siguiendo el modelo británico, pero su propuesta y otra similar para la región oriental de Cuba no se concretaron en un primer momento.

Este nuevo sistema llamó la atención de terratenientes y comerciantes cubanos, quienes vieron en el ferrocarril la oportunidad de abaratar el transporte desde las plantaciones hasta el mar. Sin embargo, la propuesta de Calero y otra segunda propuesta presentada por Gaspar Alonso Betancourt no se materializaron.

Fue la Real Junta de Fomento en 1833, que encargó el proyecto para un ferrocarril entre La Habana y Güines al ingeniero estadounidense Benjamín H. Wright.

Más tarde, en octubre de 1834, la reina de España (María Cristina de Borbón-Dos Sicilias) autorizó la construcción de este proyecto ferroviario.

---

<sup>1</sup> El primer ferrocarril del mundo fue inaugurado en el año 1825, entre las ciudades de Stockton y Darlington en Gran Bretaña.

A pesar de dificultades como el clima, enfermedades tropicales y obras demasiado complejas, donde el espacio libre de obstáculos por donde circulaban los trenes variaba, como el túnel del Socavón y el puente sobre el río Almenares, llegaron a la Habana (Cuba) las cuatro primeras locomotoras de vapor desde Londres en abril en el año 1837, entrando en funcionamiento ese mismo año.

La llegada del ferrocarril a la península Ibérica se materializó cuando la concesión solicitada por José María Roca fue aprobada en 1843, dando lugar a la inauguración del trazado entre Barcelona y Mataró en el año 1848, con un tramo de unos 28 km.

### 1.1.2. Progreso del ferrocarril

Es en el año 1844 con el auge ferroviario, cuando se prevé la necesidad de asentar las bases y normativas del ferrocarril en España, publicándose una Real Orden el 31 de diciembre de 1844, siendo la primera normativa española que reguló el régimen jurídico del ferrocarril en el país, estableciendo las condiciones generales para la construcción de las futuras líneas ferroviarias. (González, Manuela Caballero, 2016)

Según este informe, se recomendó la creación de una red radial con centro en la capital de España y se decidió ejecutar las futuras líneas con un ancho de 6 pies castellanos, lo que conocemos actualmente como ancho ibérico o los 1.668 mm, diferente al que se usaba en el resto del mundo que era de 1.435 mm.

Esta diferenciación se justificó debido a las particularidades del relieve en la península, que requerirían mayores máquinas y potencia.

Sin embargo, este Real Decreto no abordó las distancias y espacios necesarios a respetar en las infraestructuras ferroviarias para permitir el paso del material rodante y evitar futuras colisiones entre ambas.

Posteriormente a la inauguración de la línea Barcelona – Mataró, se creó en 1851, la segunda línea entre Madrid y Aranjuez.

A partir de 1850, se produjo una rápida expansión debido a la aparición de leyes de Banca y ferrocarriles que facilitaban la construcción de numerosas líneas de ferrocarril a lo largo del territorio.

Este fuerte crecimiento del ferrocarril, trajo consigo la creación de varias compañías, como la Compañía de ferrocarriles de Madrid a Zaragoza y Alicante (MZA) creada en 1856, la Compañía de los Ferrocarriles del Norte en 1858, los Ferrocarriles Andaluces fundada en 1877 y ya en 1880 se creó el Ferrocarril de Madrid a Cáceres y Portugal, inaugurándose en 1881 la línea Madrid – Lisboa. (García Utrera, Jorge Luís, 2005)

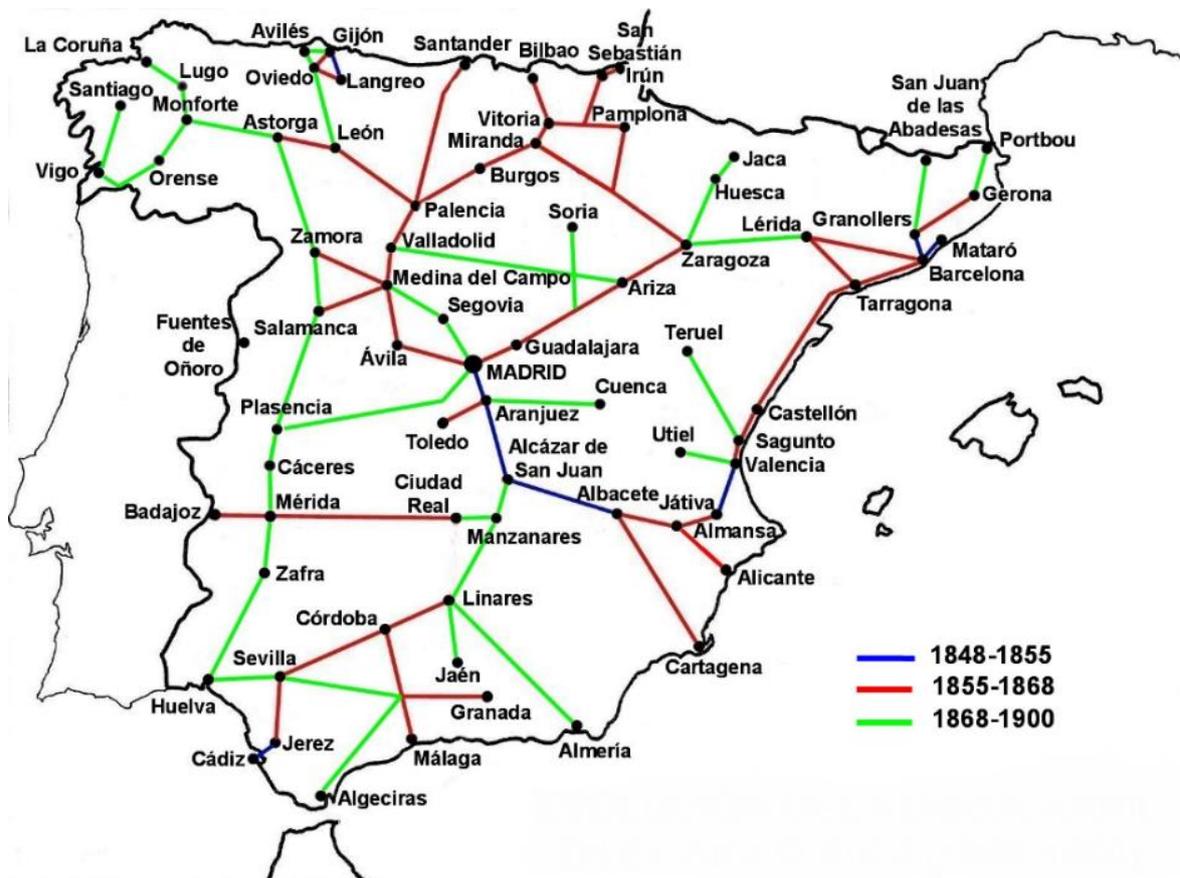


Ilustración 1. Evolución del ferrocarril en el siglo XIX. (Juan, 2013)

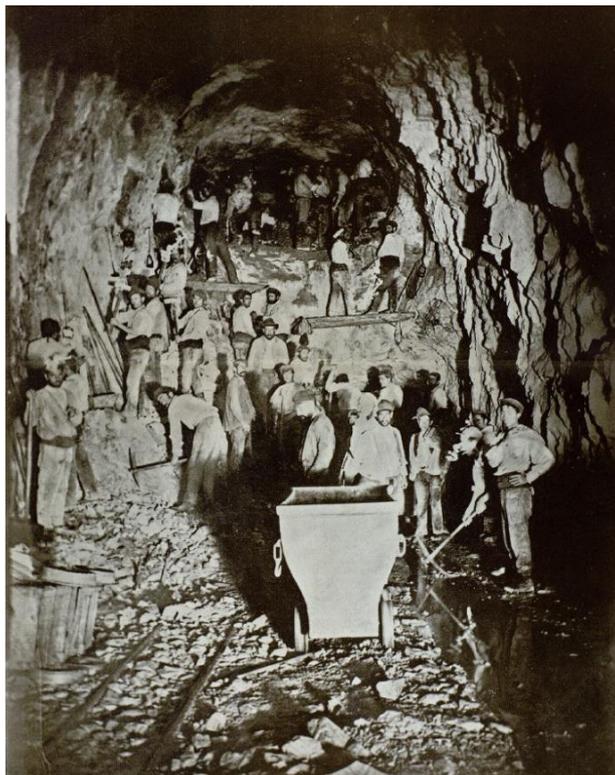
Fueron muchas las infraestructuras que se llevaron a cabo, siendo necesarias construcciones de pasos superiores y túneles, estos últimos se realizaban con explosivos, perforando barrenos manualmente, lo que generaba un perímetro de excavación del túnel muy irregular y desigual, como podemos ver en la siguiente imagen.

Debido a que el alcance de las perforadoras no era muy grande, los túneles debían ser excavados en dos mitades, la parte superior o calota y la parte inferior, destroza o “stross”, avanzando en varios niveles.

El escombro se extraía por medio de vagonetas empujadas y no se colocaba ningún sostenimiento tras el avance.

A continuación, se muestran unas ilustraciones características de la forma de excavación de la época, apreciando las irregularidades de los hastiales, así como se realizaba el avance entre calota y destroza.

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*



*Ilustración 2. Excavación del stross. Túnel de Argentera. (Maristany & Gibert, Eduard, 1891)*



*Ilustración 3. Carro soporte de la perforadora Ferroux usada en la Argentera. (Maristany & Gibert, Eduard, 1891)*

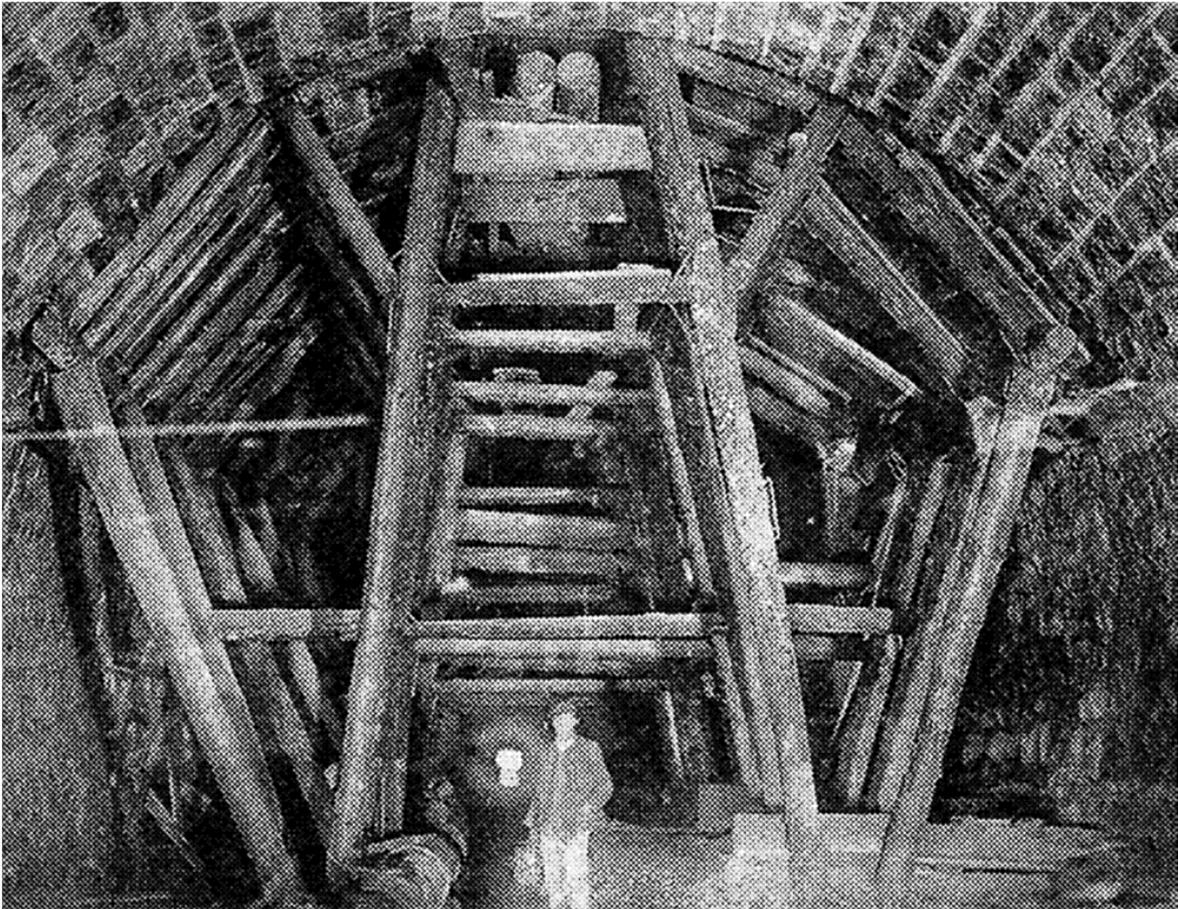
---

*Innovación en la determinación de gálidos ferroviarios mediante nube de puntos.*

En función de las condiciones del terreno, se dejaba el túnel desnudo, para rocas de buena calidad, o por el contrario se revestía en los tramos de peor calidad. El revestimiento se ejecutaba en dos partes.

En primer lugar, se construían los muros de sillares o mampostería en los hastiales y, sobre estos muros, se construía la bóveda con la ayuda de una cimbra de madera, como se puede percibir en la imagen de abajo.

La bóveda se solía construir con rosas de ladrillo prensado o sillarejos. Por lo general, en el trasdós del revestimiento solía quedar un gran hueco que se rellenaba con escombros de la propia excavación, o “piedra seca”. (ADIF, 2023a)



*Ilustración 4. Cimbra de madera para la ejecución de la bóveda de un túnel. (ADIF, 2023a)*

Este método de ejecución se puede observar actualmente, a través de los mechinales existentes en algunos túneles construidos en dichos años, como por ejemplo, en la siguiente ilustración, referentes al túnel de Cárdenas de la línea 200.

---

*Innovación en la determinación de gálidos ferroviarios mediante nube de puntos.*



*Ilustración 5. Hueco del trasdós relleno con "piedra seca" (Túnel de Cárdenas). (ADIF, 2023a)*

### 1.1.3. El ferrocarril del siglo XX en adelante

A principios del siglo XX, la red ferroviaria española ya se extendía a lo largo de unos 15.000 kilómetros, con más de 10.000 kilómetros en ancho ibérico y el resto en vía estrecha.

Sin embargo, este crecimiento frenético experimentado en las primeras décadas se vio ralentizado entre 1900 y 1935, reduciéndose a apenas 35 kilómetros por año.

Este periodo estuvo marcado por nuevas dificultades económicas, agravadas por la crisis de los años 30 y la Guerra Civil en 1936, que causaron graves daños en la red ferroviaria y que llevaron a las compañías ferroviarias a la quiebra.

En 1941, la dictadura franquista nacionalizó todas las grandes compañías ferroviarias de ancho ibérico, fundando la Red Nacional de Ferrocarriles Españoles (RENFE), que asumió el control de 12.401 kilómetros de vías férreas.

Los objetivos prioritarios de RENFE fueron la reconstrucción de las infraestructuras ferroviarias dañadas durante la contienda y el establecimiento de un nuevo modelo de gestión para la organización.

---

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

A pesar de estos esfuerzos, el protagonismo del ferrocarril continuó disminuyendo debido al auge de otros medios de transporte, como el automóvil y el avión, lo que contribuyó al aumento del déficit.

Tras la finalización de la dictadura, el Gobierno adoptó una nueva postura y decidió fomentar nuevamente el ferrocarril, sumándose a la entrada de España en la Unión Europea en 1986, impulsando la adecuación de las líneas al modelo europeo.

Es por ello que, se aprobó el Plan de Transportes Ferroviarios en 1987, que destinó grandes inversiones a la mejora de los servicios de cercanías y la construcción de la línea de Alta Velocidad Madrid-Sevilla, inaugurada en 1992 y con una extensión de unos 471 kilómetros.

A lo largo del siglo XX y posteriormente en el siglo XXI, las infraestructuras existentes y en concreto los túneles, han sufrido distintas actuaciones de refuerzo, rehabilitación y adecuación de gálibos.

Estas actuaciones han sido cruciales para el desarrollo y evolución de la red ferroviaria, señalando la adecuación de gálibos, es decir, el espacio libre entre tren e infraestructura que permite una circulación segura, este término en el que profundizaremos en el TFM, es especialmente relevante para adaptar la infraestructura a los estándares actuales.

## **1.2. Caso de los gálibos en Asturias y Cantabria**

A comienzos de febrero del 2023, en los túneles de las regiones de Asturias y Cantabria, se ha producido una situación un tanto peculiar dentro del sector ferroviario y que concierne con el denominado gálibo<sup>2</sup>, término muy común en la jerga ferroviaria.

Esta situación de la que se conoce debido a numerosas noticias públicas y portadas de grandes medios de comunicación, se debe una licitación realizada en 2020 para la fabricación y suministro de 31 trenes de ancho métrico, contrato suscrito por Renfe – Viajeros Sociedad Mercantil Estatal S.A. con CAF, para la modernización de la flota de trenes de transporte de viajeros de las líneas de ferrocarril de ancho métrico (antes FEVE), y que ahora son gestionadas por ADIF.

Los trenes diseñados por la empresa guipuzcoana CAF “no cabían” por varios túneles que forman parte de la red ferroviaria por incumplir el gálibo, es decir, que los trenes diseñados por CAF chocarían con los hastiales y bóvedas de los túneles ya existentes, lo que genera preocupación sobre la infraestructura existente y su incompatibilidad los gálibos, y sus actuales normas, poniendo de manifiesto la importancia de la adecuación de los gálibos en las infraestructuras ferroviarias y la detección de conflictos entre ambos.

---

<sup>2</sup> Gálibo: “Contorno de referencia, más unas reglas asociadas, que permiten definir el perfil constructivo máximo del material rodante, el perfil del cargamento y el perfil fuera del cual deben instalarse las estructuras fijas o provisionales.” (Ministerio de Fomento, 2015a)

Estos nuevos trenes estaban destinados a modernizar la flota de ancho métrico y debían circular por las regiones de Cantabria, Asturias, País Vasco, Galicia, Castilla y León y Murcia. Seguidamente, se expone el mapa de red de ancho métrico.



Ilustración 6. Red de ancho métrico (RAM) en España. (Díaz, R., 2018)

Destacar que los trenes contratados estaban en fase de diseño y aún no habían sido construidos.

Pero ¿cabían o no cabían esos trenes diseñados por la infraestructura existente?, ¿chocarían los trenes con los hastiales y bóvedas de los túneles?, ¿qué de cierto es esto?, ¿es que el tamaño de los trenes contratados era más grande que los túneles existentes?, y si “no cabían”, y si existía conflicto con el gálibo, ¿qué solución se ha tomado?

Todo comenzó en 2018, cuando Renfe publicó el pliego para la contratación de 31 nuevos trenes, para renovar la flota de las líneas FEVE, así como el suministro de piezas de parques y el mantenimiento parcial durante los 15 primeros años. (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2023)

En el pliego publicado por Renfe, se mencionaba que los gálibos a respetar para la fabricación de los trenes deberían ser los gálibos de referencia GEE10 y GED10, conforme a la Instrucción Ferroviaria de Gálibos (IFG) de 2015. Instrucción que trata de definir los gálibos a considerar en líneas nuevas y acondicionadas, tanto para la construcción de vehículos y cargamentos, como para la colocación de elementos próximos a la vía. (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2023)

El contrato, finalmente se adjudicó a la empresa guipuzcoana CAF por el valor de 197,5 millones de euros, de los cuales 162,2 millones iban destinado a la renovación de la flota, 8,8 millones a piezas

de parque, y por último 26,5 millones de euros para el manteniendo de la flota durante esos primeros 15 años.



*Ilustración 7. Tren de Renfe circulando por las antiguas vías de FEVE. (Puente Hoyos, Pedro, 2023)*

El contrato de diseño de la nueva flota, establecía una duración de casi 4 años siendo la fecha de inicio del mismo el 6 de agosto de 2020.

Cabe señalar que CAF solicitó información a Adif entre octubre y diciembre de 2020, acerca de la infraestructura. Entre los contactos mantenidos, se deduce que había **múltiples interferencias entre la infraestructura (túneles y andenes) y dichos gálibos** de referencia con los que se estaba diseñando en ese momento el material rodante, es por ello que se hacía evidente, que los nuevos trenes diseñados con los gálibos GEE10 y GED10 **eran incompatibles** con la infraestructura existente. Pero por circunstancias, la empresa adjudicataria no lo comunicó, hasta un año después. (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2023)

Entrando en 2021, en una reunión organizada por la Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria (AESF), en la que participaron Renfe y Adif, fue el administrador Adif quien comentó que la infraestructura de ancho métrico no podría cumplir con los gálibos GEE10 y GED10 estipulados en el pliego. Por lo tanto, Renfe le comunicó a CAF el incumplimiento de los gálibos, lo que originó una paralización del contrato. (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2023)

Asimismo, Renfe se comunicó con el administrador Adif, para solicitar la garantía de circulación con los gálibos establecidos en el pliego en todas las líneas de ancho métrico. (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2023)

---

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Por consiguiente, Adif facilitó a Renfe un estudio de 2018 con información relativa a los gálibos y el estado actual de las infraestructuras. De tal manera que formaron un grupo de trabajo junto con CAF, para analizar el estado actual y proponer soluciones. (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2023)

Con el estudio de 2018 (encargada a la consultora AXIL) y el análisis de los gálibos GEE10 y GED10, **se determinó que se invadían** los contornos de los **gálibos GEE10 y GED10**. (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2023)



*Ilustración 8. Un grupo de paisanos realizando una medición in situ de un túnel de Feve debido a la problemática de los gálibos en Asturias y Cantabria. (López, Miki, 2023)*

Esto hizo pensar en reducir el perfil del tren, aplicando los cálculos y condiciones de la IFG para obtener un gálibo del material rodante sin conflictos, partiendo de la base de las mediciones de la infraestructura del estudio comentado, pero esto era inviable, puesto que el material rodante no solo sería más pequeño que los contratados, sino que serían demasiado estrechos.

Tras varias reuniones del grupo entre las que se incluye el MITMA, para analizar el estado de avance, se da con la solución de aplicar un **método comparativo** según la norma EN 15273, tomando como referencia a uno de los trenes que en esos momentos estaba circulando (sin ningún tipo de conflicto) por la infraestructura de ancho métrico, en concreto el material rodante de referencia fue el modelo S/2700. (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2023)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Previamente, se había descartado las actuaciones de ampliación o adecuación de la infraestructura en la totalidad de la línea de ancho métrico, debido a su alto coste económico.

Por consiguiente, la AESF admite incluir este método comparativo en una nota interna, viendo con buenos ojos la posibilidad de revisar la IFG a largo plazo para incluir este sistema, que es lo que solicita Renfe, ya que en su momento manifestaron un mayor respaldo normativo.

Por otra parte, Renfe y CAF presentan un análisis de gálibos en diciembre de 2021, donde se valida el gálibo en ancho métrico mediante la propuesta del método comparativo, a la espera de la conformidad con AESF y MITMA. (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2023)

En los primeros meses de 2022, la empresa adjudicataria CAF presenta las adaptaciones necesarias para pasar de las secciones GED10 y GEE10 contratadas en el pliego, a la sección del modelo de tren S/2700. Por consiguiente, se ve reducido el gálibo con el tren S/2700, disminuyendo el número de plazas de 241 a 224. (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2023)



*Ilustración 9. Tren de ancho métrico modelo S/2700. (RENFE, 2024)*

Pero al no estar este método comparativo en ninguna normativa española, se contempló la idea de revisar la IFG como ya se ha comentado. Es por ello, que en abril de 2022, el MITMA, tras una reunión con Renfe transmitiéndoles un mayor respaldo normativo, encarga a Adif la definición de un gálibo de referencia para ancho métrico, siendo una solución alternativa al método comparativo, pero esta solución alternativa se desecha, ya que conducía al diseño de un material rodante extremadamente estrecho, tal y como ocurría en un primer momento. (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2023)

Cabe señalar que la AESF, presentó en julio de 2021 una propuesta de orden ministerial para regular la "Instrucción ferroviaria para el proyecto y construcción del subsistema de infraestructura (IFI)" y la "Instrucción ferroviaria para el proyecto y construcción del subsistema de energía (IFE)", sin

relación con los gálibos de ancho métrico. Esta propuesta mantuvo alegaciones y correcciones hasta julio del año 2022.(Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2023)

Por lo que, la AESF aprovecho ese espacio de tiempo para incluir las propuestas y alegaciones planteadas por Renfe desde un inicio, que fueron la modificación a la IFG y la incorporación del método comparativo en normativa.(Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2023)

Por consiguiente, el borrador de la orden ministerial de enero de 2023, incluía dichos aspectos.

A finales julio de 2023, el MITMA presenta una auditoría, realizando un análisis de la información y determinando las causas que ha ocasionado esta problemática, con una serie de recomendaciones a futuro.

Asimismo, se concluye en el informe que el diseño de los trenes da como **resultado un material rodante incompatible con la ruta.**

En cualquier caso, este suceso ha puesto de manifiesto la gran importancia de la adecuación de los gálibos en las infraestructuras ferroviarias de la RFIG para garantizar la seguridad y la circulación.

Todo esto, suscita la motivación de investigar más a fondo sobre los gálibos ferroviarios y su adecuación, dentro del marco de un TFM, abordando problemas reales, como el caso anterior, y exponiendo soluciones innovadoras, como las que veremos más adelante, que ayuden y permitan mejorar la infraestructura ferroviaria.

## 2. OBJETIVO

El elevado volumen de trabajo en determinar los gálibos existentes y las interferencias que estos tienen con la infraestructura actual, se pretende resolver dicha problemática en este TFM por medio de una metodología basada en la determinación de los gálibos ferroviarios y la representación e identificación de las colisiones entre dichos gálibos y la infraestructura. Partimos del escaneado del entorno existente con equipos específicos que generan nubes de puntos, obteniéndose planos en 2D con el gálibo diseñado, donde se incluya y visualice el contorno de la nube de puntos, además de generar un modelo federado en 3D, que realice pruebas de conflictos entre gálibo y las estructuras afectadas, elaborando informes de colisiones.

Este modelo 3D, basado en archivos de datos que nos proporciona la nube de puntos, permitirá definir con gran precisión la geometría de la infraestructura existente e importar el gálibo deseado, o el que se pretenda hacer circular por una línea en concreto.

Los objetivos que se persiguen en la presente publicación son los siguientes:

- Desarrollar una metodología accesible y pública, capaz de detectar las interferencias entre los túneles existentes y el gálibo que se pretende hacer circular por la línea, por medio del escaneo con la innovadora tecnología de nube de puntos.
- Del mismo modo, desarrollar esta metodología para el resto de las infraestructuras existentes con nube de puntos, pues es necesario verificar si el gálibo ferroviario que se desea implantar produce conflictos con los pasos superiores, puentes metálicos, muros, señales, etc.
- Dentro de la metodología, se pretende generar secciones transversales 2D e informes de colisiones para verificar si efectivamente, el gálibo que se desea implantar genera o no conflictos con la infraestructura existente.
- Estudiar los equipos de escaneo con tecnología de nube de puntos que se emplean en la actualidad, con sus respectivas ventajas e inconvenientes, así como sus rendimientos.
- Analizar los beneficios de utilizar nube de puntos en el sector ferroviario.
- Estudiar los gálibos que pueden implantarse en la actualidad.
- Conocer el enfoque de las denominadas Autopistas Ferroviarias y sus correspondientes gálibos.
- Comprender las reglas que regulan el marco ferroviario.
- Estudiar los beneficios que posee los informes de colisiones en fase de proyecto.

### 3. MOTIVACIÓN

La decisión de abordar este Trabajo de Fin de Máster (TFM) en el ámbito de la Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos se basa en una profunda motivación derivada de la complejidad y relevancia de los retos actuales en el contexto ferroviario, especialmente los relacionados con la determinación del gálibo ferroviario en los túneles de la Red Ferroviaria de Interés General (RFIG).

Al mismo tiempo, y dada la necesidad de incorporar nuevas herramientas y tecnología en el entorno de la Ingeniería, surge este TFM, como una solución a la problemática de identificar las interferencias del gálibo ferroviario existente o futuro en los diferentes túneles de la RFIG, mediante la unión entre la ingeniería ferroviaria actual y las nuevas e innovadoras tecnologías con nubes de puntos.

La aplicación de una metodología basada en la demostración y representación de gálibos ferroviarios y la situación actual de la infraestructura mediante nube de puntos, representa un enfoque innovador en el ámbito de la Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, ya que, a través de los millones de puntos generados por la aplicación de la mencionada tecnología, se proporciona una gran cantidad de información y modelos digitales que solventarán con mayor precisión la problemática de los gálibos.

Esta idea, impulsada por las reiteradas incidencias, problemas y la gran necesidad de adaptar los túneles de la RFIG a los gálibos interoperables en los últimos años, hacen que este TFM inicie su andadura en estos términos, y siempre con el afán de contribuir a la mejora de la red ferroviaria.

Los desafíos técnicos, el aprendizaje hacia nuevos horizontes de la ingeniería y en general el reto que supone afrontar esta nueva tecnología en la ingeniería ferroviaria, son otros puntos motivadores que me servirán para el desarrollo profesional.

Por todo lo expuesto, y para dar por cumplido mis estudios de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos he querido realizar el presente Trabajo de Fin de Máster.

## 4. PLANTEAMIENTO TFM

Para poder organizar el presente TFM y entender la estructura de los diferentes capítulos, se explica brevemente cada uno de ellos.

- **Capítulo 1: Estado del Arte**

El Estado del Arte, se compone del análisis de la situación actual de la Red Ferroviaria de Interés General (RFIG) junto con el estudio de la normativa vigente sobre gálibos ferroviarios.

Además, se abordará la necesidad y problemática de ampliar gálibos, focalizando la atención en la realidad española y comparándola con las prácticas en otros países europeos.

También, se analizarán varias tecnologías sobre la determinación de los gálibos, como el Laser Escaner, Aerial Laser Escaner, Mobile Mapping, pero en general se investigan las nubes de puntos, esta última considerada como un sistema innovador en la ingeniería civil, determinando sus ventajas y desventajas.

Por otro lado, se presentarán casos de éxitos y avances significativos provocados por la introducción de nubes de puntos en la determinación de gálibos ferroviarios.

- **Capítulo 2: Metodología**

En este capítulo, se tratará de describir el modelo seguido y utilizado para determinar el gálibo ferroviario mediante nube de puntos, detallando el proceso paso a paso y definiendo los programas y procesos empleados para llegar al objetivo.

Destacar que se obtendrán planos en 2D y un modelo en 3D junto con informes de colisiones.

- **Capítulo 3: Caso de Estudio**

En este último capítulo, se pretende acometer la metodología descrita en un caso de estudio, para ello se ha seleccionado un tramo que contiene varias estructuras y de las que se obtendrán los conflictos entre gálibo e infraestructura.

Asimismo, se proporcionará varias soluciones para solventar las colisiones.

## 5. ESTADO DEL ARTE

### 5.1. Marco regulatorio y planificación ferroviaria en España y Europa

#### 5.1.1. Políticas y planes ferroviarios en España

A partir de la inauguración de los Ferrocarriles de Alta Velocidad en 1992, el sistema ferroviario español ha experimentado un cambio drástico. Este paso sirvió como punto de partida para una serie de medidas estratégicas que definieron el camino del desarrollo ferroviario en el país. En este proceso, se constituyó ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias) en el 2005 y jugó un papel importante en este proceso al desvincular las funciones de gestión de infraestructuras de la operación de los servicios ferroviarios.

El cambio fue impulsado por la implementación de directivas europeas que ordenaban que las compañías ferroviarias nacionales crearan una gestión separada para la infraestructura y los servicios ferroviarios, permitiendo así que cualquier operador ferroviario operara trenes en igualdad de condiciones con las empresas nacionales.

Es por ello, que se llevó a cabo la división de la Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles (RENFE) en dos entidades distintas: Renfe-Operadora, encargada de la propiedad y circulación de los trenes, y ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias), responsable de la gestión y propiedad de la infraestructura ferroviaria.

Por otro lado, se llevaron a cabo varios planes de Infraestructuras dentro del ámbito español, para mejorar, modernizar y hacerla más competitiva.

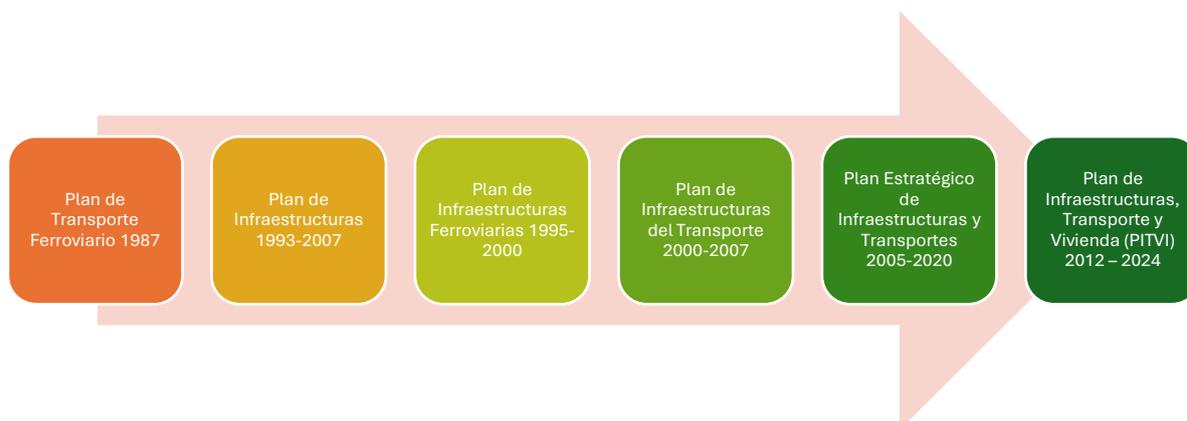


Ilustración 10. Planes ferroviarios en España. (Elaboración propia)

El Plan de Transporte Ferroviario de 1987, denominado PTF1987, el cual, fue la respuesta del gobierno español a las críticas por el cierre de los ferrocarriles por su obsolescencia y pérdida de competitividad frente al transporte por carretera. El objetivo primordial del PTF 1987 era mejorar

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

la calidad de los servicios ferroviarios, reducir el tiempo de viaje y cubrir los costes operativos, así como reducir el déficit de RENFE. Es por ello que, se aspiraba a aumentar la velocidad media de los trenes hasta los 200 km/h en los 2.300 kilómetros de la red hasta el año 2000, con un volumen de inversión total de 2.100 millones de pesetas. Además, se pretendía integrar la mejora y renovación de la red existente, la construcción de nuevas rutas y la superación del estancamiento ferroviario.

El Plan Director de Infraestructuras 1993-2007 (PDI1993) y el Plan de Infraestructuras Ferroviarias 1995-2000 (PIF1995) fueron planes de desarrollo que buscaban mejorar la red ferroviaria en España. El PDI1993 contemplaba siete programas, incluyendo Alta Velocidad, Actuaciones estructurantes, Actuaciones complementarias, Cercanías, Redes arteriales ferroviarias, Seguridad y pasos a nivel, y Conservación y mantenimiento, con una inversión prevista de 3,22 billones de pesetas.

En cambio, el PIF1995 mantenía similitudes con los objetivos y propuestas del PTF1987, con el objetivo de mejorar la red y ganar competitividad con la carretera, midiendo el progreso en términos de la velocidad a alcanzar en distintos trayectos. Ambos planes buscaban modernizar y mejorar la red ferroviaria en España.

El Plan de Infraestructuras de Transporte 2000-2007 (PIT2000) fue una iniciativa del Ministerio de Fomento, cuyo objetivo era mejorar las infraestructuras de transporte y la construcción de una red de alta velocidad que conectara todas las capitales de provincia.

Se priorizó la inversión en ferrocarriles, con un enfoque en la alta velocidad, y se buscó la modernización de la red convencional para mejorar la competitividad con la carretera. Aunque no se cuenta con un documento oficial que recoja sus objetivos y programas, se estima que contemplaba una inversión de 17,1 billones de pesetas para el periodo 2000-2010.

El Plan Estratégico de Infraestructuras y Transportes 2005-2020 (PEIT2005) fue el primer plan sometido a un procedimiento reglado en su elaboración, con consultas a las Comunidades Autónomas, información pública y sometimiento a evaluación ambiental, y se incardina dentro de las Directivas relativas a la ordenación de los transportes en la Unión Europea, aprobado por el Consejo de Ministros en julio de 2005, el PEIT2005 estableció las grandes líneas de actuación en el sistema de transporte, tanto en el conjunto del sistema como en las directrices específicas para cada una de las políticas sectoriales. Sin embargo, a pesar de sus planteamientos estratégicos, no se llevaron a efecto todos los instrumentos normativos y de planificación propuestos.

El PEIT2005 buscaba la intermodalidad, seguridad, calidad y eficiencia, equilibrio territorial, financiación del sistema en su conjunto, y la cooperación interadministrativa. Aunque se elaboraron algunos borradores de planes o normas, no terminaron siendo aprobados.

Se destaca la visión a largo plazo para el desarrollo de las infraestructuras y el transporte en España, con el objetivo de modernizar y mejorar el sistema de transporte en el país. Aunque no todos sus planteamientos estratégicos se llevaron a cabo, sentó las bases para futuras iniciativas en el sector.

El Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda 2012-2024 (PITVI2012) fue una iniciativa que buscaba replanificar las inversiones y realizar análisis de viabilidad de líneas con débil tráfico,

---

abordando la crisis económica, las directivas de la Unión Europea y la participación del sector privado en la gestión de infraestructuras y servicios de transporte. Dentro del marco del plan se afrontó la brecha que existía entre la red de alta velocidad y la red convencional del sistema ferroviario español, así como los desafíos pendientes en el tráfico de mercancías en la actualidad, la búsqueda de la interoperabilidad ferroviaria y la intermodalidad con otros modos y sistemas de transporte.

Asimismo, el PITVI2012 planteó la necesidad de replanificar las inversiones y realizar análisis de viabilidad de líneas con escaso tráfico. En el capítulo de Nuevas Inversiones en Alta Velocidad, se incluyeron casi todas las previsiones del plan anterior y se incorporaron algunas nuevas, sin precisar fechas ni extensiones.

Destacar que la red de alta velocidad es radial y centralizada en Madrid, conseguido por un alto volumen de inversión, y una rentabilidad cuestionable.

A pesar de ello, se priorizó su papel en la reducción de tiempos de viaje y competencia con la carretera y el avión. Sin embargo, se señaló su incapacidad para contribuir a la generación de actividad económica entre los nodos y el territorio por el que discurren las vías ferroviarias. (Cruz Villalón, Josefina, 2017)

Por otro lado, el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana aprobó para el período de 2021 al 2026, la Estrategia Indicativa del desarrollo, mantenimiento y renovación de la infraestructura ferroviaria, incluida en el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) y relacionada con fondos Next Generation EU, para impulsar una movilidad “sostenible, segura y conectada”.

La estrategia surge del cumplimiento de las obligaciones fijadas por la Ley 38/2015 del Sector Ferroviario, que a su vez supone la incorporación al ordenamiento jurídico español de la Directiva 2012/34/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, por el que se establece un espacio ferroviario único europeo, esta última directiva se detalla en el siguiente apartado.

Además, esta estrategia está vinculada al cumplimiento de la Ley 21/2023 de evaluación ambiental. (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2022)

Esta estrategia busca movilizar inversiones entre 2021 y 2026 con un enfoque en la coherencia y la eficacia, considerando aspectos sociales, medioambientales, funcionales y económicos, todas ellas encaminadas a mejorar la red ferroviaria, creando un espacio interoperable en la UE y resolviendo los desafíos que proponen la coexistencia de infraestructuras modernas y obsoletas, y tramos con diferentes niveles de capacidad de uso.

En este sentido, dicha estrategia estipula ocho objetivos, los cuales prevén potenciar la movilidad urbana sostenible (principalmente en los Cercanías), mejorar el mantenimiento y seguridad de la red, lograr su sostenibilidad económica, garantizar la interoperabilidad nacional e internacional desarrollando corredores y promoviendo el transporte intermodal, impulsar el tráfico de mercancías y sus nuevas formas de gestión, mejorar la seguridad operacional, fomentar la

digitalización del transporte y por último, fortalecer la sostenibilidad ambiental en todo el sistema ferroviario.



Ilustración 11. Estrategia Indicativa del desarrollo, mantenimiento y renovación de la infraestructura ferroviaria. (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2022)

En consonancia con la movilidad sostenibles y conectada, surge la “Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030” (Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible., 2021), documento marco que guiará las actuaciones del transporte durante los próximos 10 años para lograr afrontar los retos en movilidad de personas y transportes de mercancías del siglo XXI.

Esta Estrategia promovida por el MITMA, se desarrolla en 9 ejes estratégicos, que se componen de más de 40 líneas de actuación con más de 150 medidas concretas.

En la siguiente ilustración, se establecen los 9 ejes estratégicos, de los cuales, el que concierne al transporte ferroviarios de mercancías, corresponde con el eje 6 “Cadenas Logísticas Intermodales e Inteligentes”.

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*



Ilustración 12. Los 9 ejes estratégicos de la “Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030”. (Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible., 2021)

En el contexto del Eje 6 de la Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030 del MITMA, denominado “Cadenas Logísticas Intermodales e Inteligentes”, se lanza la iniciativa Mercancías 20-30, con la que se pretende potenciar el transporte ferroviario de mercancías como eje vertebrador de las cadenas logísticas multimodales, desde la perspectiva dual de recuperación económica post COVID-19.

El citado eje 6, se estructura en cuatro líneas de actuación, siendo el 6.1 “Incremento efectivo del transporte ferroviario de mercancías” el que contiene en su punto 6.1.4 el “Impulso de las autopistas ferroviarias”.

Una autopista ferroviaria<sup>3</sup> se define como un sistema de transporte combinado en el que los vehículos de carretera (camiones) son transportados por ferrocarril en servicios lanzadera empleando material rodante y terminales específicamente acondicionadas.

<sup>3</sup> Autopista Ferroviaria: Término utilizado para el transporte combinado en el que vehículos de carretera son transportados en vagones especiales de ferrocarril. (Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible, 2023)

Por tanto, es crítico para su implementación que la infraestructura sea capaz de albergar, a efectos de gálibo, estos transportes, ya que al subir los camiones a trenes se superan los gálibos GH y GEB existentes en la RFIG por lo que es necesario analizar (tema que trataremos en los siguientes apartados) y adecuar las líneas por las que circularán.



*Ilustración 13. Los 9 Ejes de la "Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030". (Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible., 2021)*

### 5.1.2. Políticas europeas de transporte

Las políticas europeas de transporte juegan un papel fundamental en la promoción de un sistema de transporte eficiente, seguro y sostenible en toda Europa.

Cabe destacar que, la Unión Europea desde su fundación tiene como elemento principal establecer una política común de transporte, adaptándose en todo momento a los nuevos retos del transporte en Europa y creando un sistema que no suponga ruptura entre las diferentes formas de desplazamiento.

Estas políticas se basan en documentos clave como el Libro Blanco, la Directiva 2012/34/UE, el Reglamento UE 1315/2013 sobre la Red Transeuropea de Transporte y el Cuarto Paquete Ferroviario. A través de la alineación con estos marcos normativos, se busca fomentar el desarrollo, mantenimiento y renovación de la infraestructura ferroviaria, así como garantizar la interoperabilidad y la seguridad operacional en el sector ferroviario europeo.

El mencionado "Libro Blanco: Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: por una política de transportes competitiva y sostenible"(Comisión Europea, 2011) establece una hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte, con el objetivo de promover una política de transportes competitiva y sostenible, planteando diez objetivos. Destaca la importancia de contar con una red de infraestructuras adecuada para la movilidad, que maximice el impacto positivo en el crecimiento económico y minimice el impacto negativo en el medio ambiente. Se enfatiza la necesidad de desarrollar infraestructuras que permitan el uso de modos de transporte más eficientes desde el punto de vista energético, apoyándose en corredores eficientes y ecológicos.

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Asimismo, se subraya la importancia de contar con recursos financieros suficientes para la planificación y ejecución de proyectos de transporte.

Por otro lado, cabe señalar la Directiva 2012/34/UE "RECAST" del Parlamento Europeo y del Consejo (Parlamento Europeo y del Consejo, 2012) que tiene como objetivo establecer un "Espacio Ferroviario Europeo Único".

Esta directiva busca suprimir obstáculos administrativos, técnicos y de mercado en el sector ferroviario a nivel europeo, estableciendo reglas equitativas para todos los actores y promoviendo la independencia y transparencia financiera de los gestores de infraestructuras ferroviarias. Se enfatiza la importancia de una red de infraestructuras integrada y equipos interoperables para garantizar servicios de transporte eficaces en toda Europa, en condiciones de competencia equitativas frente a otros modos de transporte.

Además, se establece la necesidad de una estrategia indicativa de desarrollo de la infraestructura ferroviaria para satisfacer las necesidades futuras de movilidad, basada en una financiación sostenible del sistema ferroviario.

El Reglamento UE 1315/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, (Parlamento Europeo y del Consejo, 2013b) establece las orientaciones de la Unión Europea para el desarrollo de la Red Transeuropea de Transporte (en inglés Trans-European Transport Network, conocida por la abreviatura TEN-T<sup>4</sup>). Para desarrollar la citada TEN-T que permita formar una red transeuropea que cumpla con los objetivos de las políticas de transporte marcadas por la Unión Europea, se ha fijado dos horizontes temporales, las actuaciones de máxima importancia se encuadran en la Red Básica (Core Network), cuyo horizonte es el año 2030, mientras que para Red Global (Comprehensive Network), que contiene al conjunto de infraestructuras existentes y planificadas de la Red TEN-T, el horizonte se asienta en el año 2050.

*Tabla 1. Red Transeuropea de Transporte (TEN-T). Reglamento UE 1315/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo Artículo 39. Requisitos técnicos (Elaboración propia)*

<b>Red básica (horizonte 2030)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interoperabilidad de la red</li> <li>• Electrificación total de las líneas ferroviarias</li> <li>• Líneas de mercancías de al menos 100 km/h, 22,5 t por eje y que permitan la circulación de trenes de 740 m</li> <li>• Implantación de ERTMS</li> <li>• Ancho de vía estándar UIC para las nuevas líneas</li> </ul>

<sup>4</sup> También podemos encontrar referencias a la Red Transeuropea de Transporte, con la abreviatura RTE-T.

## Marco regulatorio y planificación ferroviaria en España y Europa



Ilustración 14. Red Transeuropea de Transporte (TEN-T). Reglamento UE 1315/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo Red básica. Vías férreas (transporte de pasajeros) y aeropuertos. (Parlamento Europeo y del Consejo, 2013b)

El otro horizonte, se marca en el año 2050, que contiene al conjunto de infraestructuras existentes y planificadas de la Red TEN-T, catalogándose dentro de la Red Global (Comprehensive Network).

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

---

 Marco regulatorio y planificación ferroviaria en España y Europa
 

---

*Tabla 2. Red Transeuropea de Transporte (TEN-T). Reglamento UE 1315/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo Artículo 12. Requisitos de las infraestructuras de transporte. (Elaboración propia)*

Red global (horizonte 2050)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interoperabilidad de la red</li> <li>• Implantación de ERTMS</li> <li>• Electrificación de las líneas</li> <li>• Acceso a las terminales de mercancías</li> </ul>

Este reglamento identifica nueve Corredores de la Red Básica, incluyendo el Corredor Atlántico y el Corredor Mediterráneo que atraviesan España.

Asimismo, se actualizan las condiciones del Mecanismo "Conectar Europa" para el marco financiero plurianual 2021-2027, incluyendo nuevas alineaciones de los corredores de la Red Básica y enlaces transfronterizos predeterminados de la Red Global. Este Mecanismo "Conectar Europa" proviene del Reglamento (UE) n ° 1316/2013 (Parlamento Europeo y del Consejo, 2013a), y que consiste, como su propio nombre indica en conectar Europa y sus regiones. El citado mecanismo apoya económicamente a proyectos destinados al transporte, telecomunicaciones y energía, intentando acelerar la inversión en Redes Transeuropeas de Transporte (TEN-T), completar la red básica para 2030, crear nuevas infraestructuras y mejoras en las existentes para el horizonte 2050, así como, disponer de diferentes formas de financiación, con la necesidad de contar con políticas climáticas.

Por último, cabe destacar el Cuarto Paquete Ferroviario, presentado por la Comisión Europea en enero de 2013, consiste en un conjunto de Directivas y Reglamentos para la apertura de los mercados nacionales de servicios de transporte de viajeros. Este paquete se estructura en dos pilares: uno técnico y otro político o de gobernanza, que incluyen directrices para el desarrollo, renovación y mantenimiento de las infraestructuras ferroviarias, así como para la mejora en la gobernanza y la apertura del mercado en el sector ferroviario.

### 5.1.3. Estado Actual de la RFIG

España ha dedicado notables esfuerzos, especialmente desde mediados de los años 80 y con el respaldo de fondos europeos, para superar sus históricas deficiencias en infraestructuras de transporte. Este proceso ha llevado al país a contar actualmente con una de las redes de transporte más completas de Europa.

Lo que se conoce como la Red Ferroviaria de Interés General (RFIG), está administrada por la entidad pública empresarial ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviario), mientras que la Red Ferroviaria Autonómica, la administran las correspondientes entidades autonómicas.

Nos centraremos en la RFIG, siendo la red que engloba los principales corredores y que obtiene un carácter estratégico para la conectividad nacional e internacional.

---

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

## Marco regulatorio y planificación ferroviaria en España y Europa

Es por ello que, para obtener una visión global del estado actual de la RFIG, tendremos que destacar la información recabada de la Declaración sobre la Red(ADIF, 2024a), que expone las características de la infraestructura administrada por ADIF.

Por otro lado, destacar que en 2013 se crea ADIF – Alta Velocidad, mediante la aprobación del Estatuto de esta entidad pública empresarial(Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas, 2013), separándose de la actividad de construcción y administrador de las infraestructuras de alta velocidad que poseía la entidad pública empresarial Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF). Esto se debe a que las infraestructuras catalogadas como alta velocidad presentan grandes diferencias respecto al resto, ya sea desde el aspecto técnico como económico.

Es por ello, que ADIF – Alta Velocidad, posee una declaración sobre la red independiente(ADIF AV, 2024), en la que expone las características de la red de alta velocidad que administra, de las cuales sus características son las que se exponen a continuación comparándolas con los datos arrojados por la declaración sobre la red de ADIF.

Tabla 3. Estaciones de Viajeros. (ADIF, 2024a; ADIF AV, 2024)

Estaciones de Viajeros		
	ADIF	ADIF - AV
Nº de Estaciones	1.451	46

Tabla 4. Terminales de Mercancías. (ADIF, 2024a; ADIF AV, 2024)

Estaciones de Viajeros		
	ADIF	ADIF - AV
Principales Terminales de Transporte de Mercancías	38	0

Tabla 5. Longitud de la Infraestructura. (ADIF, 2024a; ADIF AV, 2024)

Tipo de Línea	Ancho de Vía mm	Longitud (Km)		
		ADIF	ADIF - AV	TOTAL
Red de Alta Velocidad de Ancho Estándar	1.435	57,2	3.025,8	3.083
Red de Alta Velocidad de Ancho Ibérico	1.668	84,1	137,4	221,5
Red Convencional de Ancho Ibérico puro	1.668	10.211,5	613,7	10.825,2
Red Mixta (Tercer Carril combinación Ancho Ibérico y Ancho Estándar)	1.668/1.435	124,9	196,8	321,7
Red de Vía Estrecha de Ancho Métrico	1.000	1.193,4	0	1.193,4
<b>TOTAL</b>		<b>11.671,2</b>	<b>3.973,7</b>	<b>15.644,9</b>

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

---

 Marco regulatorio y planificación ferroviaria en España y Europa
 

---

Deteniéndonos en esta tabla 5 de arriba, los datos que se arrojan indican que la Adif Alta Velocidad gestiona menos vías que Adif (considerándose como la “Red Convencional”), además, se observa que la gran mayoría de las vías de alta velocidad son de ancho estándar, esto quiere decir que estas vías son interoperables.

Todo lo contrario ocurre con la considerada Red Convencional, que como se puede apreciar gestiona más vías ferroviarias, pero contempla escasas vías de ancho estándar, ya que en su totalidad, son de ancho ibérico, y esto es, por que la Red Convencional está enmarcada en una infraestructura existente, ejecutada en el siglo XIX o en siglos posteriores en ancho ibérico como hemos comentado en la introducción, que lleva renovándose continuamente a lo largo de los años, por lo tanto, es lógico pensar que la gran mayoría de sus vías sean de ancho ibérico y que las vías que se adecuen al ancho estándar por querer que sean interoperables pasen a ser gestionadas por Adif Alta Velocidad.

Con esto último se destaca, que Adif gestiona actualmente 57,2 kilómetros de Red de Alta Velocidad de ancho estándar, y esto es posible ya que todavía no se ha traspasado la gestión de dichas vías a Adif Alta Velocidad.

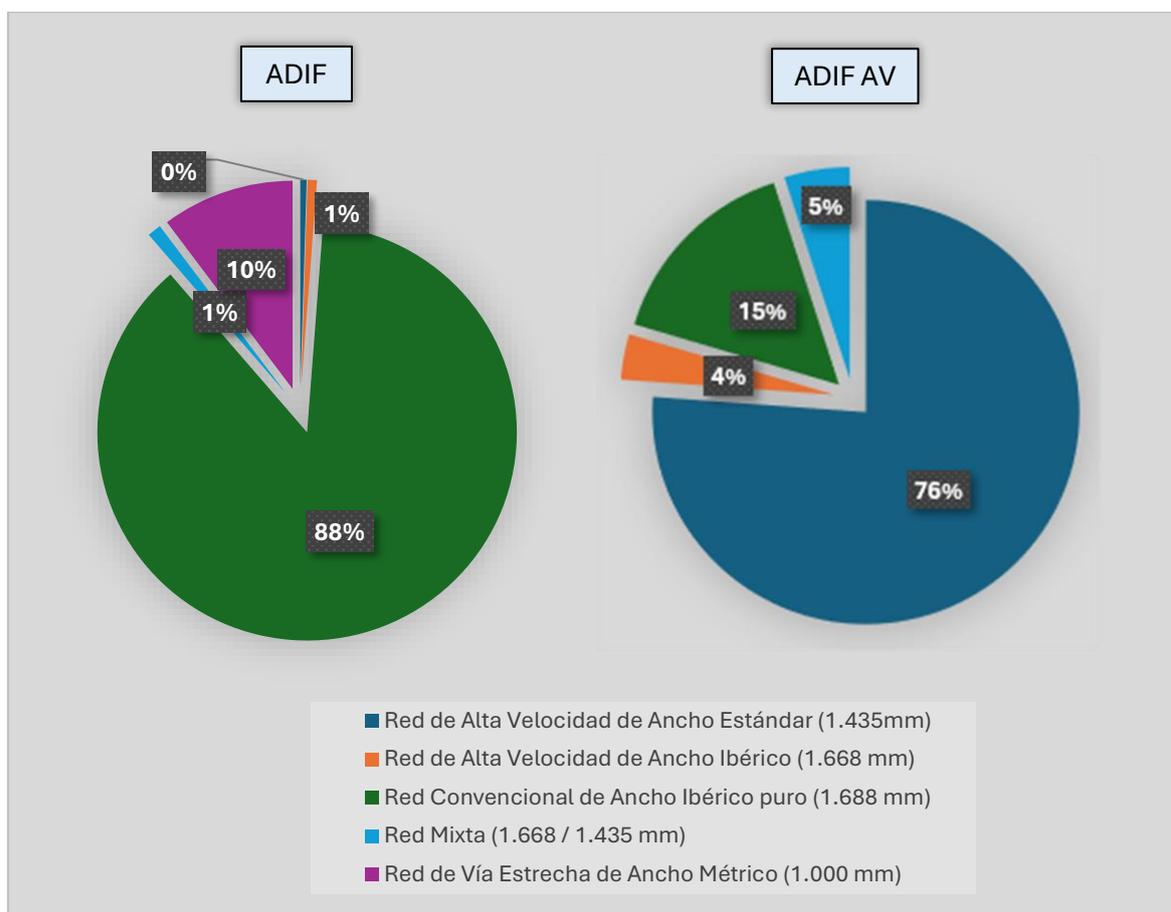


Ilustración 15. Comparativa Ancho vía en ADIF y ADIF AV. (Elaboración propia)

---

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

## Marco regulatorio y planificación ferroviaria en España y Europa

Tabla 6. Longitud de la Señalización. (ADIF, 2024a; ADIF AV, 2024)

Sistema de Señalización	Longitud de Líneas Equipadas (Km)	
	ADIF	ADIF - AV
ERTMS	230,9	2.740,7
ASFA	10.585,1	3.973,7
<b>Sistemas de Bloqueo Automatizados</b>	<b>9.317,5</b>	<b>3.970,1</b>
CTC	8.878,6	3.899,1

Tabla 7. Longitud línea electrificada y circulaciones. (ADIF, 2024a; ADIF AV, 2024)

Otros Datos	Valor	
	ADIF	ADIF - AV
Línea electrificada (Km)	6.718,6	3.745,0
Nº Circulaciones de Trenes	1.867.840	388.838

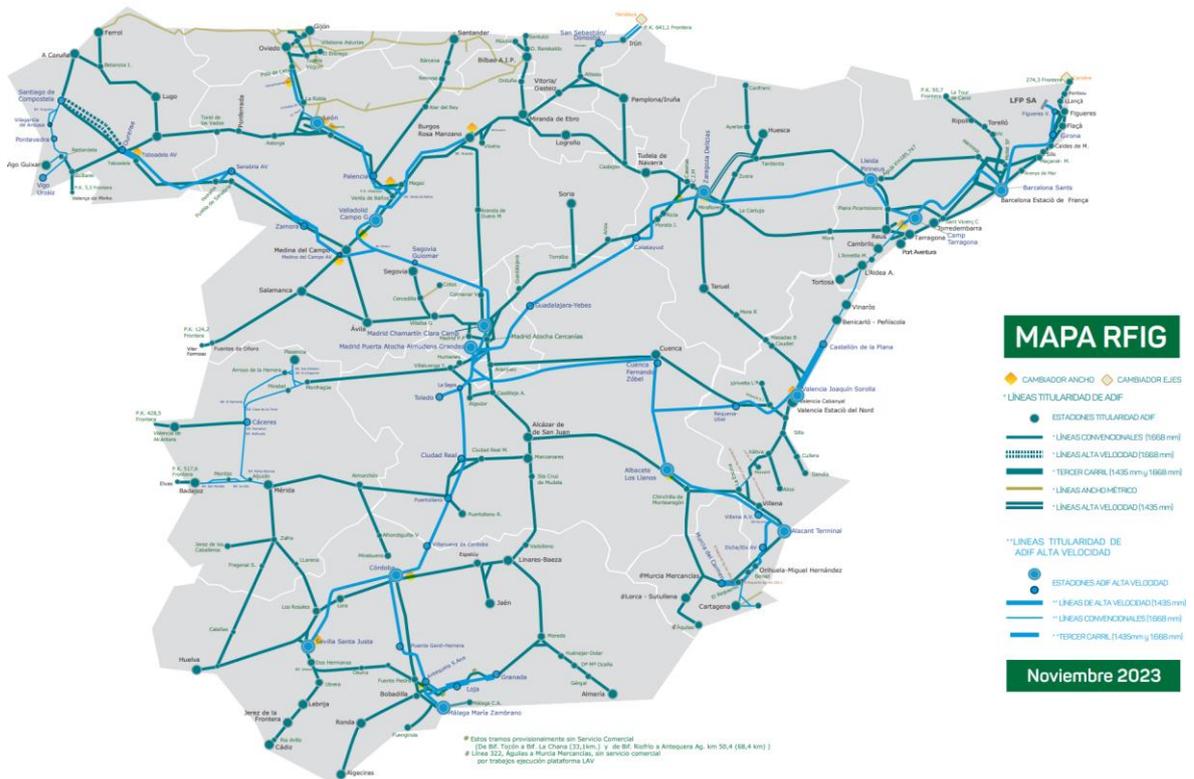


Ilustración 16. Mapa RFIG. (ADIF, 2024a)

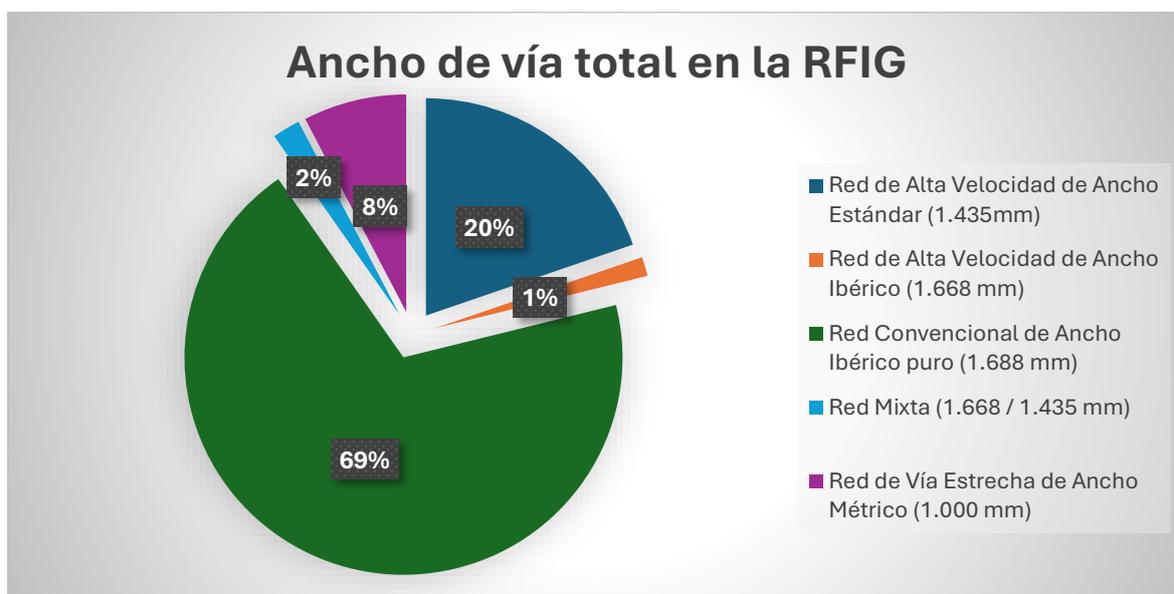
En este marco, cabe señalar que la RFIG está definida y delimitada por el Catálogo de líneas y tramos de la Red Ferroviaria de Interés General (Ministerio de Fomento, 2015b). El resto de Infraestructura ferroviario que no se recoge en dicha orden no forma parte de la RFIG.

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

En cuanto a la interoperabilidad, algo de lo que venimos hablando en apartados anteriores, es un aspecto esencial en las políticas europeas y actualmente España tiene escasos kilómetros de vía en ancho estándar<sup>5</sup> (1.435 mm), junto con la red mixta, esto se aleja de una red interoperable entre los miembros de la Unión Europea, ya que la gran mayoría de los países europeos poseen ancho estándar en sus infraestructuras.

Esta posición de Europa de establecer una red interoperable con un único ancho de vía (1435 mm) no se encuentra fácilmente en leyes, reales decretos o reglamentos europeos, pero cabe destacar que el Reglamento 1299/2014 (Comisión Europea, 2014)<sup>6</sup>, cita que el ancho de vía estándar europeo será el de 1435 m. Asimismo, según el Real Decreto 2016/797 (Parlamento Europeo y del Consejo, 2016b), que es una ley que regula los requisitos que tienen que cumplirse para lograr la interoperabilidad en el sistema de la Unión, así como el desarrollo del transporte con terceros países, no es de aplicación a los trenes con un ancho de vía diferente del de la red ferroviaria principal de la Unión Europea, considerando ese ancho principal como el ancho estándar.

A continuación, se expone un gráfico de anillos sobre los datos totales de los anchos de vías entre Adif y Adif Av.



*Ilustración 17. Porcentaje de anchos de vías en la RFIG. (Elaboración propia)*

<sup>5</sup> También conocido como ancho internacional. Ambos términos se utilizan para describir un ancho de vía de 1.435 mm.

<sup>6</sup> El Reglamento (UE) n.º 1299/2014 ha sido modificado por el Reglamento de Ejecución (UE) 2023/1694 (Comisión Europea, 2023), emitido el 10 de agosto de 2023, pero en lo que concierne al tema tratado no ha sido modificado.

Como se puede apreciar, en torno al 69% de las vías en la RFIG poseen ancho ibérico, aspecto fundamental para la determinación de los gálibos ferroviarios, ya que, para definir los gálibos, el ancho juega un papel importante, y por consiguiente el ancho ibérico, al tener mayor separación entre carriles es más restrictivo.

Como se ha comentado, la gran mayoría de la red se encuentra en ancho ibérico, pero a esto se le añade que actualmente Adif está impulsando el tráfico de mercancías a través de las denominadas Autopistas Ferroviarias mediante las diferentes estrategias y planes que hemos podido comprobar en los apartados anteriores, como la “Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030”(Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible., 2021).

Este nuevo paradigma de las Autopistas Ferroviarias permite configurar trenes de mayor envergadura cumpliendo los estándares de interoperabilidad de la Unión Europea, siendo un aspecto crucial el término de gálibo, debiendo asegurar la continuidad de la circulación de los trenes de mayor extensión que recorrerán los corredores ferroviarios de mercancías.

Los gálibos necesarios para prestar estos servicios son superiores al gálibo histórico GHE16 y también al GEB que define la “Instrucción Ferroviaria de Gálibos”(Ministerio de Fomento, 2015a), que veremos en adelante.

#### 5.1.4. Registro de Infraestructura

Haciendo hincapié en los gálibos, cabe señalar que actualmente no hay publicado en España un inventario de los gálibos de túneles, pasos superiores, etc donde se tenga la información necesaria para poder determinar si cumple con el gálibo existente o, si por el contrario será necesario realizar actuaciones de ampliación, ripado y/o centrado de la vía, o incluso un rebaje de la plataforma, en túneles, pasos superiores, etc para poder adecuar la red a estas nuevas estrategias.

Esta información, sería muy relevante para determinar las actuaciones de los proyectos o incluso conociendo las características de la línea, en particular las del gálibo, se obtendría un ahorro del coste en planificar y estimar las diferentes actuaciones de mejora de la red que se pretendan proponer, así como plantear y proyectar desde un inicio con la información necesaria.

Por consiguiente y tratando el aspecto de los gálibos, la “Instrucción Ferroviaria de Gálibos” (Ministerio de Fomento, 2015a), hace mención de este inventario o registro de infraestructura, el cual, especificará los gálibos de cada línea o sección de la línea.

Por otro lado, según el Reglamento (UE) 2019/777 (Comisión Europea, 2019), se determina que la agencia deberá crear y mantener una aplicación web («aplicación del Registro de la Infraestructura»), más conocida como la RINF, para la publicación de la infraestructura de cada uno de los Estados miembros, de tal modo que se tengan registradas todas las infraestructuras para que cualquier operador conozca las especificaciones de cada línea.

Asimismo, se cita que los administradores de cada estado miembro deberán designar a una entidad nacional que se encargará de recoger e insertar los datos en la aplicación del Registro de la

Infraestructura antes del 1 de enero de 2021. Dicha actualización de los datos, deberá registrarse conforme a unos estándares y parámetros definidos por Europa, para el caso que nos atañe, el registro de gálibos se identificada dentro del capítulo 1.2.1.0.3 Trazado de la línea, definido en el Anexo del citado reglamento.

Siguiendo el hilo de este Reglamento (UE) 2019/777, se hace mención al artículo 49 de la Directiva (UE) 2016/797 (Parlamento Europeo y del Consejo, 2016a), esto quiere decir, que ya en 2016 se estableció la idea de publicar un registro de infraestructuras en el que figurasen los diferentes datos de los parámetros de red de cada subsistema.

Europa por su parte, ha creado el denominado “Registers of Infrastructure (RINF)”<sup>7</sup>, la aplicación de internet mencionada anteriormente, donde se puede obtener la guía de aplicación (European Union Agency for Railways (ERA), 2023), así como un archivo xsd (XML Schema Definition) que permite a los administradores validar y verificar los datos introducidos según un conjunto de reglas ya predefinidas, ya que, en caso de fallo, los datos serán rechazados. De esta manera, los usuarios (es decir, los fabricantes, las empresas ferroviarias, las autoridades nacionales de seguridad, etc) pueden abrir un navegador web y conectarse al sistema RINF a través de HTTP obteniendo los datos necesarios. (European Union Agency for Railways (ERA), 2023)

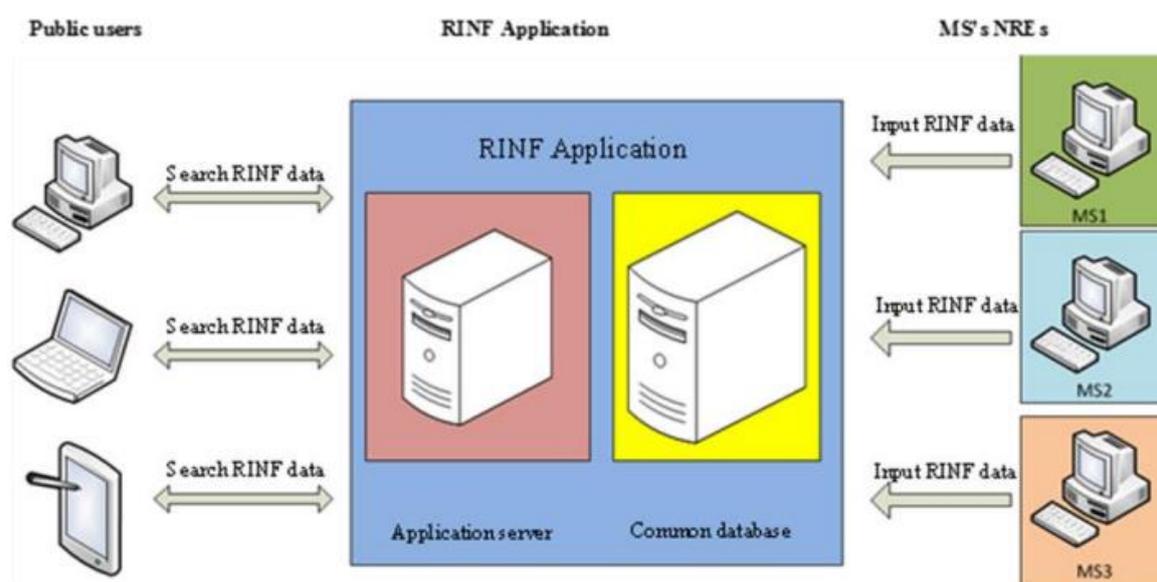


Ilustración 18. Sistema RINF. (European Union Agency for Railways (ERA), 2023)

Por otra parte, se puede hablar de nuestro vecino francés, la SNCF (Société nationale des chemins de fer français), es decir el administrador de infraestructuras francés, el cuál posee una declaración sobre la red (SNCF Réseau., 2023b) que contiene la información necesaria para las empresas

<sup>7</sup> Registros de Infraestructuras (RINF) | Agencia Ferroviaria de la Unión Europea (europa.eu)

## Marco regulatorio y planificación ferroviaria en España y Europa

ferroviarias y otros candidatos que deseen utilizar la red ferroviaria francesa para prestar servicios de transporte de pasajeros y mercancías.

Además de la declaración de red, el administrador francés, tiene inventariado su infraestructura, y más en concreto, los gálibos de toda su red, esto es que tiene un registro de los gálibos de su red, de tal manera que la información que se nos brinda sea práctica y útil.

Esta información actualizada, y en concreto el registro de gálibos, es fundamental para facilitar la transparencia de información y de gestión de la infraestructura, evitando ocasionar pérdidas económicas o retrasos como ocurrió con el caso tratado de Asturias y Cantabria.

Estos mapas son accesibles para todo el mundo, ya sean personas particulares, empresas operadoras, que tendrán desde el primer minuto la información correcta del tramo de actuación, o la propia administración ferroviario, que lo utilizará para consultar todos estos datos.

Además, al hacer público esta información, se facilita la colaboración entre diferentes entidades, como gobiernos, empresas, etc así como, fomentar la investigación y la innovación de los investigadores y desarrolladores.

### GABARIT LIMITE DES OBSTACLES HAUTS (VOYAGEURS)

SITUATION JANVIER 2023

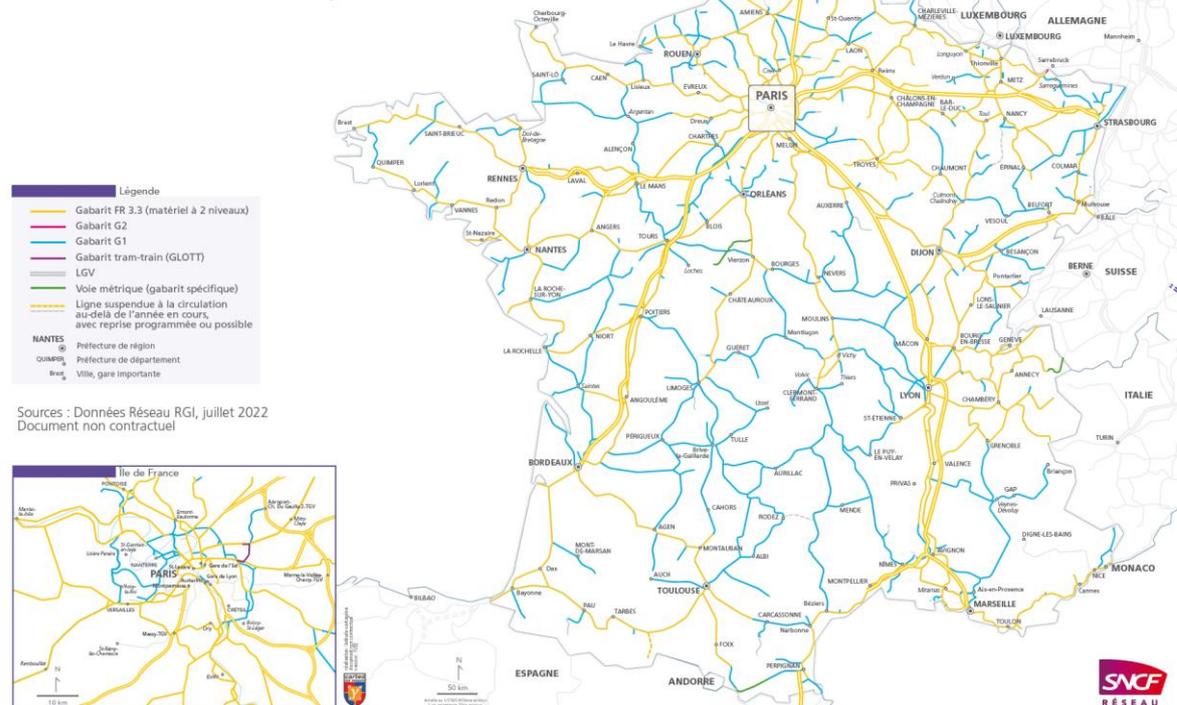


Ilustración 19. Mapa de gálibo límite para obstáculos elevados (viajeros). (SNCF Réseau., 2023a)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

### GABARIT LIMITE DES OBSTACLES HAUTS (FRET)

SITUATION SEPTEMBRE 2023

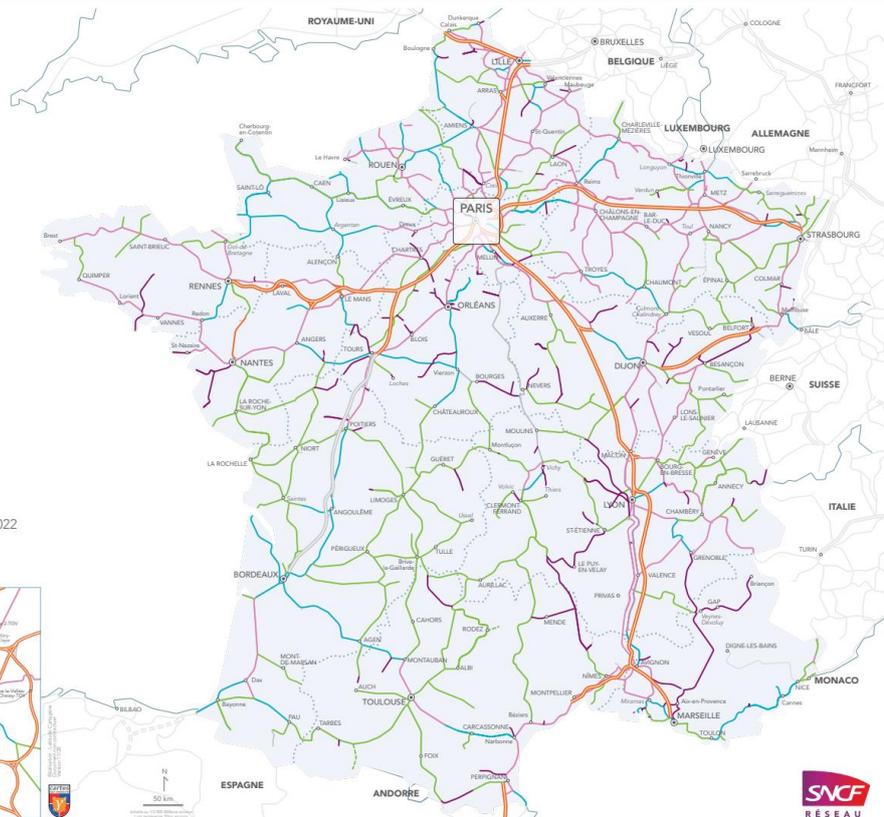
Sources : Données Réseau RGI, septembre 2022  
Document non contractuel

Ilustración 20. Mapa de gálibo límite para obstáculos elevados (mercancías). (SNCF Réseau., 2023a)

Por este motivo, se aprecian diferencias de accesibilidad y transparencia de información entre el modelo español y el francés, ya que no se encuentra publicado en España un registro de infraestructura en materia de gálbos, esto es necesario para poder implantar las actuaciones necesarias y conocer que medidas llevar a cabo, que se deberán de estudiar a través de una innovadora técnica de nube de puntos y que inicialmente se deberá conocer el término del gálibo con mayor detalle y la importancia de analizarla, primeramente, para verificar la correcta circulación del material rodante que se quiere hacer pasar por la línea existente y posteriormente, para poder potenciar el transporte ferroviario de mercancías como se han ido mencionado en las diferentes estrategias y planes.

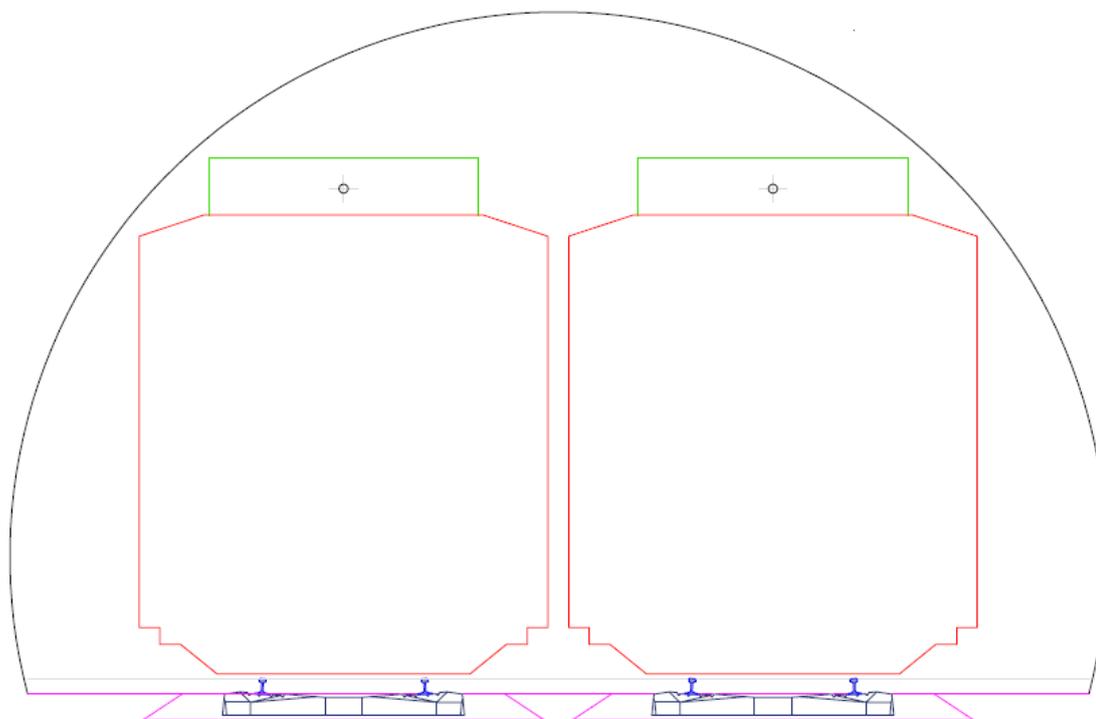
## 5.2. Gálbos Ferroviarios

Tal y como se ha venido comentando en el presente TFM, el objetivo principal es determinar el gálibo ferroviario por medio de una metodología basada en el cálculo de los gálbos ferroviarios mediante un enfoque innovador con nubes de puntos. Es por ello, que, para proseguir esta investigación, se ha de entender el concepto de gálibo ferroviario, que iremos profundizando según avanzamos en el TFM.

*Innovación en la determinación de gálbos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Los gálibos ferroviarios son los límites dimensionales que definen el espacio necesario para la circulación del material rodante y la instalación de diferentes elementos de la infraestructura ferroviaria a lo largo de la vía.

En ellos se establecen las dimensiones mínimas que deben cumplir tanto el material rodante como la vía y sus elementos adyacentes.



*Ilustración 21. Sección ejemplo de Gálibo Ferroviario. (Elaboración propia)*

Por lo tanto, un gálibo ferroviario se considera como el contorno de referencia, más unas reglas asociadas, que debe respetarse para garantizar la correcta circulación de los vehículos ferroviarios e impedir que estos interfieran con la infraestructura, permitiendo definir la altura y la anchura con la que deben de fabricarse los vehículos, lo que se denomina como “gálibo del material rodante”, el perfil fuera del cual deben instalarse los diferentes elementos fijos o provisionales, calificado como “gálibo de implantación de obstáculos”, y el perfil del cargamento o “gálibo de cargamento” (Ministerio de Fomento, 2015a).

Por consiguiente, se pueden distinguir a grandes rasgos, tres tipos fundamentales de gálibos:

- Gálibo del Material Rodante
- Gálibo de Implantación de Obstáculos
- Gálibo de Cargamento

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

A continuación, se expone en forma de tabla, los gálibos esenciales que se tienen en cuenta conforme a la “Instrucción de Gálibos Ferroviarios” definida en la Orden FOM/1630/2015, en la que nos apoyaremos a lo largo del TFM.

Cabe señalar que los gálibos definidos por la IFG, son los mismos que se mencionan en la Declaración de Red.

*Tabla 8. Gálibos según la “Instrucción de gálibos ferroviarios”.(Ministerio de Fomento, 2015a)*

Declaración de red 2024		
<b>Gálibo</b>	Contorno de referencia, más unas reglas asociadas, que permiten definir el perfil constructivo máximo del material rodante, el perfil del cargamento y el perfil fuera del cual deben instalarse las estructuras fijas o provisionales.	
<b>TIPOS</b>	<b>Gálibo del material rodante</b>	Contorno de referencia cinemático, más unas reglas que definen las reducciones a aplicar a dicho contorno. Estas reducciones son función de las características geométricas del material, de la posición de la sección en relación a los ejes, de la altura del punto considerado en relación al plano de rodadura, de las holguras de construcción, de los desgastes máximos previstos y de las características elásticas de la suspensión.
	<b>Gálibo de implantación de obstáculos</b>	Espacio en torno a la vía, que no debe ser invadido por ningún objeto u obstáculo, ni por vehículos que circulen sobre vías adyacentes, al objeto de preservar la seguridad en la explotación.
	<b>Gálibo de cargamento</b>	Contorno de referencia estático más unas reglas que definen las reducciones a aplicar a dicho contorno. El contorno resultante define el espacio que no debe superar ni el cargamento, ni los teleros o paredes laterales de los vagones utilizados para la carga.

Es por ello, que será necesario estudiar los diferentes gálibos y sus dimensiones, para comprobar la compatibilidad de la infraestructura y el material rodante que se quiere hacer pasar por la línea, ya sea en túneles, pasos superiores...etc, todo ello a través de la metodología que desarrollaremos en el capítulo 2 y con la ayuda de la tecnología de nube de puntos, que permitirá definir con gran precisión la geometría del túnel existente.

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

De esta manera, se podrá determinar el gálibo existente del túnel y definir las secciones transversales a una distancia deseada.

Además, en los casos donde no se cumpla con el gálibo ferroviario, ya sea en tramos particulares o que se pretenda definir un gálibo ferroviario mayor al existente, se podrá determinar las actuaciones necesarias de ampliación en puntos singulares o en el tramo completo del túnel, así como incluir actuaciones de renovación.

Para darle un aspecto visual y esquemático a los gálbos considerados en la Instrucción, se muestra lo siguiente:

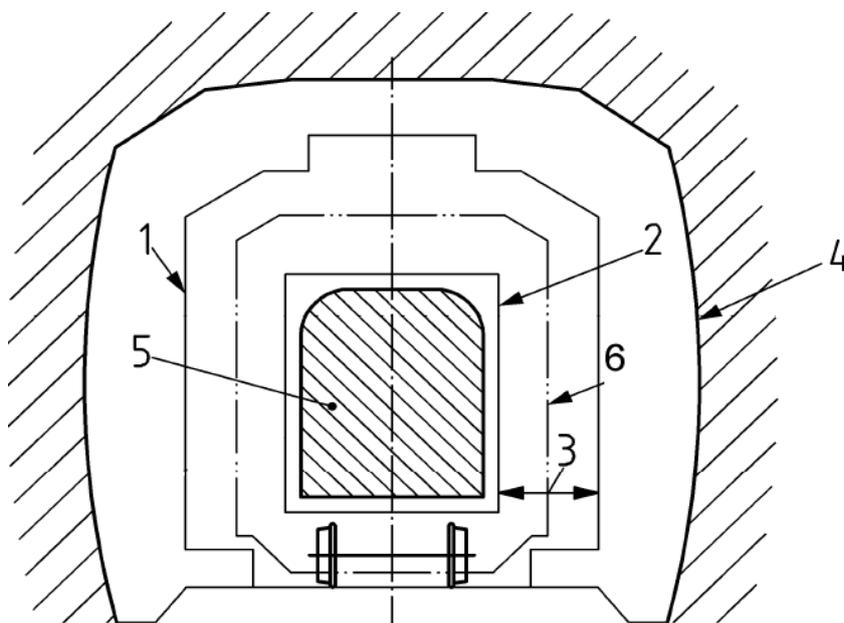


Ilustración 22. Gálbos considerados. (Ministerio de Fomento, 2015a)

Siendo:

- (1) Gálibo de implantación de obstáculos
- (2) Perfil constructivo máximo del material
- (3) Suma de los movimientos del vehículo y de los fenómenos de interacción con la infraestructura
- (4) Infraestructura
- (5) Vehículo
- (6) Contorno de referencia

*Innovación en la determinación de gálbos ferroviarios mediante nube de puntos.*

### 5.2.1. Normativa de Gálbos

La normativa referente a gálbos que hay que cumplir queda resumida en la siguiente tabla:

*Tabla 9. Normativa de Gálbos Ferroviarios. (Elaboración propia)*

**Orden FOM/1630/2015**, de 14 de julio, por la que se aprueba la «Instrucción ferroviaria de gálbos».

**Nota aclaratoria sobre la aplicación de la Orden FOM/1630/2015**, de 14 de julio, por la que se aprueba la Instrucción Ferroviaria de Gálbos

**UNE-EN 15273-1:2013+A1:2017**. Parte 1: Generalidades. Reglas comunes para infraestructura y material rodante.

**UNE-EN 15273-2:2013+A1:2017**. Parte 2: Gálbos de material rodante.

**UNE-EN 15273-3:2013+A1:2017**. Parte 3: Gálbo de implantación de obstáculos.

**REGLAMENTO (UE) N° 1299/2014** DE LA COMISIÓN de 18 de noviembre de 2014 relativo a las especificaciones técnicas de interoperabilidad del subsistema «infraestructura» en el sistema ferroviario de la Unión Europea

**REGLAMENTO DE EJECUCIÓN (UE) 2023/1694** DE LA COMISIÓN de 10 de agosto de 2023 por el que se modifican los Reglamentos (UE) n.º 321/2013, (UE) n.º 1299/2014, (UE) n.º 1300/2014, (UE) n.º 1301/2014, (UE) n.º 1302/2014 y (UE) n.º 1304/2014 y el Reglamento de Ejecución (UE) 2019/777.

**Orden TMA/135/2023**, de 15 de febrero, por la que se aprueban la instrucción ferroviaria para el proyecto y construcción del subsistema de infraestructura (IFI) y la instrucción ferroviaria para el proyecto y construcción del subsistema de energía (IFE) y se modifican la Orden FOM/1630/2015, de 14 de julio, por la que se aprueba la Instrucción ferroviaria de gálbos y la Orden FOM/2015/2016, de 30 de diciembre, por la que se aprueba el Catálogo Oficial de Señales de Circulación Ferroviaria en la Red Ferroviaria de Interés General.

**NAG 5-1-0.0** “Gálbos autopista ferroviaria”

Aludiendo al concepto de gálbo, nos basaremos en lo que se indica en la “Instrucción ferroviaria de gálbos” (Ministerio de Fomento, 2015a), ya que, todas las normativas mencionadas hacen referencia a dicha instrucción.

El objeto de esta Instrucción es definir los gálbos a considerar, tanto en la construcción de vehículos (gálbo del material rodante), como en la colocación de elementos próximos a la vía (gálbo de

implantación de obstáculos). A su vez, se definen los gálibos de cargamento en vagones abiertos, así como las distancias mínimas que el cargamento debe mantener con las paredes laterales o teleros de los vagones de carga.

El cumplimiento de esta Instrucción garantiza la seguridad de la circulación ferroviaria en los distintos tráficos, al evitarse las interferencias entre los vehículos, y de éstos con la infraestructura del ferrocarril.

Además, esta instrucción se ha redactado en coherencia con la norma de gálibos EN 15273:2013, que actualmente se encuentra derogada y sustituida por la versión UNE-EN 15273-1:2013+A1:2017 (CTN 25 - CETREN, 2017), pero a tales efectos esta norma UNE respeta las especificaciones técnicas de interoperabilidad de los subsistemas de infraestructura, material rodante y energía de los sistemas ferroviarios transeuropeos de alta velocidad y convencional. (Ministerio de Fomento, 2015a)

La Orden TMA/135/2023 (Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible, 2023) merece también un comentario, ya que introduce modificaciones a la Orden FOM/1630/2015 por la que se aprueba la Instrucción Ferroviaria de Gálibos.

Las modificaciones se centran en aspectos relacionados con el hecho de aplicar normativas a líneas que han sido objeto de renovación y a sustituciones efectuadas en el marco de tareas de mantenimiento. Se precisa el papel de la Autoridad Ferroviaria y del administrador de infraestructuras en lo relativo a la fijación de gálibos en circunstancias excepcionales. Pero en general, en la Orden TMA/135/2023, en los apartados 2.2.1 y 4.1.2.2, donde se hace referencia a los gálibos, aluden a los definidos en la Instrucción Ferroviaria de Gálibos de la Orden FOM 1630/2015.

Por otro lado, nos encontramos con la norma NAG 5-1-0.0 “Gálibos autopista ferroviaria” (ADIF, 2021) donde se definen nuevos gálibos de autopista ferroviaria, que tienen en cuenta las ocupaciones tanto del vagón como de la carga. En este documento, que explicaremos más adelante, se desarrollan los gálibos para autopista ferroviaria tanto en ancho ibérico como internacional para cargamentos P400, P410 y P420 bajo unas determinadas premisas, resultando los gálibos AF 4.0-IP, AF 4.1- IP y AF 4.2-IP para ancho ibérico, y los gálibos AF 4.0-EP, AF 4.1- EP y AF 4.2-EP para ancho estándar.

Estos nuevos gálibos de autopista ferroviaria son superiores al gálibo histórico GHE16 y también al GEB16, pero inferiores al gálibo GEC16, todos ellos definidos para el ancho ibérico en la Instrucción de Gálibos que veremos a continuación. Lo mismo ocurre en el caso de ancho estándar, los gálibos de autopista ferroviaria son superiores al gálibo histórico GEC14 o GE14 y también al GB, pero inferiores al gálibo GC.

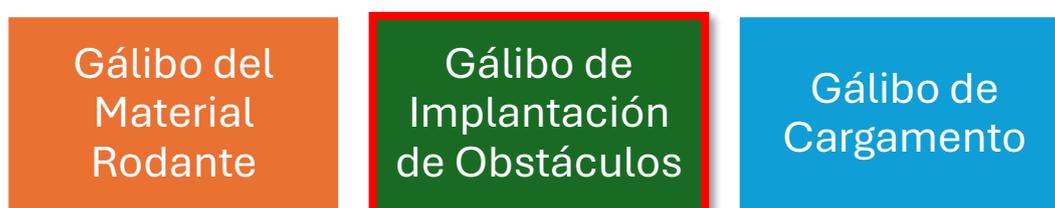
Pero estos gálibos de autopista ferroviarias tienen la particularidad de que no son interoperables, debido a que no siguen las definiciones establecidas por Europa, lo que significa que no son compatibles con las redes ferroviarias ni el material rodante de otros países vecinos. Por lo tanto, también tendremos en cuenta este tipo de gálibos en el TFM y el porqué de su existencia para dar servicio a las denominadas autopistas ferroviarias.

### 5.2.2. Gálbos considerados según la “Instrucción Ferroviaria de Gálbos”

Como ya se ha mencionado, el conjunto de los gálbos tiene varios tipos, contornos, reglas asociadas...etc, esto resulta algo tedioso de analizar, por lo que, se dará otro enfoque para lograr entender todos y cada uno de los tipos.

La Instrucción Ferroviaria de Gálbos define en su apartado 2 el Gálbo de Material Rodante, dentro de este, se especifican las reglas asociadas (reducciones, desplazamientos, etc), los cálculos, fórmulas y consideraciones, para obtener según el ancho, el contorno de referencia y el gálbo del material rodante.

De esta misma manera se establecen en la Instrucción el Gálbo de Implantación de Obstáculos y el Gálbo de Cargamento, en el apartado 3 y 4 respectivamente.



*Ilustración 23. Esquema de Gálbos que establece "Instrucción de Gálbos Ferroviarios" Orden FOM 1630/2015. (Elaboración propia)*

En este TFM, nos centraremos en los gálbos de implantación de obstáculos (G.I.O.) que serán necesarios para el desarrollo de la metodología propuesta con nube de puntos.

Asimismo, este gálbo de implantación de obstáculos es el que se deberá tener en cuenta para enfrentarse con la infraestructura existente, comprobando las colisiones y verificando si cumple o no cumple, en caso de no cumplir, se llevarán a cabo las medidas necesarias para alcanzar el espacio libre de obstáculos, esto se alinea con el objetivo del TFM.

Por otro lado, se abordarán el resto de los gálbos incluidos en la Instrucción, con el objetivo de entender el conjunto de los gálbos.

#### 5.2.2.1. Contorno de Referencia

En primer lugar, trataremos el contorno de referencia, ya que, para cada gálbo se establece un contorno de referencia. A partir de este contorno de referencia más unas reglas asociadas, se encuentra el gálbo de material rodante y el gálbo de implantación de obstáculos, los tipos que ya hemos descrito en el apartado 5.2.

Por lo tanto, el contorno de referencia se refiere a unas dimensiones iniciales, fijando la base para cada tipo de gálbo y estableciendo las dimensiones mínimas que debe de cumplir, para que,

sumadas a unas reglas asociadas, que contemplan holguras y desplazamientos, etc, se obtengan los diferentes gálibos.

Asimismo, el contorno define el espacio que no debe superar el perfil constructivo del material rodante.

A continuación, se exponen los contornos de referencia considerados en la Instrucción:

Tabla 10. Contornos de Referencia. (Ministerio de Fomento, 2015a)

ANCHO DE VÍA		1668 mm	1435 mm	1000 mm
PARTES ALTAS	NUEVOS	GEA16	GA	GED10
		GEB16	GB	GEE10
		GEC16	GC	
	HISTÓRICOS	GHE16 <sup>8</sup>	GEC14 <sup>9</sup>	
			GE14 <sup>10</sup>	
PARTES BAJAS		GEI1	GI1	GEE10
		GEI2	GI2	
		GEI3	GI3	

Destacar que el contorno de referencia G1 (para ancho estándar), se define en la norma EN 15273-3:2013 y su nueva modificación en la versión A1:2017.

Para comprender la diferencia entre partes altas y partes bajas, tendremos que demostrarlo con la Orden TMA 135/2023 donde se menciona:

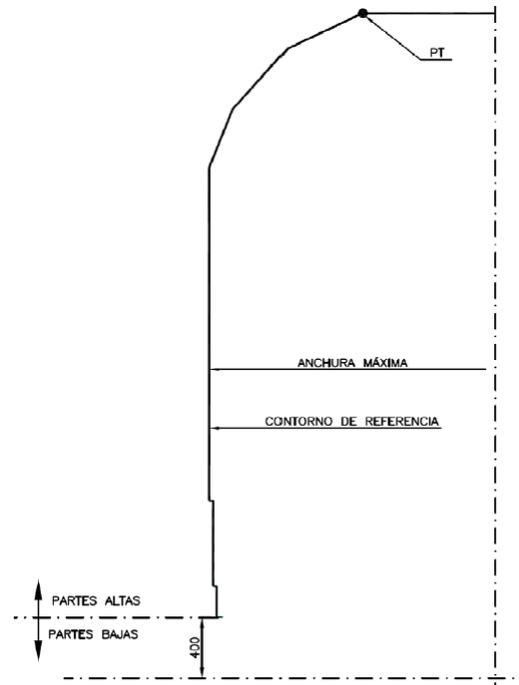
- *“La parte alta del gálibo se corresponde con los puntos del contorno de referencia situados a una altura superior a 0,40 m respecto el plano de rodadura.*

<sup>8</sup> Definido en la Instrucción de gálibos de 1.985

<sup>9</sup> Empleado en la línea Madrid - Sevilla

<sup>10</sup> Definido en el documento del GIF “Criterios técnicos y normas de explotación. Sistema de gálibos ferroviarios en las nuevas líneas de Alta Velocidad”

- *La parte baja del gálibo se corresponde con los puntos del contorno de referencia situados a una altura igual o inferior a 0,40 m respecto el plano de rodadura.”(Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible, 2023)*



*Ilustración 24. Diferencia entre partes altas y partes bajas. (Ministerio de Fomento, 2015a)*

Los gálibos se denominan mediante unas siglas cuyo significado es el siguiente:

*Tabla 11. Nomenclatura de gálibos y su significado. (Ministerio de Fomento, 2015a)*

SIGLAS	
<b>G</b>	Gálibo
<b>H</b>	Histórico
<b>E</b>	Español
<b>A</b>	Gálibo envolvente del gálibo GA
<b>B</b>	Gálibo envolvente del gálibo GB
<b>C</b>	Gálibo envolvente del gálibo GC
<b>E</b>	Eléctrico
<b>D</b>	Diesel

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Las dos cifras que se aprecian en el ancho ibérico y métrico corresponden con el ancho redondeado en decímetros. Para los gálibos europeos (G1, GA, GB y GC) se omite el ancho al tratarse de gálibos interoperables, por consiguiente, los gálibos interoperables corresponden con anchos estándares (1435 mm).

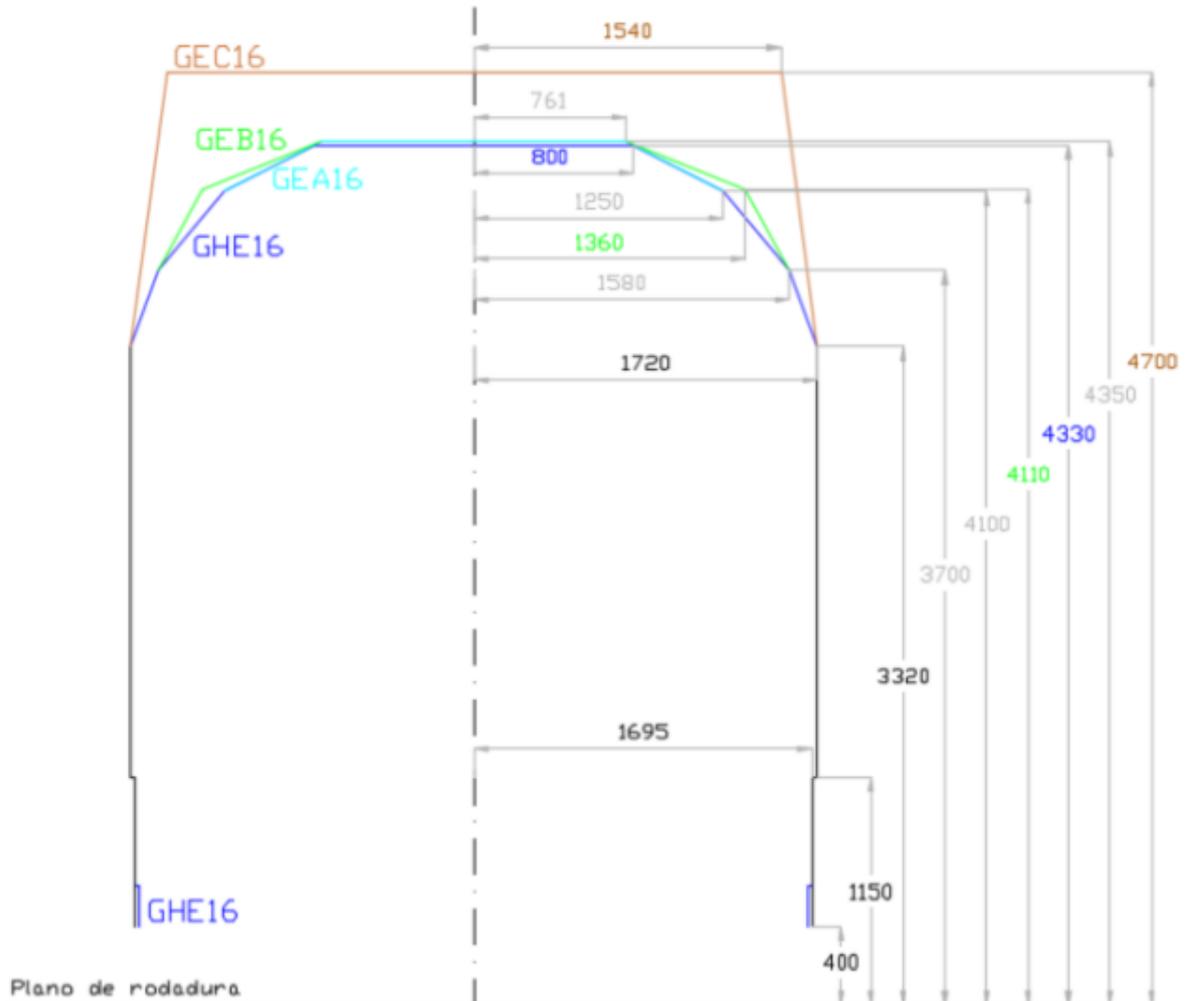


Ilustración 25. Contornos de referencia de gálibo cinemático de ancho ibérico: GHE16, GEA16, GEB16 y GEC16. (ADIF, 2021)

Como se puede apreciar, el GHE16 y el GEA16 son similares, pero con algunas diferencias. El GHE16 se estrecha en la parte inferior, mientras que el GEA16 es ligeramente más alto, con una altura igual a la del GEB16, siendo 2 centímetros más alto que el GHE16.

Para el caso de ancho estándar, ocurre algo similar, pues la altura del GA es la misma que para el GB, con la diferencia en el estrechamiento en la parte superior.

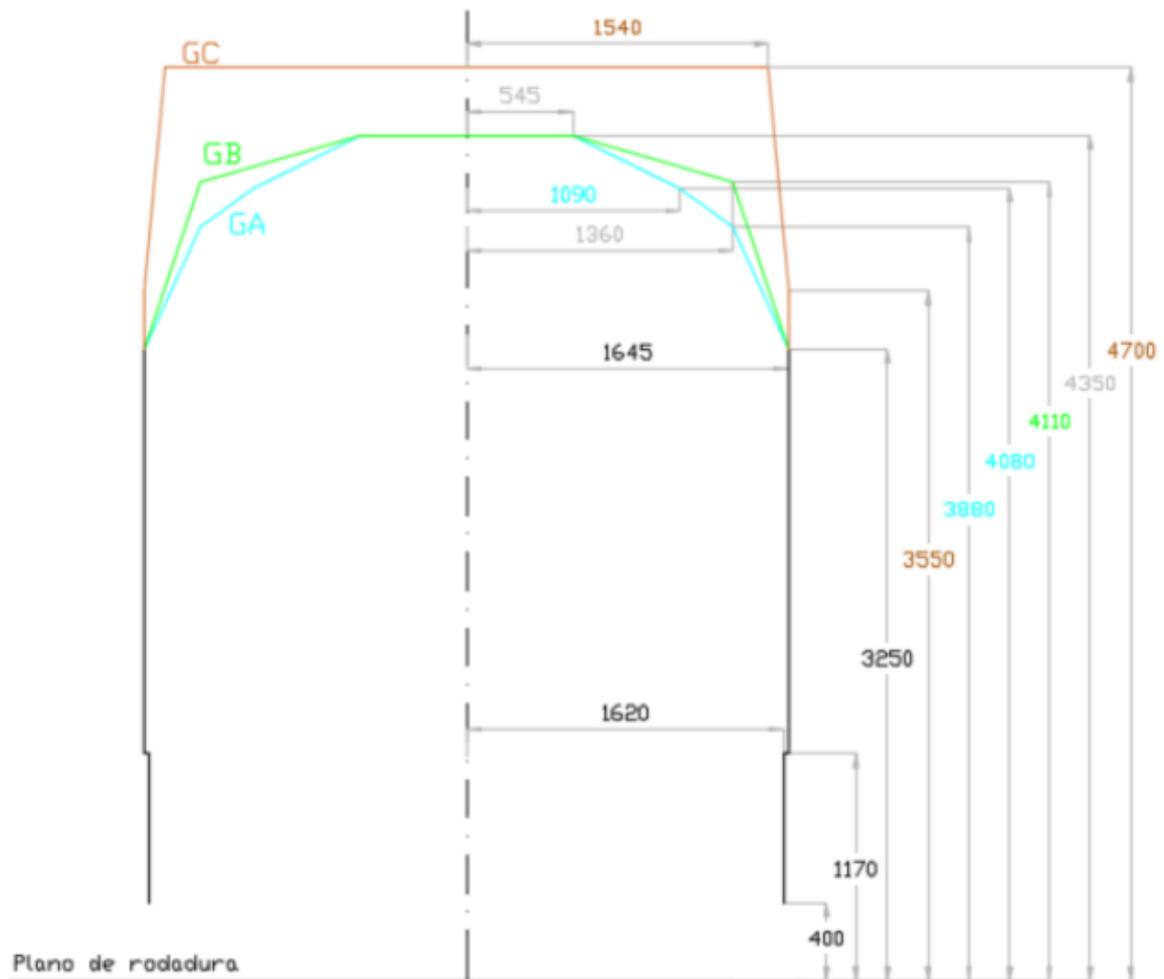


Ilustración 26. Contornos de referencia de gálibo cinemático ancho estándar: GA, GB y GC. (ADIF, 2021)

### 5.2.2.2. Gálibo de Implantación de Obstáculos

Como ya se ha mencionado anteriormente, se tratará con mayor detenimiento este tipo de gálbos, siendo el Gálibo de Implantación de Obstáculos, el espacio que no debe ser invadido por ningún obstáculo ni vehículo. Se determina a partir de los diferentes contornos de referencia y mediante la aplicación de unas reglas asociadas que contemplan los desplazamientos laterales y verticales del vehículo.

Dentro de este tipo, se consideran tres subtipos de Gálibo de Implantación de Obstáculos.

- Gálibo límite I.O.
- Gálibo Nominal I.O.
- Gálibo Uniforme I.O.

*Innovación en la determinación de gálbos ferroviarios mediante nube de puntos.*

A continuación, se expone una ilustración de los gálbos de implantación de obstáculos considerados, donde se establecen unas ordenes de magnitud de manera visual y esquemática.



*Ilustración 27. Sección ejemplo de gálbos de implantación de obstáculos. (Elaboración propia)*

Como se puede apreciar, el contorno de referencia es la dimensión más pequeña, posteriormente, con mayor longitud se encuentran el gálibo límite, después a este le sigue el gálibo nominal, mientras que el gálibo con las dimensiones más grandes es el gálibo uniforme, este último, se considera para lo largo de toda la línea y en situaciones específicas puede coincidir con el gálibo nominal.

Cabe destacar que en todo proyecto constructivo, ya sea de nueva construcción o acondicionamiento, se deberá indicar el gálibo de implantación de obstáculos que se implantará en la línea o tramo afectado.

#### 5.2.2.2.1. Gálibo límite de implantación de obstáculos y gálibo nominal de implantación de obstáculos

Una vez que ya tenemos definidos los diferentes contornos de referencia, señalar que, para cada gálibo, se establece un gálibo límite de implantación de obstáculos y un gálibo nominal de implantación de obstáculos, esto viene en relación con los dos primeros tipos de G.I.O. que se mencionaron.

El gálibo límite de implantación de obstáculos corresponde con el espacio que no debe invadir ningún obstáculo en circunstancia alguna, más una reserva para considerar las variaciones tolerables de la posición de la vía que se producen entre dos operaciones normales de mantenimiento, mientras que el gálibo nominal de implantación de obstáculos, además de incluir

lo mencionado en el gálibo límite, comprende los márgenes para futuros incrementos de velocidad, paso de transporte excepcional, etc., por lo que el gálibo nominal de implantación de obstáculos será mayor que el límite.

Estas dos tipologías, independientemente de sus diferencias, pueden emplearse tanto en un punto concreto de una línea como para un tramo de la línea.

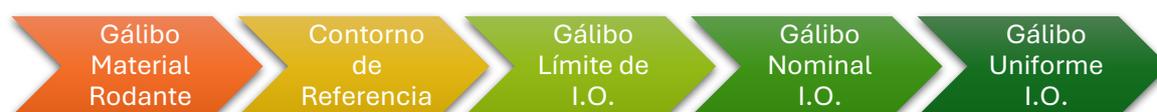
#### 5.2.2.2.2. Gálibo uniforme de implantación de obstáculos

Puede darse el caso, de que en una misma línea se tengan diferentes gálbos nominales, debido a la variedad de las infraestructuras, la distinta orografía del entorno, etc, por lo que, para evitar tener gálbos nominales distintos a lo largo de la línea, se establece un gálibo uniforme de implantación de obstáculos lo suficientemente desfavorable, para que no se superen en la mayor parte de la línea, de tal manera que permite aplicar un único gálibo a toda la línea, y que en general, es el que se deberá aplicar en líneas nuevas o acondicionadas.

En ocasiones excepcionales en las que no sea posible implantar el gálibo de implantación de obstáculos, como resultado de condicionantes técnicos o económicos, ADIF podrá conceder en algunos tramos de la línea, un gálibo límite o nominal de implantación de obstáculos obtenido a partir de los parámetros de trazado de ese tramo, siempre y cuando se justifique los condicionantes. (Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible, 2023)

Como ya se ha indicado, en general se respeta el gálibo uniforme de implantación de obstáculos que es el que presenta mayores márgenes, a tales efectos, este gálibo es el que consideraremos para la metodología y en el presente TFM, como el gálibo de referencia.

Para mayor detalle de los diferentes gálbos, se representa un esquema de los gálbos ya mencionados de menor a mayor.



*Ilustración 28. Gálbos de menor a mayor según la Instrucción Ferroviaria de Gálbos. (Elaboración propia)*

Una vez comprendido y pautado los diferentes gálbos, se discierne el gálibo de implantación de obstáculos entre partes altas y partes bajas, que como se ha comentado anteriormente, las partes altas son las que se sitúan a una altura superior a los 0,40 cm del plano de rodadura, mientras que por debajo o igual de este, corresponde con las partes bajas.

Los gálibos uniformes de implantación de obstáculos a respetar en partes altas dependiendo del ancho de vía son los siguientes:

Tabla 12. Gálibos uniformes de implantación de obstáculos en partes altas a considerar en cada tipo de línea. (Ministerio de Fomento, 2015a)

ANCHO DE VÍA	1668 mm	1435 mm	1000 mm
LÍNEAS NUEVAS <sup>11</sup>	GEC16	GC	GEE10
LÍNEAS ACONDICIONADAS <sup>12</sup>	GEC16 GEB16 <sup>(1)</sup>	GC GB <sup>(2)</sup>	GEE10 GED10 <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> La Autoridad Ferroviaria podrá autorizar el gálibo GEB16 cuando mediante un estudio de viabilidad técnica y económica se demuestre la no conveniencia del gálibo GEC16. (Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible, 2023)

<sup>(2)</sup> La Autoridad Ferroviaria podrá autorizar el gálibo GB cuando mediante un estudio de viabilidad técnica y económica se demuestre la no conveniencia del gálibo GC. (Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible, 2023)

<sup>(3)</sup> En los proyectos de líneas acondicionadas, el gálibo uniforme de implantación de obstáculos será el GEE10, no obstante, la Autoridad Ferroviaria podrá autorizar, previo informe que lo justifique por condicionantes técnicos o económicos, el gálibo de implantación de obstáculos GED10 (uniforme, nominal o límite), calculado con las características del tramo, o incluso mantener las condiciones existentes cuando no se cumpla el gálibo límite GED10, previa consulta de las empresas ferroviarias que ya operen o tengan previsto operar. (Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible, 2023)

Las actuaciones en las líneas existentes, como la implantación o modificación de la posición de elementos respecto a la vía (por ejemplo, infraestructura, electrificación o instalaciones de seguridad y comunicaciones), se realizarán de acuerdo con el gálibo uniforme de implantación de obstáculos indicado en la tabla 13 para líneas acondicionadas.

<sup>11</sup> Líneas ferroviarias de nueva construcción.

<sup>12</sup> Se considera como “acondicionamiento de una línea existente”, cualquier actuación de mejora de ésta que incremente alguno de sus parámetros característicos (gálibo, carga por eje admisible, velocidad o longitud máxima permitida de tren) o bien su capacidad. (Ministerio de Fomento, 2015a)

Por lo tanto, apreciando la tabla 13 de partes altas, tanto para líneas nuevas como acondicionadas, se deberá respetar el gálibo GEC16, GC o GEE10, en función del ancho, salvo que un estudio de viabilidad técnica y económica manifieste la no conveniencia de dicho gálibo, que en esos casos, se proyectarán gálibos GEB16, GB o GED10.

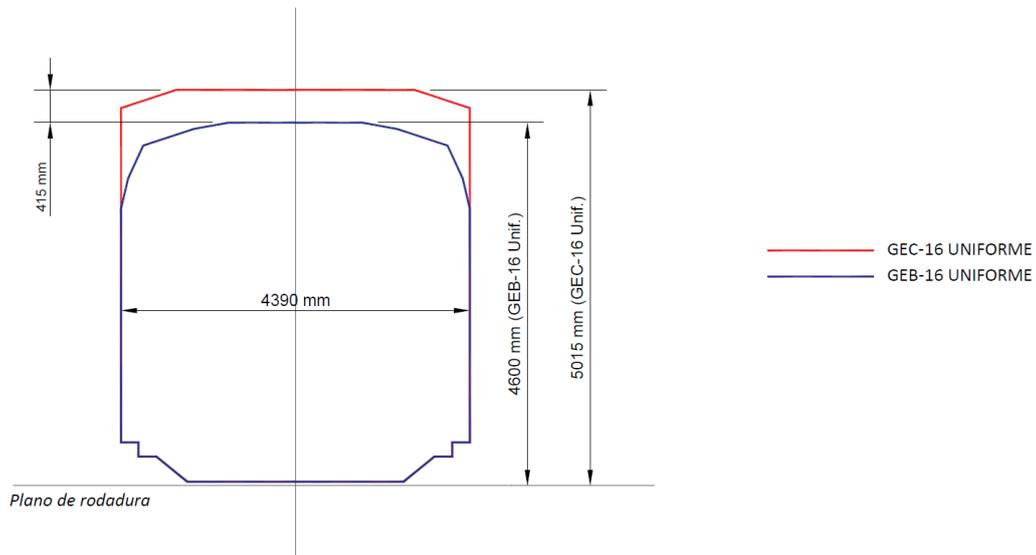


Ilustración 29. Gálibo Uniforme de Implantación de Obstáculos de partes altas: GEC16 vs GEB16. (Elaboración propia)

Como se puede apreciar en la Ilustración 30, en la que se compara los gálibos en ancho ibérico, los gálibos cuya nomenclatura contiene la letra "C" son los que representan un mayor gálibo frente al resto.

Del mismo modo ocurre para el ancho estándar, como se puede distinguir en la ilustración siguiente.

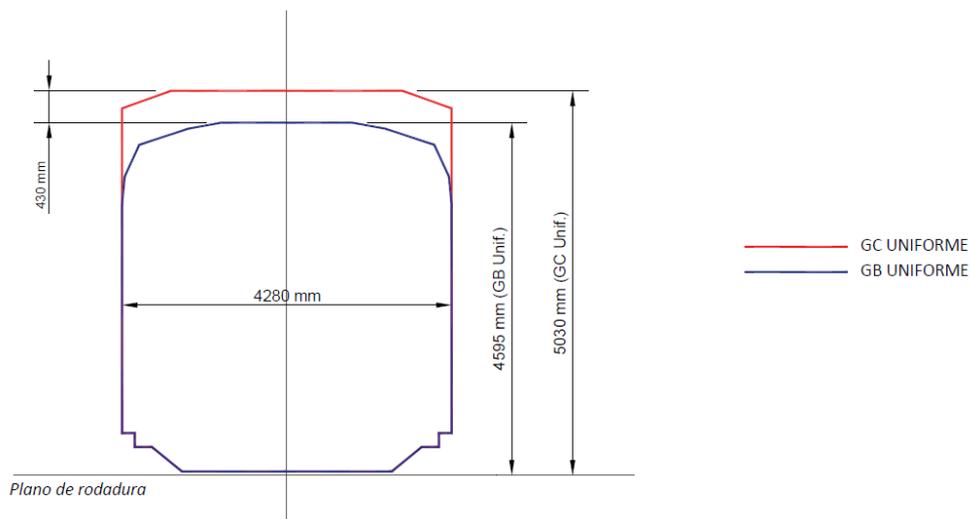


Ilustración 30. Gálibo Uniforme de Implantación de Obstáculos de partes altas: GC vs GB. (Elaboración propia)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Por otro lado, los gálbos de implantación de obstáculos a respetar en las partes bajas según el ancho de la vía, tanto para líneas nuevas como líneas acondicionadas, son las siguientes:

Tabla 13. Gálibo uniforme de implantación de obstáculos para partes bajas. (Ministerio de Fomento, 2015a)

ANCHO DE VÍA	1668 mm	1435 mm
<b>Apta para transporte mediante autopista ferroviaria <sup>(1)</sup></b>	GEI3	GI3
<b>No apta para transporte mediante autopista ferroviaria</b>	GEI2	GI2

- (1) El gálibo de partes bajas apto para transporte mediante autopista ferroviaria se establecerá en los nuevos corredores de mercancías y tráfico mixto así como en aquellos acondicionamientos de corredores existentes que determine la Autoridad Ferroviaria. En el caso de líneas acondicionadas la implementación de dicho gálibo deberá ir precedida de un estudio de viabilidad técnica y económica.

Por lo tanto, si se pretende acondicionar una línea para el transporte de mercancías por medio de una autopista ferroviaria, deberá cumplir con el gálibo de partes bajas GEI3 para ancho ibérico y GI3 para ancho estándar.

Pero cabe señalar que, no todo el transporte de mercancías se hace por medio de Autopista Ferroviaria, puesto que, las Autopistas Ferroviarias son líneas destinadas y equipadas para el transporte de semirremolques o camiones, en vagones especializados y entre terminales acondicionadas para dicho transporte, y por lo tanto, es necesario acondicionar dichas líneas para cumplir con el gálibo de partes bajas.

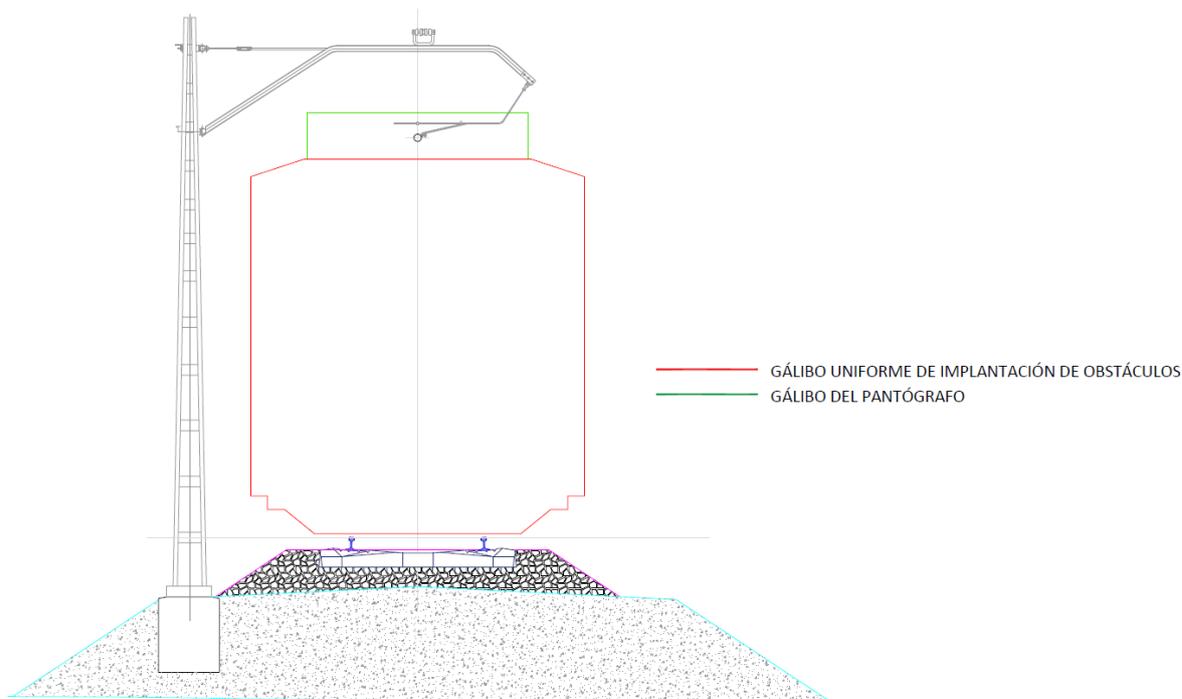
Sin embargo, se pueden utilizar líneas que no estén acondicionadas como Autopista Ferroviaria para el transporte de mercancías, como el transporte combinado o intermodal, donde se transfiere únicamente la carga de un camión a un tren, ya sea en forma de contenedor o caja móvil. De hecho, en algunas actuaciones sobre ciertas líneas existentes de la RFIG, se aprovecha la actuación para implantar longitudes de 750 metros en las vías de apartado para permitir la carga, descarga y manipulación de dichos trenes.

Además, en las estaciones de clasificación se considerará un gálibo GI2 en ancho estándar y GEI2 en ancho ibérico, salvo donde se encuentren frenos de vía, que se adoptará GI1 y GEI1 respectivamente.

En los Anexos de este TFM, se encuentran las medidas y dimensiones de cada gálibo uniforme de implantación de obstáculos.

En dichos planos, también se definen los gálbos del pantógrafo, que se sitúan encima del gálbo de implantación de obstáculos y que resulta necesario para definir el espacio que debe quedar libre para evitar posibles colisiones entre vehículo e infraestructura.

Al y fin y al cabo, aunque sean gálbos diferentes, deben de coordinarse y formar un espacio o caja única y conjunta.



*Ilustración 31. Sección tipo de gálbo uniforme de implantación de obstáculos con gálbo del pantógrafo. (Elaboración propia)*

### 5.2.2.3. Gálbo del pantógrafo

Es por ello que es imprescindible hacer hincapié en el gálbo del pantógrafo, que se considera el espacio necesario para la captación de corriente sin riesgo de choque con elementos próximos.

En la Instrucción Ferroviaria de Gálbos se establece el espacio que debe respetarse en torno al pantógrafo teniendo en cuenta su movimiento y la distancia de aislamiento eléctrico respecto a otras partes en tensión. (Ministerio de Fomento, 2015a)

Para este gálbo se deberá considerar:

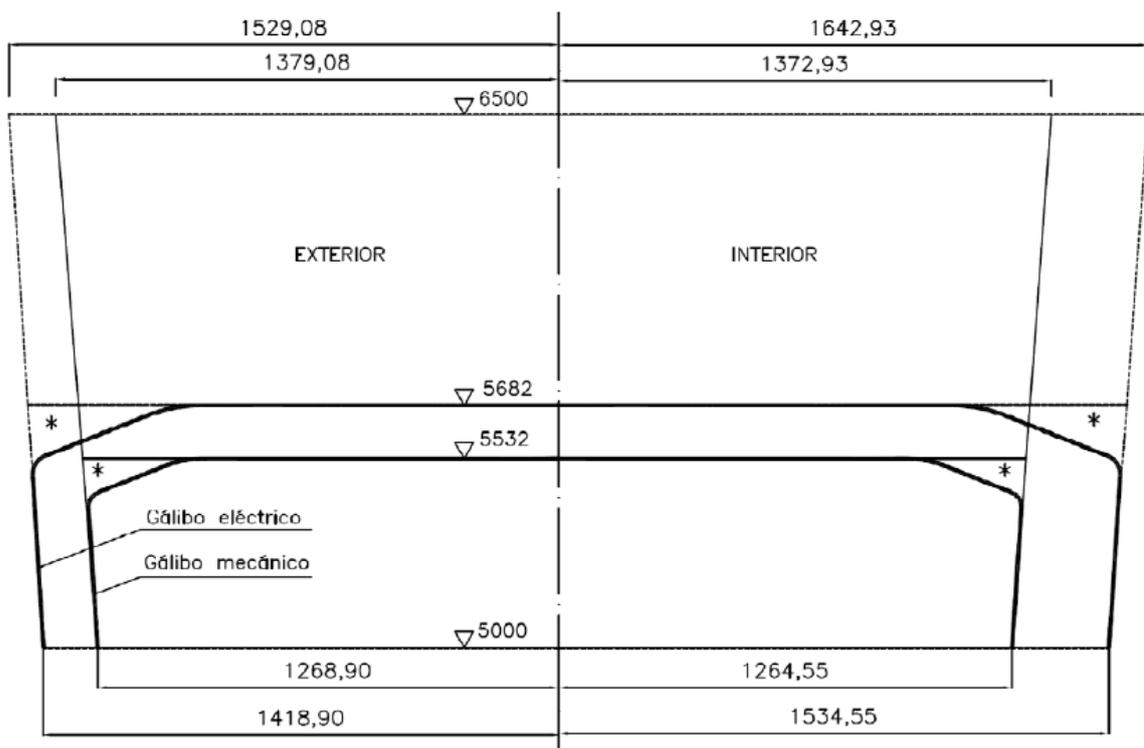
- **Gálbo mecánico:** Se considera como el contorno de referencia más unas reglas asociadas, que permiten definir el espacio fuera del cual deben instalarse las estructuras a fin de garantizar el paso del pantógrafo en posición de captación, teniendo en cuenta las

tolerancias de mantenimiento y los desplazamientos considerados por la infraestructura. (Ministerio de Fomento, 2015a)

- Gálibo eléctrico: Este gálibo se obtiene a partir del gálibo mecánico, añadiendo la distancia de aislamiento eléctrico, y restando la anchura (proyección horizontal) del trocador aislado. Por consiguiente, define una distancia de seguridad, por aislamiento, entre la parte del pantógrafo sometida a tensión eléctrica y los obstáculos. (Ministerio de Fomento, 2015a)

La consideración o no del gálibo eléctrico depende de las condiciones de aislamiento o puesta a tierra del obstáculo:

- Los obstáculos que estén a la misma tensión que la línea aérea de contacto no necesitan respetar el gálibo eléctrico. Se situarán en el exterior del gálibo mecánico.
- Los obstáculos aislados tampoco requieren comprobación del gálibo eléctrico. Basta situarlos en el exterior del gálibo mecánico.
- Los obstáculos no aislados (conectados a tierra o a potencial diferente de la línea aérea de contacto) deberán respetar ambos gálibos, situándose en el exterior de los dos.



\* Geometría en función del tipo de pantógrafo utilizado

Ilustración 32. Ejemplo de Gálibo del pantógrafo mecánico y eléctrico para G.I.O. uniforme GC. (Ministerio de Fomento, 2015a)

Asimismo, es importante determinar la altura mínima del hilo de contacto de acuerdo con la norma europea UNE-EN 50119 (Asociación Española de Normalización., 2021), que depende de la altitud, ya que se debe garantizar la altura necesaria para la electrificación, teniendo en cuenta que el hilo de contacto no puede quedar dentro de la figura de gálibo correspondiente porque supone un obstáculo al gálibo. Por encima del hilo de contacto habría que contar la altura para el sistema de electrificación y un resguardo eléctrico.

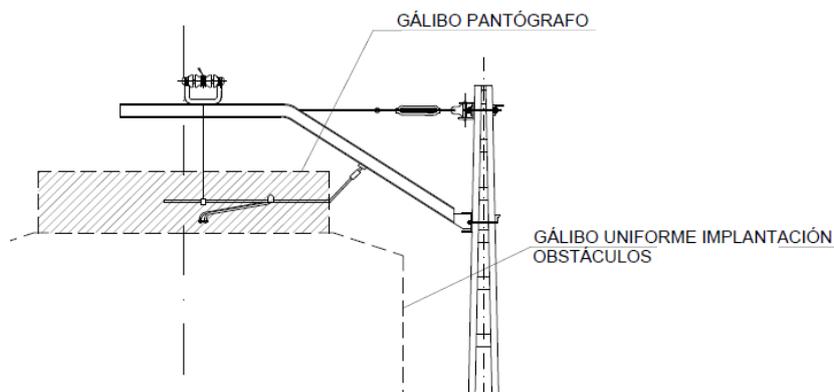


Ilustración 33. Hilo de contacto y gálibo del pantógrafo. (Elaboración propia)

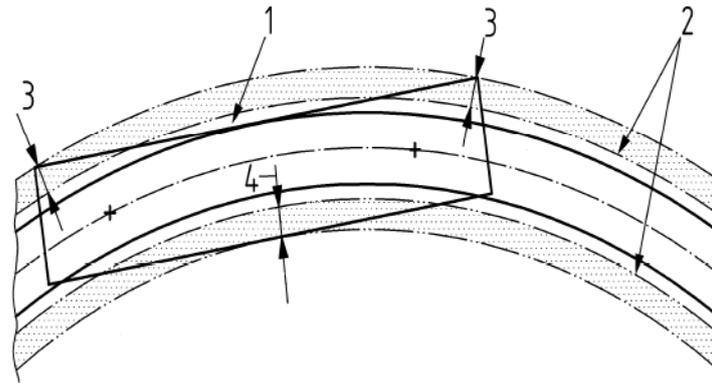
### 5.2.3. Gálibo de Material Rodante

Una vez visto el grueso de los gálivos como son los gálivos de implantación de obstáculos en los que nos enfocaremos en el presente TFM, se mencionarán los otros dos tipos restantes que figuran en la Instrucción.

Como ya se ha comentado anteriormente, el gálibo del material rodante es el contorno dentro del cual deben quedar comprendidas todas las dimensiones externas del material rodante, y del que hay que considerar a la hora de diseñar los vehículos y no ocurra como con el caso de Asturias y Cantabria que hemos mencionado en la introducción.

Se obtiene a partir del contorno de referencia cinemático definido para cada ancho de vía (dentro de la instrucción, los apartados 2.7., 2.8. y 2.9., para ancho ibérico, estándar y métrico respectivamente) aplicando unas reglas de reducción que tienen en cuenta las holguras constructivas, desplazamientos del vehículo, tolerancias, etc.

De esta forma se define el espacio que no debe superar el perfil del vehículo, teniendo en cuenta las reglas asociadas, que consisten en un conjunto de reducciones y ampliaciones a aplicar al contorno de referencia cinemático, que tienen en cuenta posibles desplazamientos del vehículo, respecto a su posición media, debido a los desgastes, deformaciones, efectos de la suspensión, peraltes, holguras y salientes, que corresponde con la trayectoria que dibuja el vehículo al inscribirse en una curva o en acuerdos verticales, etc. (Ministerio de Fomento, 2015a)



- (1) Vehículo de referencia
- (2) Contorno de referencia
- (3) Saliente hacia el exterior  $S_e$  de la curva
- (4) Saliente hacia el interior  $S_i$  de la curva

Ilustración 34. Salientes de Gálibo del Material Rodante. (Ministerio de Fomento, 2015a)

Este tipo de gálibo es menor al gálibo de implantación de obstáculos, por eso, que se toma como referencia el G.I.O. para el presente TFM.

A continuación, se expone un ejemplo donde se puede apreciar en color azul el gálibo cinemático de partes altas correspondiente al Gálibo del Material Rodante frente al G.I.O. uniforme, cuyo espacio evitará conflictos entre vehículo e infraestructura.

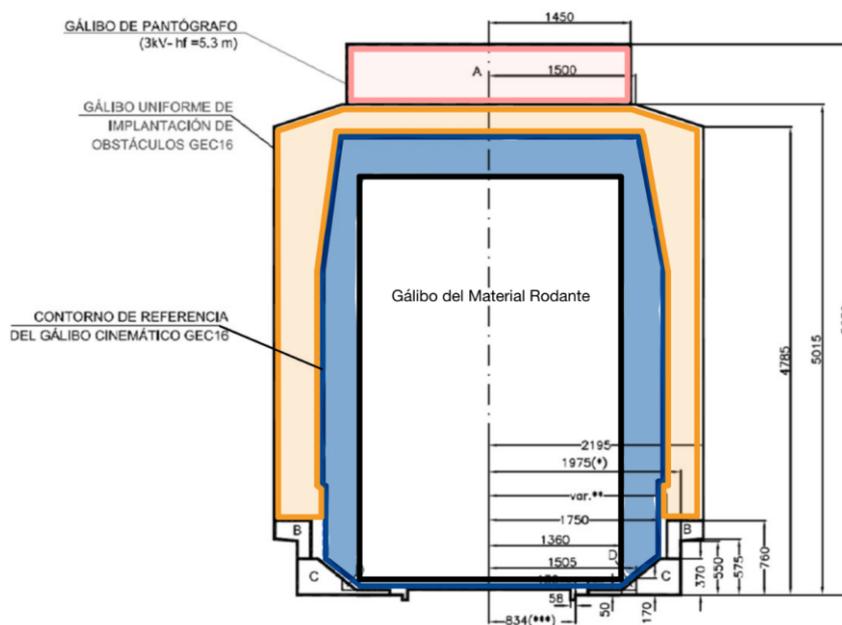


Ilustración 35. Diferencia entre Gálibo del Material Rodante y Gálibo Uniforme de Implantación de Obstáculos, correspondiente a un GEC16. (Elaboración propia)

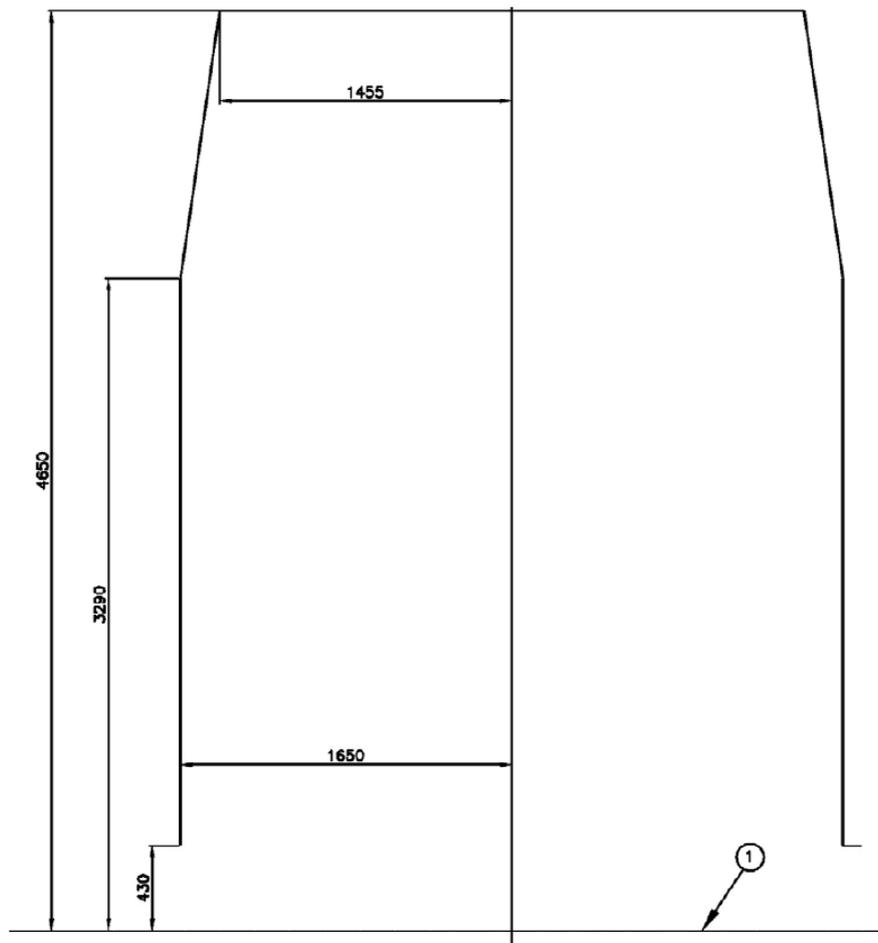
*Innovación en la determinación de gálbos ferroviarios mediante nube de puntos.*

#### 5.2.4. Gálibo de cargamento

Por último, nos encontramos con el Gálibo de cargamento (apartado 4 de la Instrucción), que es similar al anterior pero aplicado al cargamento de mercancías en vagones.

Este gálibo define el espacio que no debe superar el cargamento ni los elementos que lo pueden contener como teleros o paredes laterales de los vagones.

Asimismo, el gálibo del cargamento se obtiene a partir de los contornos de referencia estáticos y de unas reglas asociadas, que son similares a las anteriores, pero teniendo en cuenta los posibles desplazamientos del cargamento.



(1) Plano de rodadura

*Ilustración 36. Contornos de referencia del gálibo estático GEC16. Partes altas. (Ministerio de Fomento, 2015a)*

Como se puede comprobar, el Gálibo del Cargamento no es mayor al Gálibo uniforme de implantación de obstáculos, es por ello que se reitera en la consideración de aplicar el G.I.O. en el presente TFM para solventar y evitar posibles colisiones entre vehículo e infraestructura.

*Innovación en la determinación de gálíbos ferroviarios mediante nube de puntos.*

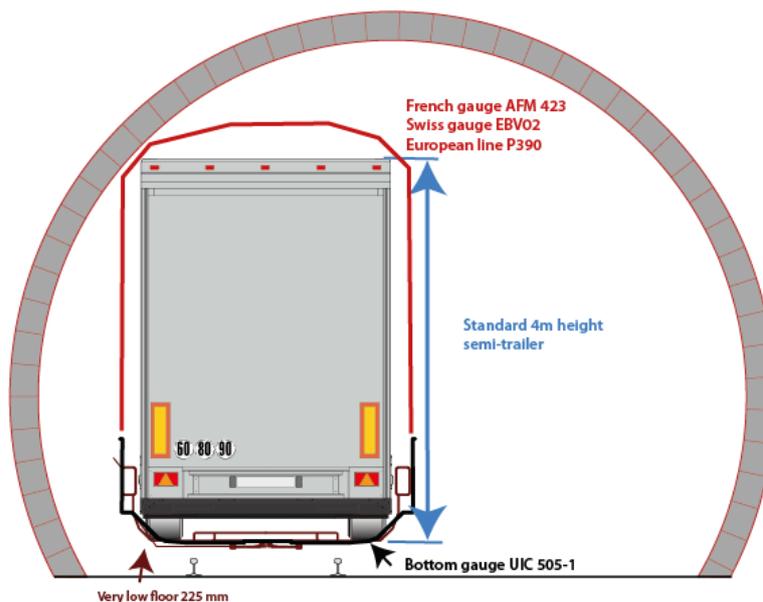


Ilustración 37. Gálibo de Cargamento: Vagones LOHR UIC utilizados en Francia. (LOHR, 2024)

Pero a medida que va pasando el tiempo, la necesidad de transportar mercancías más grandes y con mayores dimensiones, se hace imprescindible para llevar a cabo las medidas europeas y dar respuesta a la creciente demanda de transporte de mercancías por ferrocarril, especialmente en el marco de las autopistas ferroviarias, término que hemos mencionado con anterioridad.



Ilustración 38. Vagón LOHR UIC transportando semirremolques de carretera estándar de 4 m de altura en las principales líneas europeas. (LOHR, 2024)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

### 5.2.5. Gálibos Autopista Ferroviaria

Aunque ya se ha mencionado con anterioridad, una Autopista Ferroviaria se considera como, las líneas y corredores utilizadas para el transporte combinado de mercancías, donde los vehículos de carreteras y sus cargas son transportados en vagones especiales de ferrocarril, con el objetivo de reducir el tráfico de camiones en las carreteras y contribuir a la descarbonización y electrificación del transporte.

El crecimiento del transporte de mercancías produce un aumento de las dimensiones de los vagones y composiciones que se pretenden hacer circular por la RFIG en las Autopistas Ferroviarias, como se puede apreciar en la imagen anterior, que corresponde con un vagón poche, cuya altura es de 4 metros, existiendo casos que pueden llegar a ser superiores.

Si bien hemos comentado, desde Europa se quiere impulsar el transporte ferroviario de mercancías, traspasando el tráfico por carreteras al ferrocarril, ya que, según la TEN-T que hemos mencionado en apartados anteriores, el ferrocarril se considera como un transporte más sostenible, respetuoso con el medio ambiente y un sistema eficiente.

Es por ello, que se apuesta por el ferrocarril, fomentando las denominadas autopistas ferroviarias, pero esto conlleva la necesidad de adaptar los gálibos ferroviarios hasta la fecha, para permitir el paso de cargamentos de mayor tamaño y volumen.

Todo esto, hace necesario replantearse los gálibos ya que nos encontramos ante una nueva necesidad.

Por este motivo, el Administrador de Infraestructuras, aprobó en 2021 la denominada normativa NAG 5-1-0.0 de gálibos de Autopista Ferroviarias, cuyo objetivo es definir los gálibos de partes altas para el conjunto de material rodante más semirremolque, así como, para determinar el gálibo de implantación de obstáculos, evitando colisiones con los elementos próximos a la vía, pudiéndose utilizar en cualquier estudio de gálibos de autopista ferroviaria. (ADIF, 2021)

Destacar que el gálibo de partes bajas de autopista ferroviaria, ya se encuentra definido en la Instrucción Ferroviaria de Gálibos.



Ilustración 39. NAG 5-1-0.0 Gálibos Autopista Ferroviaria. (ADIF, 2021)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Dicha normativa, menciona que en las líneas acondicionadas se deberá respetar el gálibo uniforme de implantación de obstáculo, sin embargo, de manera excepcional se podrá recurrir al G.I.O. nominal o límite, cuando se justifiquen las razones técnico-económicas que lo motiven. Pero en lo que concierne al presente TFM, nos centraremos en los gálibos uniforme de implantación de obstáculos.

Por otro lado, en líneas nuevas, deberán respetarse el gálibo uniforme GC y GEC de la Instrucción ferroviaria de Gálibos.

Atendiendo a los tipos de vagones, podemos encontrarnos los siguientes:

- Los vagones poche clásico o estándar pocket wagon, en adelante vagón poche.
- Los vagones de perfil bajo de carga, vagón de piso bajo o low-floor wagon.



*Ilustración 40. Vagón Pocket T4000 destinado a la autopista ferroviaria, de la empresa VTG. (Tecnología Ferroviaria., 2022)*

Al fin y al cabo, lo que se pretende transportar son mercancías a través de los semirremolques<sup>13</sup> que irán acoplados a los vagones aptos para dicho transporte, por lo que, es importante definir los tipos de semirremolques utilizados en el transporte ferroviario de mercancías, cuya diferencia erradica en la altura de la esquina superior, dándole la codificación del semirremolque:

---

<sup>13</sup> Semirremolque: tipo de vehículo que no tiene tracción propia y está diseñado para ser acoplado a un vagón tipo poche o de perfil bajo de carga, permitiendo al conjunto el transporte.

Tabla 14. Tipos de semirremolques. (Elaboración propia)

Tipo	Altura Esquina Superior	Altura Parte Central
P400	4,00 m	4,10 m
P410	4,10 m	4,10 m
P420	4,20 m	4,20 m



Ilustración 41. Carga de semirremolque con grúa reachstacker. (Geotren., 2024)

Tras analizar los diferentes tipos de semirremolques y sus respectivas alturas, se procede a la determinación de los gálbos uniformes de implantación de obstáculos. Estos se obtienen a partir de la aplicación de unos contornos de referencia de gálibo cinemático, que sumadas a unas reglas asociadas al material rodante, dan como resultado los gálbos uniformes de implantación de obstáculos que vemos a continuación:

Tabla 15. Gálibo uniforme de implantación de obstáculos para autopista ferroviaria. (ADIF, 2021)

ANCHO DE VÍA	1668 mm	1435 mm
PARTES ALTAS	AF4.0-IP	AF4.0-EP
	AF4.1-IP	AF4.1-EP
	AF4.2-IP	AF4.2-EP
PARTES BAJAS	GEI3	GI3

Las partes bajas, son las indicadas por la IFG, aptas para el transporte mediante autopista ferroviaria y en la que se hace mención en la tabla 14 del presente TFM.

En los casos en el que los vehículos rebasen los gálbos definidos de la tabla anterior, será de aplicación un procedimiento de ADIF, que tendrá como objetivo la obtención de una autorización para que puedan circular de forma excepcional y siempre y cuando no interfieran con la infraestructura.

*Innovación en la determinación de gálbos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Cabe destacar, que los gálbos de partes altas que se presentan en la normativa NAG 5-1-0.0 no son interoperables, debido a que están diseñados específicamente para adaptarse a las características particulares de la RFIG, no estando recogidos en ningún reglamento o normativa europea. Sobre las dimensiones de estos gálbos de Autopista Ferroviaria, señalar que son superiores al gálibo histórico y GEB16, pero inferiores al GEC16 de la Instrucción Ferroviaria de Gálbos.

En la siguiente imagen se observa la relación entre gálbos uniformes de implantación de obstáculos en ancho Ibérico de las autopistas ferroviarias VS G.I.O. uniformes de la IFG donde queda claro cómo los nuevos gálbos están en una etapa intermedia entre el gálibo GEB16 y el GEC16 que define la “Instrucción Ferroviaria de Gálbos”.

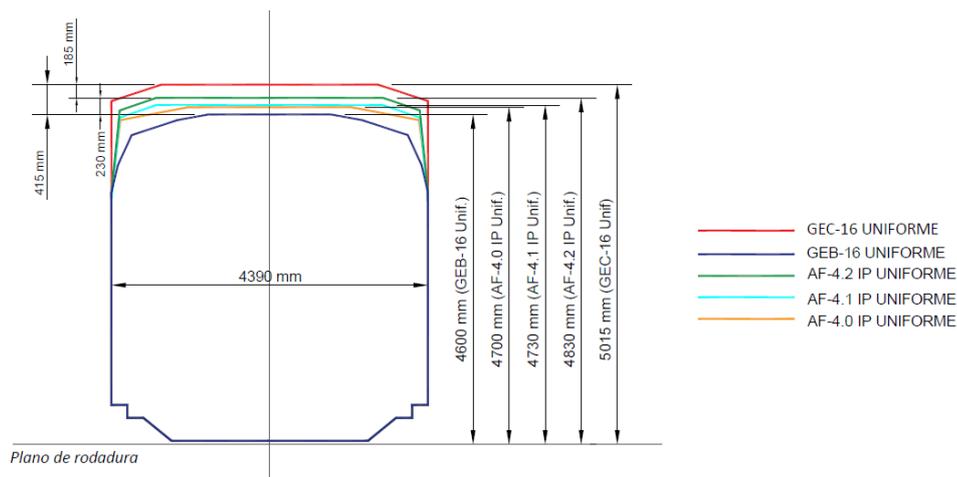


Ilustración 42. Gálibo Uniforme de Implantación de Obstáculos de partes altas de ancho ibérico: GEC16 vs GEB16 vs AF-4.2-IP vs AF-4.1-IP vs AF-4.0-IP. (Elaboración propia)

En el caso de ancho estándar, ocurre lo mismo, los nuevos gálbos para las autopistas ferroviarias se sitúan en una posición intermedia entre el gálibo GB y el GC.

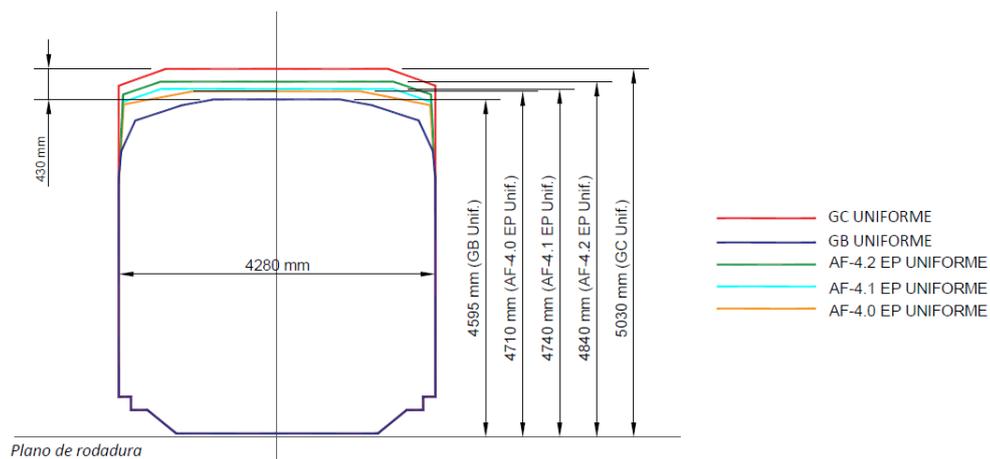


Ilustración 43. Gálibo Uniforme de Implantación de Obstáculos de partes altas de ancho estándar: GC vs GB vs AF-4.2-EP vs AF-4.1-EP vs AF-4.0-EP. (Elaboración propia)

*Innovación en la determinación de gálbos ferroviarios mediante nube de puntos.*

### 5.3. Necesidad de ampliación de gálibos

Una vez visto los diferentes tipos de gálibos y dimensiones, el objetivo principal es evitar colisiones entre vehículo e infraestructura ferroviaria, por lo tanto, estos gálibos deberán de respetarse en cualquier circunstancia según el tipo, siendo Adif el que decide implantar un gálibo u otro en una línea o tramo, teniendo en cuenta diversos factores para establecer dicho gálibo, como el tipo de tráfico previsto, la clase de explotación, la capacidad de la infraestructura, las características del material rodante, etc.

Es por esto, que si Adif propone implantar un nuevo gálibo más grande o adecuar el existente a los ya definidos anteriormente, es probable que se detecten conflictos con la infraestructura, y por ello la necesidad de abordar esta problemática, estableciendo la forma de detectarlo con el innovador sistema de nube de puntos.

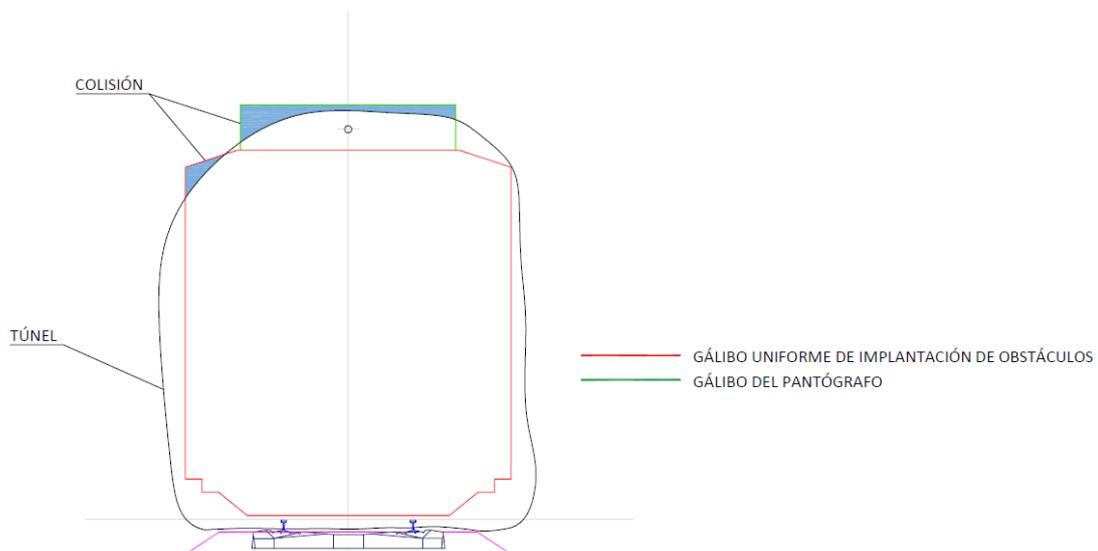


Ilustración 44. Ejemplo de conflicto entre infraestructura y G.I.O. (Elaboración propia)

### 5.4. Problemática para determinación de gálibos

Es primordial identificar que elementos o volúmenes interfieren con el gálibo establecido, de esta manera, se podrá elegir que solución es la más apropiada en cada situación.

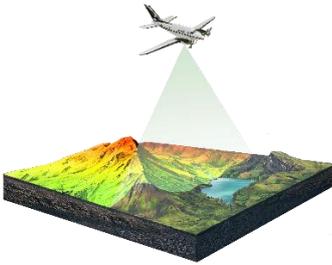
Pero resulta complicado y difícil detectar estos conflictos debido a las metodologías que se aplican a día de hoy, en algunas de ellas pueden llegar a ser tradicionales y anticuadas. Esto también ocurre con los equipos de medición, cuyas tecnologías presentan varias diferencias, como la cantidad de información que procura cada equipo, el nivel de detalle de esa información, el modo de instalación, posibilidad de error humano en la medición o el tiempo de demora en la toma de datos para una longitud determinada entre otros.

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Antiguamente se empleaban equipos manuales para medir las distancias, como cintas métricas o flexómetros, y aunque a día de hoy este método no se utiliza, en algunos casos se emplean para comprobar alguna medición concreta, como la distancia del eje de vía al borde de andén con plantillas, pero estos equipos manuales son menos precisos en comparación con los nuevos equipos modernos, ya que afecta el factor humano en la medición entre otros aspectos. Estos equipos manuales en ningún caso se utilizan para medir los gálibos que presentan la infraestructura, sino que sirven de apoyo en mediciones concretas in situ de elementos adyacentes a la infraestructura.

Pero a medida que ha ido avanzando la tecnología, se han dispuesto nuevos equipos que facilitan la tarea de toma de datos de los diferentes elementos que componen la infraestructura, sobre todo siendo útiles para la determinación de los gálibos ferroviarios.

Tabla 16. Equipos de medición topográficos para infraestructura ferroviaria. (Elaboración propia)

Equipos de medición topográficos	Ilustración
<b>Taquímetro y Estación total</b>	
<b>Terrestrial Laser Scanner (TLS)</b>	
<b>Aerial Laser Scanner (ALS)</b>	
<b>Mobile Laser Scanner (MLS)</b>	

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Los equipos que conforman la Tabla 16, son aparatos fundamentales en la topografía del terreno y en la captura de datos geospaciales, presentando diferentes características y rendimientos entre ellos.

Además, las aplicaciones de todos estos equipos son muy variadas, desde la ingeniería civil que se utiliza para levantamientos topográficos, levantamientos subterráneos, levantamiento de obras lineales, arquitectura y edificación, plantas industriales, documentación y monitorización del patrimonio, hasta para la minería subterránea, minería stock piles o arqueología entre otros.

#### 5.4.1. Taquímetro y Estación Total

Los equipos taquimétricos, son sistemas que contienen un teodolito, dispositivo que únicamente mide ángulos (Hz y V), y que por medio del taquímetro usa la trigonometría y la geometría, para obtener las distancias de los puntos marcados.

Sin embargo, existe un equipo más completo, que también pertenece a la denominada topografía clásica, es la estación total, que contiene un teodolito junto con un distanciómetro que puede llegar a medir ángulos (Hz y V), así como distancias horizontales ( $D$ ) y verticales (desniveles  $z$ ). Dichas mediciones se procesan trigonométricamente para determinar la posición con sus coordenadas y la altura de un punto en concreto con la ayuda de un prisma reflector.

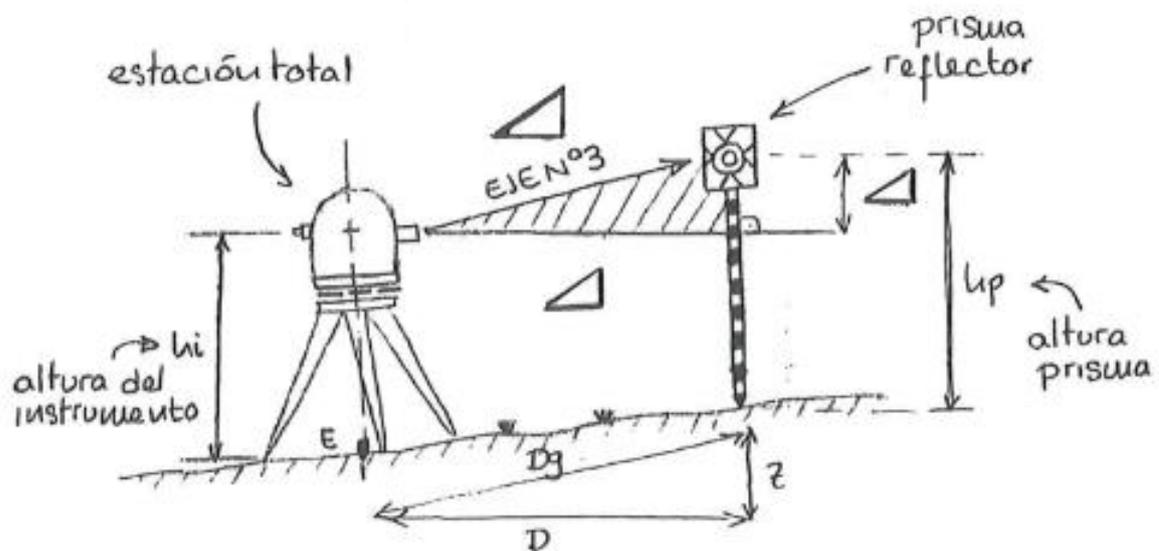
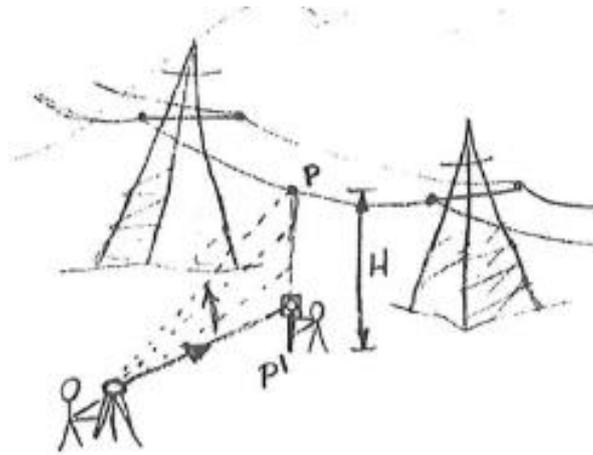


Ilustración 45. Croquis de medición con estación total. (Elaboración propia)

Por lo tanto, destacar que las estaciones totales son equipos estáticos, capaces de medir cualquier punto a través de ángulos y distancias, con gran precisión, calculando su posición ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) en el espacio, incluso son más precisos que los taquímetros, al disponer de un distanciómetro integrado.



*Ilustración 46. Ejemplo de medición con estación total de elevación de la altura de la catenaria de un cable de alta tensión, altura de un puente, edificio, etc. (Elaboración propia)*

Los puntos que identifica pueden ser cualquier elemento de la infraestructura, ya sea carril, traviesa, bóveda del túnel, etc. pero con la particularidad de que solo puede ir identificando punto a punto los datos, por lo que se prolonga en gran medida la toma de datos, extendiendo el tiempo de fase de diseño y construcción del proyecto.

Como se necesita bastante tiempo en medir toda la infraestructura, ya que el operario obtiene puntos de uno en uno (rendimiento lento), se hace inviable realizar toma de puntos con estaciones totales a lo largo de un tramo, por lo que se efectúan mediciones dependiendo de las necesidades (suelen ser cada 10 metros), obteniendo secciones transversales de la infraestructura.

No obstante, las estaciones totales son eficaces para mediciones puntuales o recorridos de escasa longitud, ya que su sistema fijo y toma de datos precisa tomada por el topógrafo, hace que sea un equipo con una gran precisión.



*Ilustración 47. Medición con Estación Total. (Leica Geosystems., 2019)*

Asimismo, la precisión angular (Hz y V) depende del tipo de estación total que encontremos en el mercado, pero en general suelen oscilar entre 1" y 5" segundos de arco, mientras que la precisión de las distancias es de aproximadamente 1 mm + 1,5 ppm, del mismo modo puede diferir el alcance, el tamaño del láser y el tiempo de medición. (Leica Geosystems., 2018b)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Adicionalmente, la norma ISO 17123 define algunos procedimientos para determinar y evaluar las precisiones de las estaciones totales.

Para poder demostrar estas hipótesis, se han recogido las especificaciones de las estaciones totales "Leica FlexLine TS03/TS07/TS10" de la empresa Leica Geosystems, que se irán comparando con el resto de los equipos.

Tabla 17. Rendimientos Estaciones Totales.(Leica Geosystems., 2018b)

Precisión Angular Media	Precisión del Alcance (mm + ppm)	Precisión de puntos 3D	Tiempo de Medición Medio
1" / 2" / 3" / 5"	1 mm + 1,5 ppm (Promedio)	2 mm 0-500m; 4 mm >500m	1 punto cada 2,4 s

Siendo la precisión angular, la exactitud en la medición de los ángulos, donde un valor menor indica una mayor precisión. Por otro lado, la precisión del alcance indica el error esperado en la medición, siendo los equipos con menores valores los que mayor precisión en las distancias obtienen.

La precisión de puntos 3D, se refiere al error con el que un escáner láser puede medir y recrear la posición de puntos en 3D, por ejemplo, en el caso de arriba, el error de medición entre 0 y 500 metros es de solo 2 mm.

En cuanto al tiempo de medición, se considera el tiempo que tarda el sistema en obtener la medición, por lo que un tiempo menor denota que el equipo realiza la medición más rápido.

Una vez visto las características y valores que presentan en general las estaciones totales, cabe señalar, que a la hora de realizar la toma de datos sobre los gálibos y las distancias o medir espacios libres de la infraestructura de un punto en concreto, resulta ser muy preciso, sin embargo, si debemos de capturar un túnel de gran longitud, donde el intradós del túnel sea bastante irregular, o se tengan demasiados pasos superiores en el tramo, entra en juego el tiempo de medición, siendo una desventaja crucial, ya que la medición se demoraría.

#### 5.4.2. Laser Scanner

Por otro lado, los equipos que presentan laser escáner ofrecen herramientas de georeferencia, levantamientos y captura de multitud de datos realizando millones de puntos por segundo.

De manera global, los equipos que contienen láseres escáner emiten unos rayos láseres en dirección al objetivo, que cambia periódicamente, la luz laser rebota y vuelve hacia el escáner detectando el haz de luz mediante un sensor que se aloja en el escáner. Posteriormente con los ángulos de elevación y azimut, y la distancia hacia el objetivo, se determina la posición del punto mediante la siguiente formula. (Wu et al., 2021)

$$\begin{cases} X_p = S \cos \beta \cos \alpha \\ Y_p = S \cos \beta \sin \alpha \\ Z_p = S \sin \beta \end{cases}$$

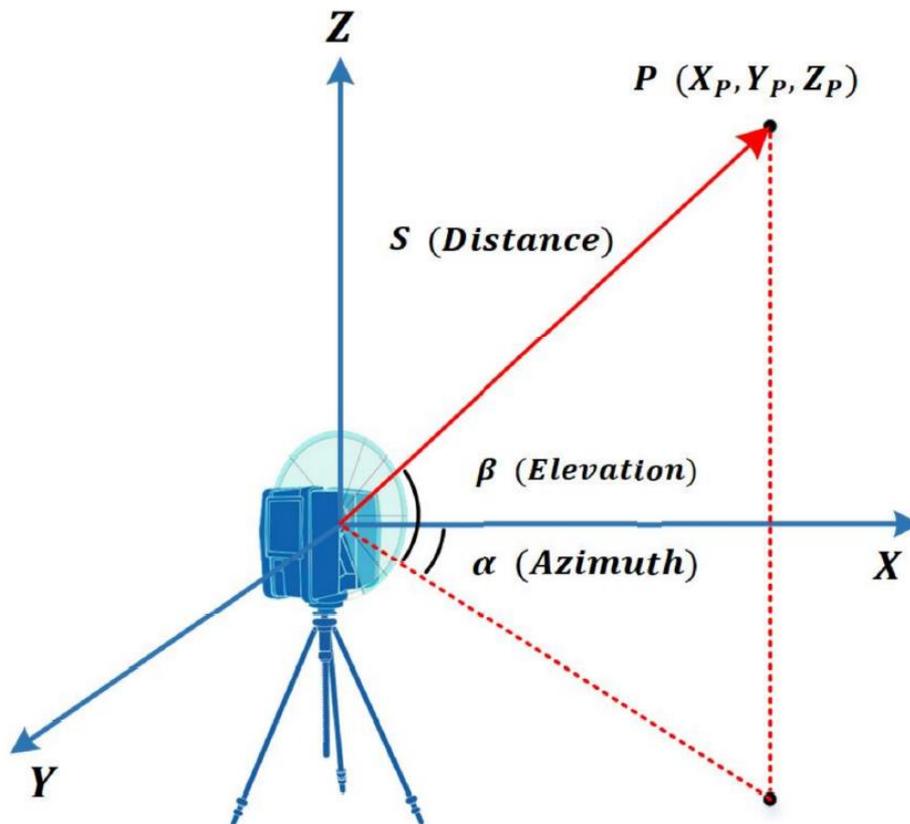


Ilustración 48. Funcionamiento de un Laser Scanner. (Wu et al., 2021)

Pero puede realizarse a través de otro método, midiendo el tiempo que tarda en devolver ese haz de luz al equipo, obteniendo la posición del punto objetivo. Este sistema también se le conoce como LiDAR (Light Detection And Ranging), y es que algunos de los láseres escáner, cuentan esta tecnología.

De todos modos, ambos tienen la función de medir millones de puntos con sus respectivas coordenadas, para generar el modelo tridimensional, al reiterar el proceso millones de veces.

El conjunto de los puntos que obtiene los escáneres láseres, se denomina como nube de puntos, y como ya hemos comentado, crean un modelo tridimensional (3D).

Además, estos equipos laser presentan una gran capacidad de velocidad de medición, al capturar millones de puntos de la infraestructura adyacentes en poco tiempo, siendo una gran ventaja frente al resto de equipos.

Pero dicha recogida masiva de datos influye en una menor precisión de puntos 3D, aunque mínima, con respecto a los equipos de estación total. Sin embargo, los equipos de escáner laser no necesitan de personal para la toma los datos, por lo que no presentan errores humanos, como sí que ocurre con la topografía clásica, que pueden considerarse errores humanos en la medición.

Destacar que existen diferentes tipos de escáneres laser, pero en reglas generales, los diferenciaremos en fijos, equipos que se emplean de forma estática y móviles, equipos que van capturando información a medida que van moviéndose.

Asimismo, la fuente de energía de estos equipos merece una mención, pues necesitan de una alimentación externa, ya sea con baterías o directamente con el suministro de corriente eléctrica más cercano.

#### 5.4.2.1. Terrestrial Laser Scanner (TLS)

Sobre los equipos de escáner fijos que podemos encontrarnos en el mercado, identificamos los llamados Terrestrial Laser Scanner (TLS), que comparten todas las características comentadas del escáner laser, es decir, una precisión algo menor que la estación total, así como, la gran cantidad de puntos que obtiene y su rapidez.

Sin embargo, estos equipos se fijan a un trípode estándar, al igual que la estación total, que lo sujeta y permite disponerlo a la altura necesaria para la operación y captura de forma estática de la zona adyacente, sin necesidad de realizar las mediciones un operario, por lo que el error humano se descarta, haciendo más fiable y preferible. Este trípode suele denominarse trípode de meseta.

Señalar que los equipos provistos del sistema Terrestrial Laser Scanner (TLS) pueden presentar inconvenientes en el escaneo de tramos muy largos y considerables, ya que consiste en un sistema de escaneo láser de forma estática, de tal forma que el equipo se sitúa en un lugar fijo sin moverse, siendo necesario su recolocación en otro punto para poder proseguir con en el escaneo, repitiendo este proceso hasta finalizar el tramo o línea.

Es por ello que, aunque la toma de datos es relativamente rápida y no presenta errores humanos en la medición, el traslado y puesta en funcionamiento del equipo a lo largo de tramos extensos hace que el tiempo de trabajo sea algo elevado. No obstante, este inconveniente es inexistente en tramos cortos donde la rapidez del escaneo predomina.



*Ilustración 49. Equipo Terrestrial Laser Scanner (TLS) escaneando un túnel. (Pinkerton, M., 2010)*

Sobre el aspecto del tiempo, estudios como el de Cruz Ramírez, L. et al. (2023) estiman el tiempo medio de medición de un equipo TLS, además de valorar que condicionantes se tienen a la hora de realizar dicha toma de datos, determinado dos factores esenciales, como son los condicionantes mecánicos, que se refieren al tiempo de captura del propio equipo, y los condicionantes humanos, que estiman el tiempo que tarda en ser trasladado el equipo en esos cambios de posición para medir el tramo completo, incluyendo los ajustes, calibraciones y nivelaciones que hay que efectuar para una correcta medición, así como considerar factores de rendimiento humano. Dicho estudio afirma que para realizar una medición de nube de puntos completa y de densidad baja con un equipo TLS, el tiempo es de aproximadamente 7 minutos. (Cruz-Ramírez et al., 2023)

Es por ello que el tiempo es crucial en las mediciones con láser escáner, ya que una medición que se efectúe en poco tiempo sería muy ventajosa en tramos considerables.

Seguidamente, se presentan las especificaciones del equipo TLS “Leica RTC360” de la empresa Leica Geosystems, que corroboran el argumento.

---

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Tabla 18. Rendimientos TLS. (Leica Geosystems., 2018a)

Precisión Angular Media	Precisión del Alcance (mm + ppm)	Precisión de puntos 3D	Tiempo de Medición Medio
18"	1,0 mm + 10 ppm	1,9 mm a 10 m; 2,9 mm a 20 m; 5,3 mm a 40 m	Hasta 2.000.000 puntos/s

#### 5.4.2.2. Aerial Laser Scanner (ALS)

Por otro parte, mencionamos los equipos Aerial Laser Scanner (ALS), que se emplean para capturar puntos desde el aire a través de la tecnología LiDAR ya mencionada, haciéndolo ideal para la cartografía y mapeo de grandes áreas.

Este sistema, combina la posición del escáner, la altitud de vuelo y las distancias medidas hacia el suelo por el equipo laser, para obtener los diferentes puntos. Cabe señalar que tanto la altura como la velocidad de la aeronave en este tipo de equipos ALS, pueden variar la densidad de puntos. (Mostafa Abdel-Bary Ebrahim, 2011)

Además, estos sistemas pueden generar modelos tridimensionales de la superficie a través de la nube de puntos que capturan en sus vuelos.



Ilustración 50. Toma de datos del sistema Aerial Laser Scanners (ALS). (Leica Geosystems., 2023)

Pero estos equipos son inviables para determinar el gálibo a través del escáner con vuelos aéreos, que por ejemplo genera el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), pues carecen del nivel de

detalle necesario para determinar con precisión los gálibos, ya que, no representan con un gran detalle las infraestructuras ferroviarias, como son los pasos superiores, catenarias, y en concreto los túneles, puesto que es imposible capturar datos en el intradós del túnel a través de estos vuelos.

Lo mismo ocurre con los drones, que realizan pasadas oblicuas, pero no es lo más idóneo cuando se quiere escanear un túnel.

Por la misma razón, cabe destacar la incapacidad generar puntos en el interior de los edificios, propiciando una desventaja frente a los laser escáner o la topografía clásica.

A continuación, se puede apreciar la diferencia de captura de datos entre el láser escáner y el escáner aéreos en un edificio.



*Ilustración 51. A izquierda la nube de puntos obtenida del levantamiento con Escáner Láser Terrestre y a derecha la nube de puntos obtenida mediante fotografías aérea. (Eugenia Polo García, María & Sánchez Ríos, Alonso, 2022)*

Sin embargo, es posible generar un único paquete de puntos procedentes de diferentes fuentes, integrándose mediante el programa CloudCompare (que veremos en adelante), estableciéndose el modelo 3D global. (Eugenia Polo García, María & Sánchez Ríos, Alonso, 2022)

También la falta de tecnologías avanzadas de medición, así como el desconocimiento del modelado y de las nubes de puntos, puede dificultar la evaluación precisa de los gálibos existentes y la identificación de posibles conflictos o problemas con la infraestructura.

Por otra parte, las tecnologías de nube de puntos se encuentran en auge y resulta interesante de estudiar, pues contiene bastante información y de la que nos puede servir a lo largo de la vida de un proyecto ferroviario.

#### 5.4.3. Comparación Topografía clásica y Laser Scanner

Para poder comparar los rendimientos de la topografía clásica y de los láseres escáner, se han considerado las especificaciones de la *Tabla 17. Rendimientos Estaciones Totales.* y la *Tabla 18. Rendimientos TLS.*, como promedio de los equipos, para comparar y contrastar de forma lógica los

rendimientos, dando por válidos los resultados recogidos en dichas tablas, que a su vez, se han recopilado de la empresa Leica Geosystems.

A continuación, se expone una tabla comparativa reuniendo ambas tablas.

Tabla 19. Comparativa de rendimientos topografía clásica y laser Scanner. (Elaboración propia)

	Estación Total	Comparación	TLS	Mejor Equipo
<b>Precisión Angular Media</b>	1" / 2" / 3" / 5"	Mayor precisión (Menor valor)	18"	<b>Estación Total</b>
<b>Precisión de Distancias</b>	1 mm + 1,5 ppm	Mayor precisión (Menor valor)	1 mm + 10 ppm	<b>Estación Total</b>
<b>Precisión de puntos 3D</b>	2 mm 0-500m; 4 mm >500m	Mayor precisión (Menor valor de error)	1,9 mm a 10 m; 2,9 mm a 20 m; 5,3 mm a 40 m	<b>Estación Total</b>
<b>Tiempo de Medición Medio</b>	1 punto cada 2,4 s	Mayor rapidez (Menor tiempo puntos por segundo)	Hasta 2.000.000 puntos/s	<b>TLS</b>

Según podemos apreciar en la tabla comparativa, se confirma lo que se ha ido comentando, pues la estación total ofrece valores más bajos de precisión angular, lo que significa una mayor precisión en la medición de los ángulos.

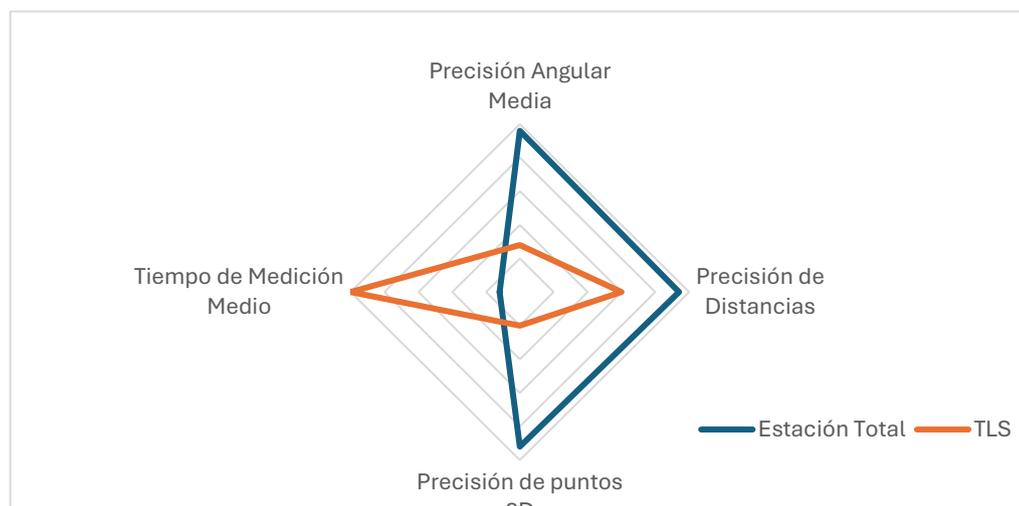


Ilustración 52. Comparativa radial de las especificaciones entre equipos de topografía clásica y Laser Scanner. (Elaboración propia)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

---

 ¿Qué se está haciendo en la actualidad?
 

---

Esto también ocurre con la precisión del alcance y la precisión de los puntos 3D, donde las precisiones más altas las encontramos con la estación total, consiguiendo errores de tan solo 2 mm hasta los 500 metros, mientras que el equipo laser, puede adquirir errores a los 40 metros del orden de 5,3 mm.

Con respecto al tiempo de medición, los equipos laser superan con creces los tiempos de medición de las estaciones totales.

De hecho, estudios como el de Mat Zam, P. et al. (2018) compara equipos TLS con topografía clásica, concluyendo que las estaciones totales, son equipos que requieren de mucho tiempo en las mediciones, siendo demasiado lentos en comparación con los escáneres laser. (Mat Zam et al., 2018)

### 5.5. ¿Qué se está haciendo en la actualidad?

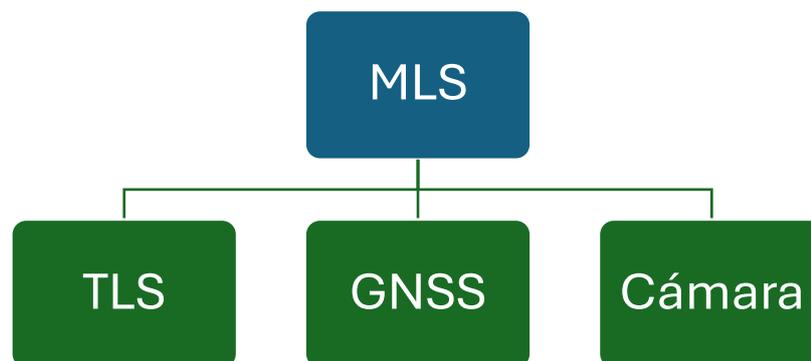
En la actualidad, existen varias tecnologías que pueden servir como punto de partida para solventar la problemática en cuanto a la determinación de los gálibos.

Entre ellas destacamos la novedosa tecnología de mobile mapping que proviene del Mobile Laser Scanner (MLS) o escáneres laser en movimiento, sistema de la que obtenemos la nube de puntos en movimiento, siendo una solución que tiene un gran aporte de información y en la que nos enfocaremos en este TFM, dándole un aspecto innovador.

#### 5.5.1. Mobile Laser Scanner (MLS)

Los MLS o escáneres laser móviles, que por su propio nombre indican, capturan puntos en movimiento, empleando la tecnología LiDAR.

Básicamente contiene un escáner láser idéntico al TLS que ya hemos mencionado anteriormente, al que se le incorporan sensores GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) y cámaras digitales de alta resolución.



*Ilustración 53. Sistemas que componen un Mobile Laser Scanner (MLS). (Elaboración propia)*

---

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

---

 ¿Qué se está haciendo en la actualidad?
 

---

Por consiguiente, todos los equipos que se definen como MLS o escáneres laser móviles, se basan en la integración de los tres sistemas comentados.

Este equipo se puede alojar en cualquier vehículo, proporcionando nube de puntos a lo largo de una línea ferroviaria de forma continua.

Estos sistemas son relativamente modernos, y actualmente están en alza debido a su gran capacidad de generar nube de puntos rápidamente a lo largo de un tramo o línea completa.

Si comparamos el mobile mapping con los métodos tradicionales de toma de datos, obtenemos grandes ventajas, entre los que destaca la reducción del coste de operación y de la disminución del tiempo en la toma de datos en campo, haciendo posible crear un espacio de puntos 3D con gran cantidad de información, es decir, de nube de puntos.

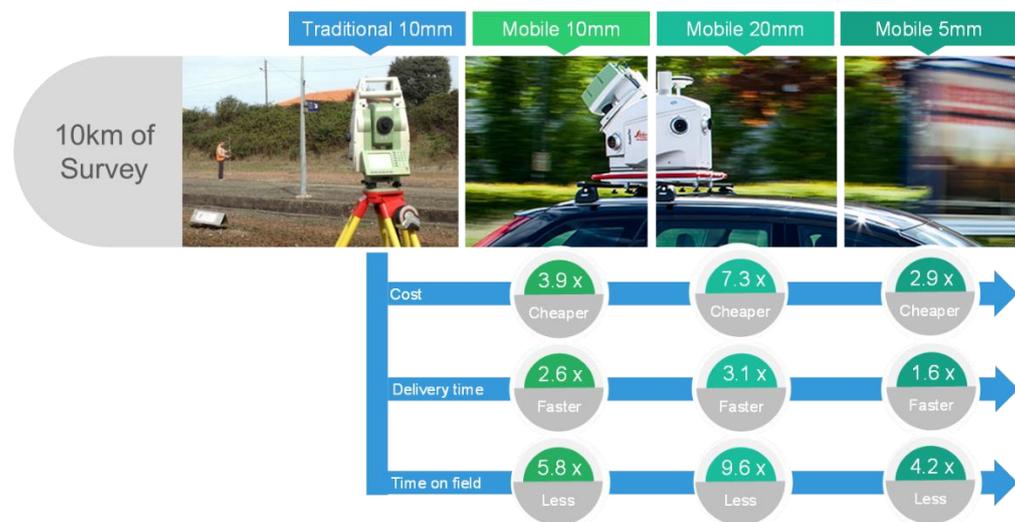


Ilustración 54. Diferencias entre sistemas tradicionales y el mobile mapping en un recorrido de 10 km. (Leica Geosystems., 2019)

Estas herramientas o técnicas, proporcionan una identificación más precisa y detallada de la infraestructura existente al disponer de más datos, de tal manera que se pudiera reconocer posibles conflictos y optimizar la toma de decisiones relativas a las soluciones estructurales propuestas para los túneles, pasos superiores, trincheras, etc.

Asimismo, gracias a estas tecnologías es posible capturar un entorno real, con gran cantidad de datos e información, que servirán para desarrollar los posteriores modelos As-Built<sup>14</sup>, estableciendo la base para el desarrollo de los modelos BIM orientados a las fases de proyecto, construcción o

---

<sup>14</sup> El término deriva de la expresión inglesa "as-constructed" lo que significa "tal como se construyó". Los modelos "As-Built" en BIM son representaciones digitales precisas y actualizadas de la infraestructura ferroviaria después de su construcción.

¿Qué se está haciendo en la actualidad?

mantenimiento, ayudando a tomar decisiones que surgen durante el desarrollo de cualquier proyecto. (Lucio Iglesias, Daniel et al., 2019)

Además, nos encontramos con una tendencia creciente hacia la digitalización de todo tipo de información, y más en este tipo de casos, ya que es fundamental tener los datos y la información, así como los modelos BIM, que son demasiados grandes, en un sistema digital. De hecho, ya existen organizaciones internacionales para este mismo fin, como el BuildingSMART International, que se crea con la finalidad de digitalizar el entorno de datos, mediante unos estándares comunes para los proyectos de construcción de infraestructuras y edificaciones. (Sánchez Rodríguez, Ana, 2021)

Estos estándares comunes, son claves para que todos los modelos digitales e información sean universales para todos los usuarios.

Asimismo, la nube de puntos contiene gran cantidad de datos, desde puntos de catenaria, señales, carriles, traviesas, emboquilles, etc, hasta cualquier componente que se encuentre en la línea de visión del láser.

Pero el equipo de medición láser no genera una clasificación por elementos o partes de la infraestructura, sino que establece puntos independientes, siendo necesario la clasificación de los mismos ya que posee demasiados datos.

Es por ello, que se destaca el papel del Sistema de Clasificación Ferroviario BIM SCFClass, desarrollado por Railway Innovation Hub (RIH), siendo un sistema pionero de clasificación e identificación en el marco del BIM de los diferentes elementos que se componen en los proyectos ferroviarios, además, se facilitan los procesos de digitalización de las infraestructuras ferroviarias y de los modelos digitales.

NIVEL	NIVEL	NIVEL	NIVEL	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD MEDICIÓN	ENTIDAD IFC	TIPO PREDEFINIDO IFC	COMENTARIOS
FUN	ENT	010	FUN.ENT.010	Simbolic	ud	No aplica			
FUN	ENT	010	FUN.ENT.010.010	Origen de coordenadas	ud	IFCAnnotation		NO TIENE SUBTIPOS	
FUN	ENT	010	FUN.ENT.010.020	Red o mailla	ud	IFCAnnotation		USDEFINIDO	
FUN	ENT	020	FUN.ENT.020	Áreas enmojaes	ud	No aplica			
FUN	ENT	020	FUN.ENT.020.010	Árbol	ud	IFCGeometricElement		VEGETATION	
FUN	ENT	020	FUN.ENT.020.020	Arbusto	ud	IFCGeometricElement		VEGETATION	
FUN	ENT	030	FUN.ENT.030	Parcelas	ud	No aplica			
FUN	ENT	030	FUN.ENT.030.010	Parcela completa	m2	IFCAnnotation		ASSUMEDAREA	
FUN	ENT	030	FUN.ENT.030.020	Subparcela	m2	IFCAnnotation		ASSUMEDAREA	
FUN	ENT	030	FUN.ENT.030.030	Área	m2	IFCAnnotation		ASSUMEDAREA	
FUN	ENT	030	FUN.ENT.030.040	Valledo parcialario	m	IFCWall		USDEFINIDO	
FUN	ENT	040	FUN.ENT.040	Volúmenes	ud	No aplica			
FUN	ENT	040	FUN.ENT.040.010	Volúmen edificatorio	m3	IFCWall		NO TIENE SUBTIPOS	
FUN	ENT	040	FUN.ENT.040.020	Infraestructura existente	ud	IFCWall		NO TIENE SUBTIPOS	
FUN	ENT	040	FUN.ENT.040.030	Servicio existente	ud	IFCWall		NO TIENE SUBTIPOS	
FUN	ENT	040	FUN.ENT.040.040	Terreno	m2	IFCGeometricElement		TERRAIN	
FUN	ENT	040	FUN.ENT.040.050	Subsuelo existente	m3	IFCGeometricElement		TERRAIN	
FUN	EXP	010	FUN.EXP.010	Superficies	ud	No aplica			
FUN	EXP	010	FUN.EXP.010.010	Superficie de apropiación	m2	IFCAnnotation		USDEFINIDO	
FUN	EXP	010	FUN.EXP.010.020	Superficie de acovumbe	m2	IFCAnnotation		USDEFINIDO	
FUN	EXP	010	FUN.EXP.010.030	Superficie de ocupación temporal	m2	IFCAnnotation		USDEFINIDO	
FUN	GEO	010	FUN.GEO	Estructuras	ud	No aplica			
FUN	GEO	010	FUN.GEO.010	Estructuras	ud	No aplica			
FUN	GEO	010	FUN.GEO.010.010	Unidad geotécnica	ud	IFCGeotechnicalStratum		SOLID	
FUN	GEO	010	FUN.GEO.010.020	Nivel freático	ud	IFCGeotechnicalStratum		WATER	
FUN	GEO	010	FUN.GEO.010.030	Discontinuidad	ud	IFCGeotechnicalStratum		USDEFINIDO	
FUN	GEO	020	FUN.GEO.020	Prospecciones	ud	No aplica			
FUN	GEO	020	FUN.GEO.020.010	Calicata	ud	IFCAnnotation		NO TIENE SUBTIPOS	
FUN	GEO	020	FUN.GEO.020.020	Sondas medicio	ud	IFCAnnotation		NO TIENE SUBTIPOS	
FUN	GEO	020	FUN.GEO.020.030	Prueba continua de penetración	ud	IFCAnnotation		NO TIENE SUBTIPOS	
FUN	GEO	020	FUN.GEO.020.040	Túnel de reconocimiento	ud	IFCAnnotation		NO TIENE SUBTIPOS	
FUN	GEO	020	FUN.GEO.020.050	Prospección geofísica	ud	IFCAnnotation		NO TIENE SUBTIPOS	
FUN	GEO	030	FUN.GEO.030	Auscultaciones geotécnicas	ud	No aplica			
FUN	GEO	030	FUN.GEO.030.010	Inclinómetro	ud	IFCAnnotation		MOVEMENTSENSOR	
FUN	GEO	030	FUN.GEO.030.020	Línea de asiento	ud	IFCAnnotation		MOVEMENTSENSOR	
FUN	GEO	030	FUN.GEO.030.030	Célula de carga	ud	IFCAnnotation		MOVEMENTSENSOR	
FUN	GEO	030	FUN.GEO.030.040	Célula de asiento	ud	IFCAnnotation		MOVEMENTSENSOR	
FUN	GEO	030	FUN.GEO.030.050	Pavimento	ud	IFCAnnotation		MOVEMENTSENSOR	

Ilustración 55. Tabla estándar para clasificar elementos BIM según la función que desempeñan desarrollado por SCFClass V2. (Railway Innovation Hub, 2020)

Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.

## ¿Qué se está haciendo en la actualidad?

Por ello, los formatos IFC (Industry Foundation Classes) se clasifican en un estándar común, como el RIH, para el intercambio de datos cuyo objetivo es facilitar la interoperabilidad en entornos BIM sin la pérdida o distorsión de la información.

Actualmente, se cuenta con el sistema de clasificación SCFClass V2, actualizado en el año 2020.

Clase Istram	Identificación	Nombre
ALETA OBRA FÁBRICA	FUN.DRE.010.010	Obra de drenaje transversal
BALASTO	FUN.VIA.050.010	Capa de balasto
banda_continua (L141)	FUN.VIO.040.020	Marca longitudinal
banda_discontinua (L142)	FUN.VIO.040.020	Marca longitudinal
BASE	FUN.VIO.030.040	Base
BASE HORMIGON	FUN.VIO.030.040	Base
Bio_SD_4	FUN.VIO.060.040	Pretil
Bio_SD_8	FUN.VIO.060.040	Pretil
BiondaS_D (L3252)	FUN.VIO.060.040	Pretil
BiondaS_j (L3250)	FUN.VIO.060.040	Pretil

Ilustración 56. Clases BIM de Istram, identificadas con las funciones de la Clasificación RIH SCFCLASS V2. (Elaboración propia)

El resultado es un conjunto de datos, que contiene información etiquetada con las funciones de clasificación SCFClass V2, de acuerdo a los estándares comunes.

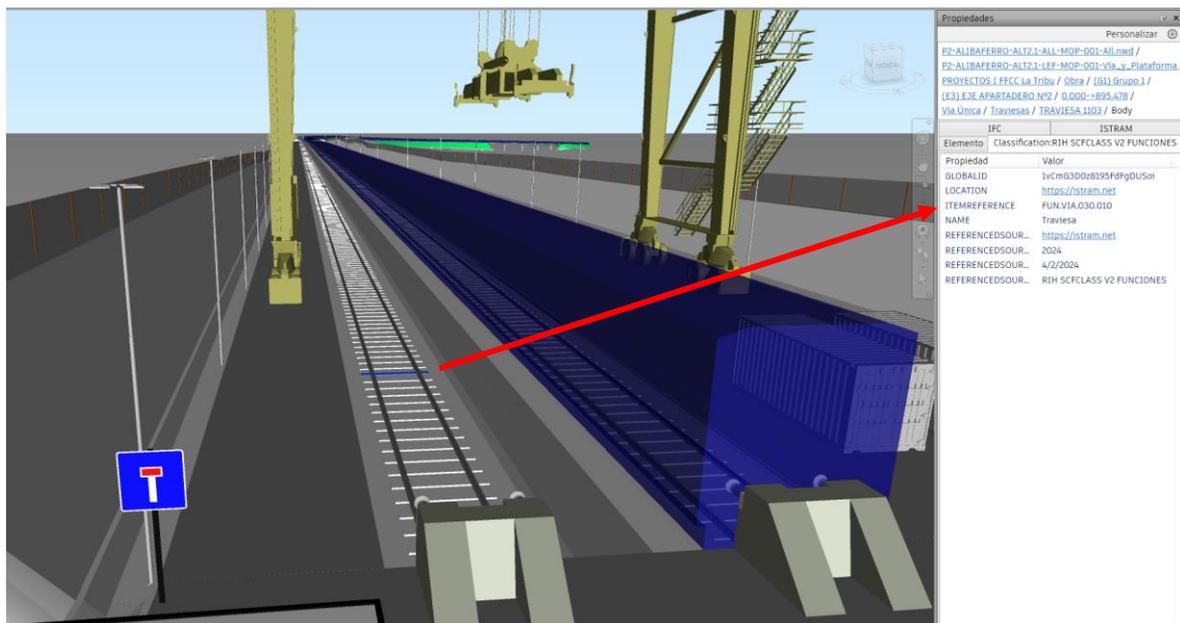


Ilustración 57. Modelo BIM con las funciones de clasificación RIH SCFClass V2 seleccionando una traviesa. (Elaboración propia)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

A pesar de que estas funciones o clasificaciones, no representan nuevas innovaciones o descubrimientos en el sector ferroviario, es interesante destacar su importancia en el desarrollo y evolución de la digitalización de la información.

### 5.5.2. Mobile Mapping

Siguiendo el hilo del tema de cómo es posible capturar el entorno adyacente con gran cantidad de datos, se distingue la tecnología denominada como “*mobile mapping*”, que poco a poco va tomando importancia en la actualidad, siendo una técnica avanzada de recopilación de datos geospaciales, empleando vehículos equipados con los sistemas MLS, es decir, con sistemas de sensores láser (TLS), cámaras de alta definición y sistemas de posicionamiento global (conocidos como GPS<sup>15</sup>) para capturar información tridimensional en multitud de campos, como puede ser en la infraestructura ferroviaria y su entorno adyacente, en la edificación, así como en la planificación urbana entre otras muchas, y es que en todas ellas se incluye el ámbito de la realidad virtual, ya que es posible visualizar las áreas mapeadas, además del empleo en la simulación de accidentes, haciendo posible evaluar diferentes escenarios.



Ilustración 58. Vehículo equipado con mobile mapping. (Leica Geosystems., 2019)

<sup>15</sup> El GPS es un sistema de navegación que emplea satélites espaciales para ofrecer información de la ubicación, la velocidad y el tiempo, asimismo, proviene del acrónimo de las siglas en inglés Global Positioning System.

---

*¿Qué se está haciendo en la actualidad?*

---

El mobile mapping produce un modelo topográfico y áreas en 3D, recogiendo cualquier activo u objeto que se encuentra en la zona de medición, como pueden ser los emboquilles, los intradós de las bóvedas de los túneles, los postes de catenaria, las señales, las luminarias, etc, es decir, la propia infraestructura existente que lo rodea, y si nos encontramos en otros entornos diferentes al ferrocarril, ocurre lo mismo.



*Ilustración 59. Entorno urbano capturado con Mobile mapping. (Leica Geosystems., 2019)*



*Ilustración 60. Líneas de alta tensión eléctricas capturadas con Mobile mapping. (Leica Geosystems., 2019)*

---

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

---

 ¿Qué se está haciendo en la actualidad?
 

---

Destacar que existen diferentes tipos de equipos de medición de datos con mobile mapping, cada uno adaptado a diferentes necesidades y situaciones de trabajo, pero todos ellos comparten las características de un láser escáner móvil o MLS, como se demuestra en la Ilustración 53. Sistemas que componen un Mobile Laser Scanner (MLS). (Elaboración propia).

La diferencia entre los equipos radica en el manejo del dispositivo, la productividad y la precisión de los datos que pueden llegar a tomar, por consiguiente, algunos equipos pueden ofrecer una mayor eficiencia en la toma de datos y/o una mayor precisión de la información.

Es por ello que la elección del equipo dependerá de las necesidades, situaciones del trabajo y del entorno en el que se vaya a emplear.

A continuación, se exponen los distintos equipos de la empresa Leica Geosystems.

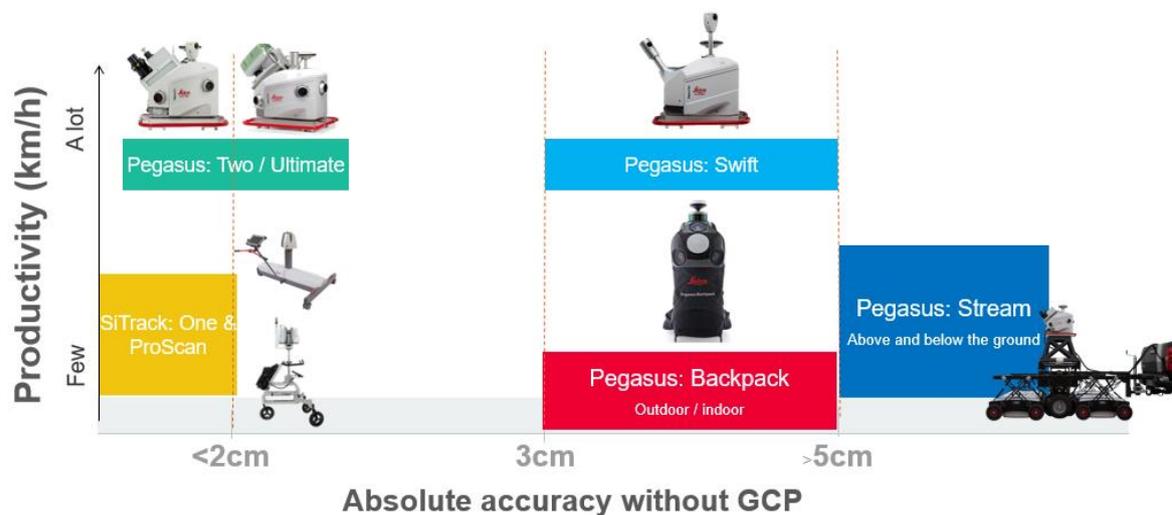


Ilustración 61. Tipos de equipos de mobile mapping de la empresa Leica Geosystems. (Leica Geosystems., 2019)

Como se puede apreciar, los diferentes tipos producidos por la empresa Leica Geosystems tienen sus particularidades y especificaciones, pero cada uno de ellos son adecuados para diferentes situaciones. Esto mismo ocurre en el mercado, pues los equipos dependen principalmente de la precisión, la productividad y el tiempo de medición de cada equipo.

Entre los equipos se destaca el sistema "Backpack", que aunque presenta poca productividad y valores de precisión respecto a un punto real de 5 cm, presenta la característica de poder acoplarse a la espalda del operario facilitando el transporte, ya que pesa alrededor de los 13 kg. Dicha productividad se ve reducida, llegando a medir unos 600.000 pt/s, pues la toma de datos se realiza a velocidad promedio de una persona. (Leica Geosystems., 2019)

Adicionalmente, cuenta con tecnología de Localización y Mapeo Simultáneo (SLAM) y una Unidad de Medición Inercial (IMU), que permite geolocalizarse en situaciones donde la señal del GPS es débil o nula, como por ejemplo en túneles.

---

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

---

 ¿Qué se está haciendo en la actualidad?
 

---

Por el contrario, este equipo puede llegar a capturar zonas de difícil acceso y lugares donde con los equipos más grandes no es posible, además del ahorro de tiempo en el montaje, ya que funciona como una mochila.



*Ilustración 62. Leica Pegasus: Backpack. (Leica Geosystems., 2019)*

Este sistema “Backpack”, cuenta con todos los elementos de un MLS, pudiendo ser utilizado en cualquier campo de la ingeniería, como es el sector ferroviario.

Asimismo, y aunque no se encuentre en los equipos de Leica mencionados arriba, cabe destacar el perro robot “Spot” desarrollado por la empresa leonesa Plain Concepts junto con la empresa estadounidense Boston Dynamics.

El robot Spot surge en un primer momento para realizar labores de videovigilancia y rescate. Pero sus funciones son muy variadas, pues puede utilizarse en cualquier campo que se desea, ya que cuenta con un avanzado diseño cuadrúpedo, capaz de moverse por terrenos difíciles y realizar tareas en entornos complejos.

Es por ello que es factible utilizarlo en el campo de la ingeniería, incluyendo el escaneo de nubes de puntos de infraestructuras.

Como se puede ver en la siguiente imagen, es posible acoplar en la parte superior del robot los sistemas MLS, es decir, sistemas de sensores láser (TLS), cámaras de alta definición y sistemas de posicionamiento global (GPS), para poder obtener la nube de puntos y conseguir un modelo 3D.

---

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*



Ilustración 63. Perro Robot "Spot" de Boston Dynamics. (Boston Dynamics, 2024)

Por otro lado, resaltar el modelo "SiTrack: One" del fabricante Leica Geosystems, que genera un modelo de nube de puntos de la infraestructura como el resto, pero que resulta bastante útil para recoger datos, tales como las deformaciones, la geometría del carril, ancho de vía, peraltes, la detección de la catenaria, etc.

Este equipo de reconocimiento de la red ferroviaria, incorpora un sistema Terrestrial Laser Scanner (TLS), como los mencionados anteriormente.

Asimismo, este equipo presenta varias singularidades siendo un Mobile Laser Scanner (MLS), pues no integra cámaras de alta definición, además, al igual que el equipo anterior, en túneles o zonas donde la señal GPS es débil o nula, el sistema puede funcionar sin necesidad de GPS, sin perder precisión, ya que dispone de un Instrumento laser de Medición de Distancias (DMI) y una Unidad de Medición Inercial (IMU), que realizan dicha función.

Este sistema se utiliza en la red ferroviaria apoyándose en los carriles, que mediante el empuje de un operario va avanzando y tomando datos.



Ilustración 64. Leica SiTrack: One. (Leica Geosystems., 2019)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

## ¿Qué se está haciendo en la actualidad?

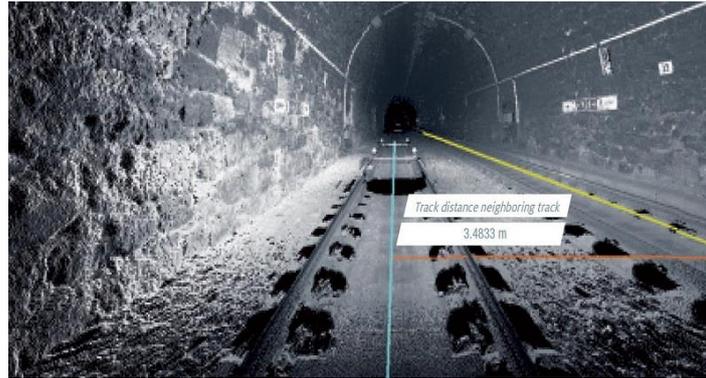


Ilustración 65. Captura de datos con Leica SiTrack: One. (Leica Geosystems., 2019)

Por último, mencionaremos el modelo “Pegasus: Two / Ultimate”, que es el más completo, ya que representa mayor nivel de productividad y precisión en los datos. Este sistema se acopla en los vehículos, enganchándose a un soporte.

Como se muestra en las imágenes de abajo, el equipo se puede montar en cualquier tipo de vehículo, ya sea coche, tren o barco, por lo que, de la misma manera, sirve para cualquier situación y entorno, haciendo posible la toma de datos y generando la nube de puntos georreferenciadas.

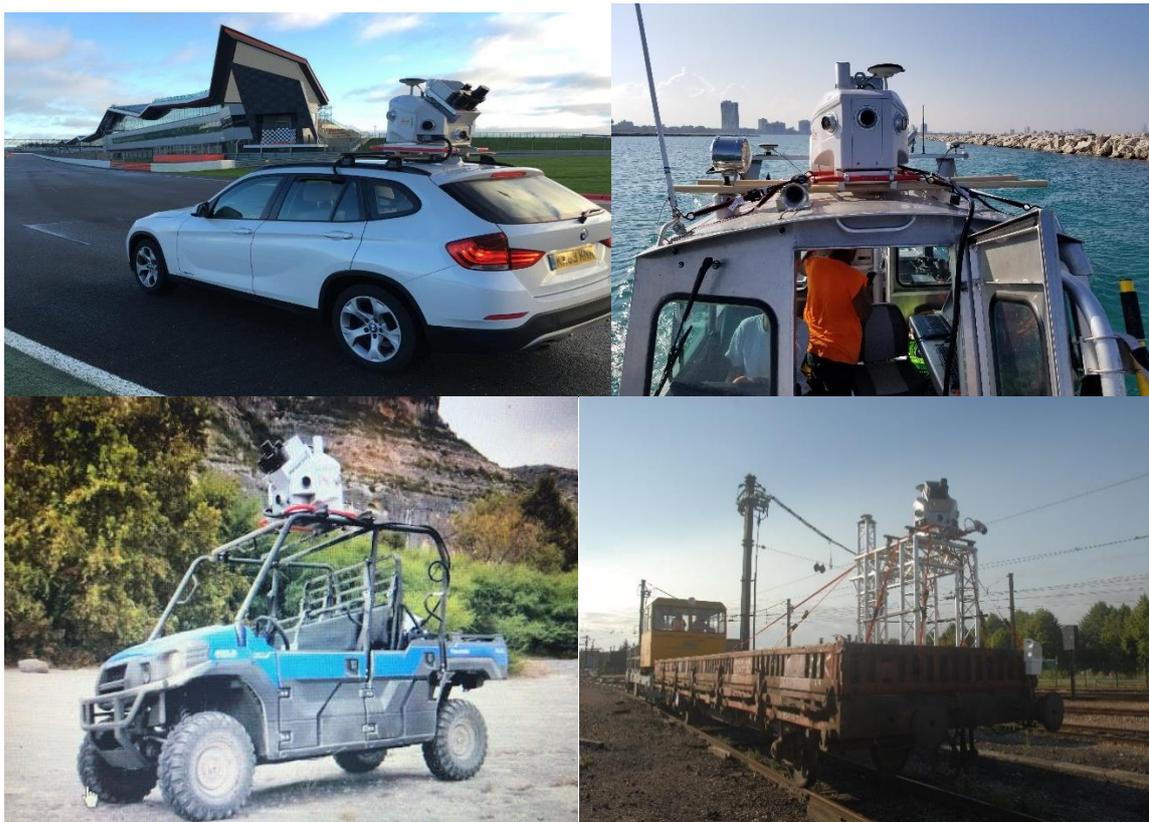


Ilustración 66. Pegasus: Two/Ultimate acoplado en diferentes vehículos. (Leica Geosystems., 2019)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

---

¿Qué se está haciendo en la actualidad?

---

Este tipo de modelo es el más habitual y utilizado en la ingeniería ferroviaria, ya que proporciona gran cantidad de información, y permite generar los modelos 3D que forman las nubes de puntos, para posteriormente analizar con mayor detalle los gálibos, geometría de la vía, deformaciones de los túneles, y en general, capturar todo lo que rodea a las vías.

Enfocándonos en el sector ferroviario, se emplean vehículos convencionales equipados con este tipo de sistema, con la particularidad que para circular por las vías ferroviarias se le han instalado unas ruedas especiales, como se puede apreciar en la Ilustración 58. Vehículo equipado con mobile mapping. (Leica Geosystems., 2019), que permiten recorrer la línea y así poder obtener los datos tridimensionales, que recogerá el entorno y la infraestructura adyacente.

Cabe señalar que, al igual que ocurre con el resto de equipos, incorpora una tecnología IMU y SPAM, que permite la localización cuando no se dispone de señal GPS, sobre todo en túneles. Pero, por ejemplo en escaneos de túneles considerables, es recomendable escanear desde el inicio del túnel y desde el final, hacia el medio del mismo, pues cuanto más tiempo conduzca al aire libre en buenas condiciones de satélite, más confiables serán los datos de la Unidad de Medición Inercial (IMU) el túnel en el medio o hacia el final de la misión cuando necesite confiar en ellos cuando no haya satélites.

Además, en la actualidad es posible montar estos vehículos equipados con dicho sistema en un vagón ferroviario, lo que hace interesante esta solución, es que puede recorrer la línea a una velocidad comercial con total normalidad y no afectar a la explotación ferroviaria, escaneando la vía con gran rapidez.



*Ilustración 67. Vehículo de mobile mapping montado en un vagón para el escaneo de la línea 200. (ADIF, 2023a)*

---

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

---

 ¿Qué se está haciendo en la actualidad?
 

---

Como se puede apreciar en la imagen anterior, el equipo se instala en un vehículo, que a su vez está montado en el último vagón, para no entorpecer en la toma de datos.

Esta imagen, corresponde con el escaneo de nube de puntos de una línea con equipo mobile mapping, pues se pretendía establecer dicha línea como una autopista ferroviaria, y por lo tanto, era necesario escanear todas las estructuras existentes y verificar si cumplían con el gálibo a implantar o colisionaba con dichas estructuras. De hecho, se escanearon 1.100 km en tan solo dos días.

Asimismo, se expone una tabla resumen con las especificaciones más destacadas de los equipos Mobile Mapping que hemos ido viendo.

*Tabla 20. Resumen de las especificaciones más destacadas de los equipos Mobile Mapping. (Leica Geosystems., 2019)*

	Precisión Relativa	Frecuencia del Escáner	Velocidad de medición
<b>Backpack</b>	2 – 3 cm	600.000 pts/s	3 - 5 km/h <sup>16</sup>
<b>SiTrack One</b>	0,3 – 0,5 cm	1.000.000 pts/s	3 - 5 km/h
<b>Pegasus: Two / Ultimate</b>	2 cm	1.000.000 pts/s	Hasta 120 km/h

Basándonos en la información comercial de Leica y las características de los equipos, se puede establecer que el sistema “SiTrack” presenta mayor precisión frente al resto, pero la velocidad de medición de los puntos es muy lenta comparado con la que puede llegar a tener el último equipo, que podría realizar la medición de 120 km en tan solo una hora, aunque se reduzca la precisión de los datos.

Esto es algo primordial, pues el tiempo juega un papel decisivo en la toma de datos. También viene en la misma línea la frecuencia del escáner, que cuanto mayor sea la recogida de puntos por segundo se considera más ventajoso, es por ello, que los dos últimos equipos son idénticos, mientras que el primero se reduce casi en la mitad la frecuencia.

Con todo esto, se concluye que el sistema más óptimo en cuanto a tiempos de medición es el “Pegasus Two / Ultimate”, equipo que veremos en profundidad, pues es de los más usados en la ingeniería ferroviaria y con el que se ha medido la nube puntos para el caso de aplicación del presente TFM.

---

<sup>16</sup> Estos equipos necesitan de un operario que empuje o lleve el equipo, siendo la velocidad media de una persona de 3 - 5 km/h.

### 5.5.3. Dresinas

Por otro lado, también son comunes utilizar dresinas, que aunque son vehículos destinados al mantenimiento, apoyo e inspección de las vías ferroviarias, se le ha dado un aspecto más moderno, dotándoles de la tecnología mobile mapping, que de la misma forma que el resto, genera las nubes de puntos a través del escaneo laser, las cámaras y los sistemas de posicionamiento global.



*Ilustración 68. Dresina equipada con sistema mobile mapping. (Ingeniería INSITU., 2017)*

Las dresinas circulan a unas velocidades muy reducidas, por lo que la toma de datos es muy lenta y ralentiza tener una nube de puntos completa de la línea. Esto es un gran inconveniente ya que puede interferir en la operación habitual de la red.

Una de las ventajas de las dresinas, es que puede acceder a vías de difícil acceso, como túneles con gálibos reducidos, donde con otros sistemas no es posible llegar.

También es posible montar los dispositivos de mochila, que se mencionaron anteriormente, en una dresina. Dresina que simula la espalda del operario y donde el equipo se ata en la parte trasera de una forma peculiar.



*Ilustración 69. Equipo de mobile mapping atado en la parte trasera de una dresina. (Leica Geosystems., 2019)*

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

#### 5.5.4. Comparación Mobile Mapping y TLS

El escaneo láser terrestre (TLS) y el escaneo láser móvil (MLS) ofrecen diferentes ventajas según las necesidades y situaciones que se deseen medir. El TLS, proporciona nubes de puntos de alta densidad y gran precisión como podemos ver en las especificaciones del equipo seleccionado, ideal para escenarios que requieren un alto nivel de detalle y donde el tiempo no es una limitación crítica.

Sin embargo, el TLS requiere el transporte del equipo a diferentes posiciones, contando con los condicionantes mecánicos y humanos que hemos mencionado con anterioridad, lo cual hace perder gran cantidad de tiempo en tramos considerables.

Por otro lado, el mobile mapping, es un dispositivo móvil, que permite realizar levantamientos rápidos en menos tiempo y de forma continua a lo largo de un tramo o línea, sin necesidad de realizar paradas. No obstante, la densidad de puntos y la precisión del mobile mapping son algo inferiores a las del TLS.

Además, el mobile mapping presenta varias desventajas, pues necesita disponer de una dresina o vagón donde incorporar el equipo y realizar la medición, aparte del inconveniente de obtener los permisos para poder montarlos en vía y retrasos en los trámites que estos conllevan.

Asimismo, la comparación entre ambos equipos se ha llevado a cabo en varios estudios como es el caso de Ryding et al., (2015), que aunque se base en un contexto forestal, se considera válido, pues en dicho estudio se realiza dicha comparación en campo, demostrando que los equipos de escaneo móvil obtienen mayor área de cobertura, además de estimar que es entre unas 12 a 40 veces más rápido que un equipo TLS, es por ello, que el TLS no tiene ventaja al ser comparado con equipos de mobile mapping, y esto es precisamente por el tiempo. (Ryding et al., 2015)

Del mismo modo ocurre en estudios como el de Liang, X et al. (2016), que compara un sistema MLS de "Backpack" como el que se ha mencionado anteriormente, con un equipo TLS, llegando a las mismas deducciones. (Liang et al., 2014)

Cabe destacar, que las precisiones de mobile mapping al estar guiado por GPS son bastante bajas, sobre todo en zonas con baja cobertura, por lo que, para obtener buenas precisiones, es necesario complementarlas con una buena campaña de dianas con topografía clásica.

Con esto y con las especificaciones que podemos apreciar de los diferentes equipos, se concluye que el TLS es conveniente para situaciones que demandan alta precisión, mientras que el equipo MLS es más adecuado para levantamientos rápidos y tramos con grandes longitudes.

#### 5.5.5. Aplicaciones Software comerciales

Por otro lado, cabe señalar que existen varias aplicaciones que una vez se ha realizado la medición de la nube de puntos con los equipos, se pasa a una segunda fase de procesamiento de los datos, para posteriormente, obtener diferentes resultados con una gran variedad de funciones útiles.

---

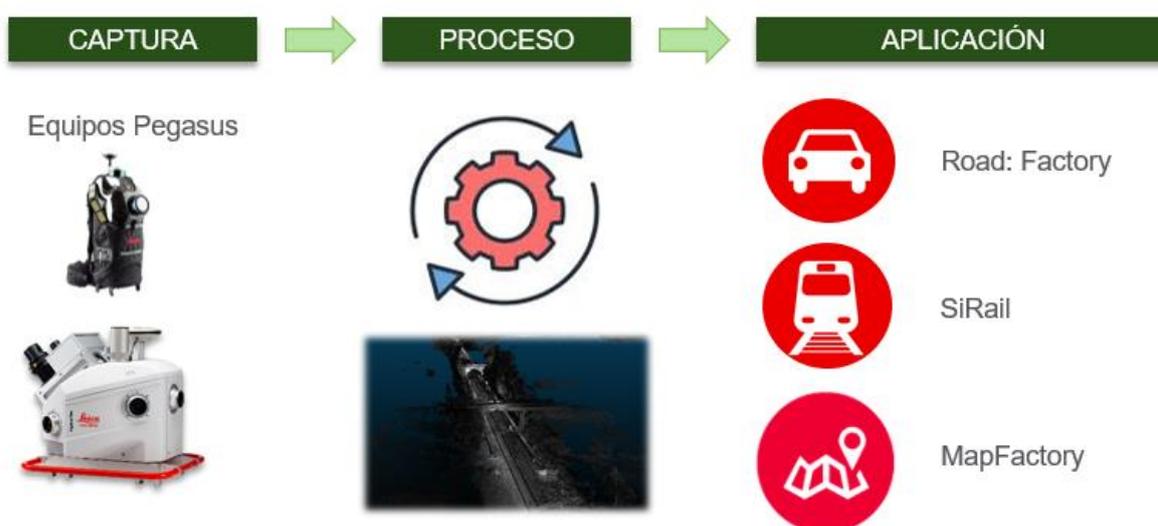
 ¿Qué se está haciendo en la actualidad?
 

---

Estas aplicaciones son comerciales, y como tales, para poder utilizarlas es necesario la compra de licencias.

Se destaca la empresa Leica, que no solo se dedica a fabricar equipos de alta precisión, sino que ha apostado por una herramienta software con múltiples funciones que completan a sus dispositivos de medición, y que es conveniente mencionar.

El objetivo, es proporcionar al usuario una herramienta de procesamiento y sincronización de las nubes de puntos, así como el posterior procesamiento de los datos y el control de la situación actual y as-built, mediante un conjunto de funciones para el análisis y conservación de la infraestructura ferroviaria.



*Ilustración 70. Flujo de trabajo del software de Leica. (Elaboración propia)*

Como se puede apreciar, existen diferentes modos destinados a varios sectores. Entre ellas, señalamos el sistema SiRail desarrollada por Leica, que se enfoca en el sector ferroviario.

El paquete SiRail es un sistema de inspección y gestión de la infraestructura ferroviaria que incluye multitud de funciones, entre las que se compone los módulos de SiRailScan, y Atrack, que permite la optimización de los parámetros de la geometría de la vía realizando cálculos en las alineaciones y alturas de la vía.

El módulo denominado como SiRailScan contribuye significativamente a la mejora en el monitoreo y control de las condiciones de la red ferroviaria, análisis de deformaciones y cálculos de volúmenes.

Asimismo, incluye procesos de ajuste de la geometría de la vía, detección de colisiones con cualquier perfil de gálibo estructural, análisis de deformaciones de túneles seguido de cálculos de volumen y exportación de las diferencias entre el diseño y el as-built, evaluación del balasto y cálculo de volumen, así como la combinación de nubes de puntos con imágenes georreferenciadas. (Leica Geosystems., 2015)

---

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*



Ilustración 71. Módulo SiRailScan identificando carriles, entreje y LAC en una nube de puntos. (Leica Geosystems., 2019)

Por otro lado, el módulo Atrack, permite la optimización de los parámetros de la geometría de la vía realizando cálculos en las alineaciones y alturas de la vía, comparando la vía diseñada con la vía as-built. Además, se integra el módulo AXTRAN dentro de este sistema, donde es posible reconocer y calcular los parámetros de los elementos de la vía, tales como radios, longitudes, así como clotoides, rectas, etc. (Leica Geosystems., 2015)

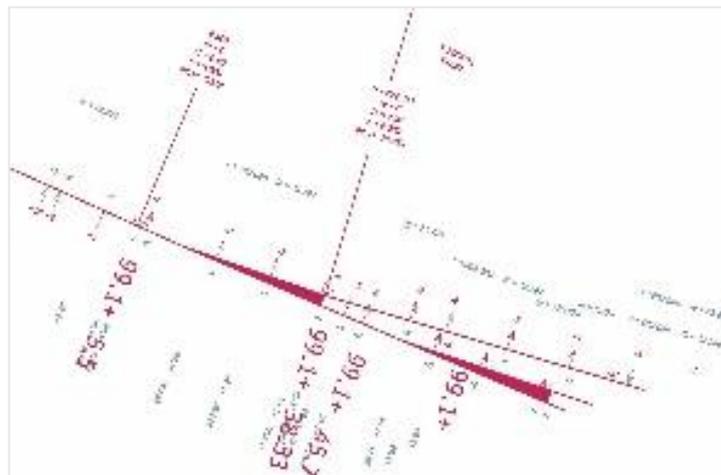


Ilustración 72. Módulo Atrack reconociendo parámetros de vía. (Leica Geosystems., 2019)

Pero en general, el software SiRail incluye funciones de detección de la línea aérea de contacto (LAC), determinación de la geometría de vía, clasificación de objetos, análisis de deformaciones en túneles, cálculos de colisiones entre la infraestructura actual y el gálibo, tanto en 2D como en 3D (estático y dinámico), además de cálculos automatizados de diferencias entre la infraestructura proyectada y la construida.

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

## ¿Qué se está haciendo en la actualidad?

Según aclara el fabricante, este tipo de software puede procesar un conjunto de datos de un túnel de unos 3 km en tan solo 26 minutos, determinado tanto los carriles, la catenaria, así como la infraestructura que lo rodea. (Leica Geosystems., 2019)

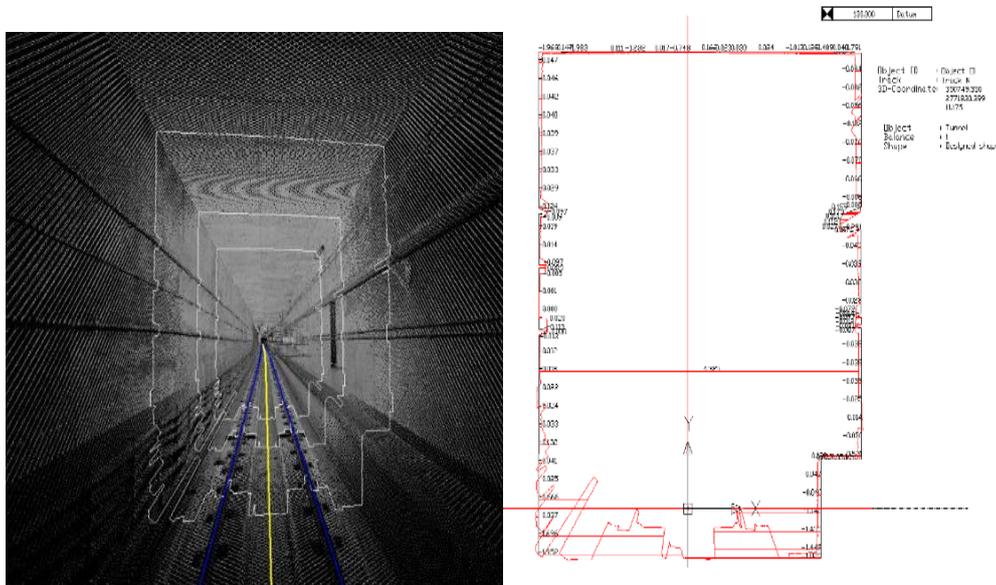


Ilustración 73. Identificación de hastiales y bóveda actual de un túnel con el software SiRail con nube de puntos. (Leica Geosystems., 2019)

Pero resulta interesante hacer hincapié en la función de colisiones, pues el sistema puede detectar esas áreas u objetos problemáticos que interfieren con el gálibo, entre otros.

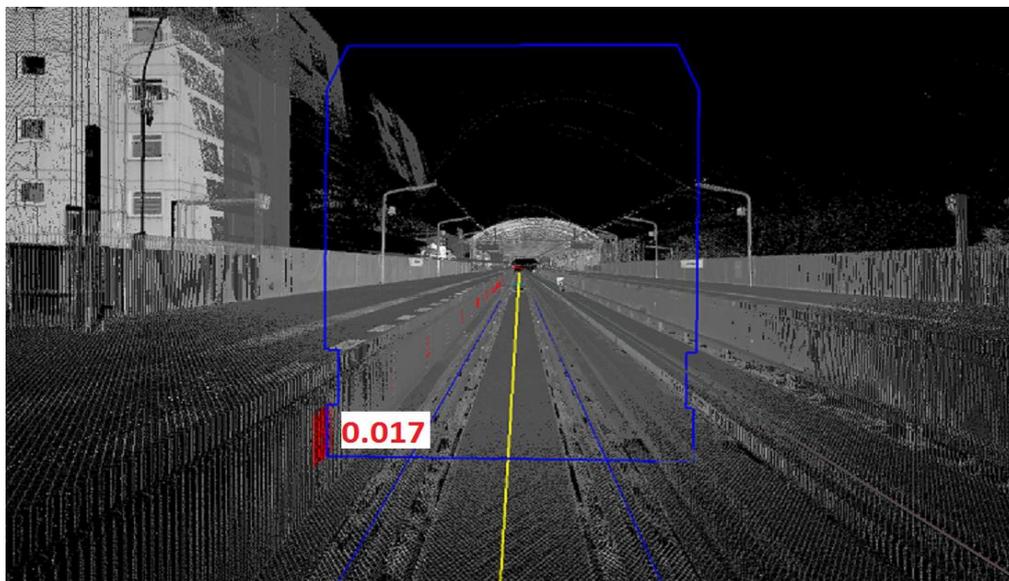


Ilustración 74. Colisiones entre infraestructura existente y gálibo con el software SiRail con nube de puntos. (Leica Geosystems., 2019)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Según se ha indicado en el objetivo del TFM, el presente documento consiste en determinar las colisiones que se pueden producir entre la infraestructura y el gálibo de implantación de obstáculos mediante nube de puntos, de una manera sencilla y sin necesidad de recurrir a soluciones comerciales que son imprescindibles comprar sus correspondientes licencias.

## 5.6. Nube de puntos como un sistema innovador

Todos estos equipos de mobile mapping que se han ido comentando, generan un modelo digital a través de las nubes de puntos, pero carecen de utilidad para la determinación de los gálibos ferroviarios.

Es por ello que en el presente TFM, se dará un enfoque innovador mediante la aplicación de la nube de puntos para determinar los gálibos, mediante una metodología capaz de sacar el gálibo existente, que enfrentado con un gálibo mayor que es el que se quiere implantar en la línea, cree los conflictos y se conozca que áreas y volúmenes se encuentran afectados, todo ello, con un sistema que permite visualizarlo en primera persona.

### 5.6.1. ¿En qué consiste la nube de puntos?

En los últimos años, los modelos de información han ganado popularidad desde su primera aparición hace casi tres décadas. En un primer momento, la creación de los modelos de información se enfocaba exclusivamente en la edificación, pero a medida que se iba avanzando en esta tecnología a lo largo del tiempo, el resto de las materias, como la ingeniería ferroviaria, se iban uniendo a este novedoso modelo de información, de tal forma que ahora mismo es apto para cualquier infraestructura (Sánchez Rodríguez, Ana, 2021)



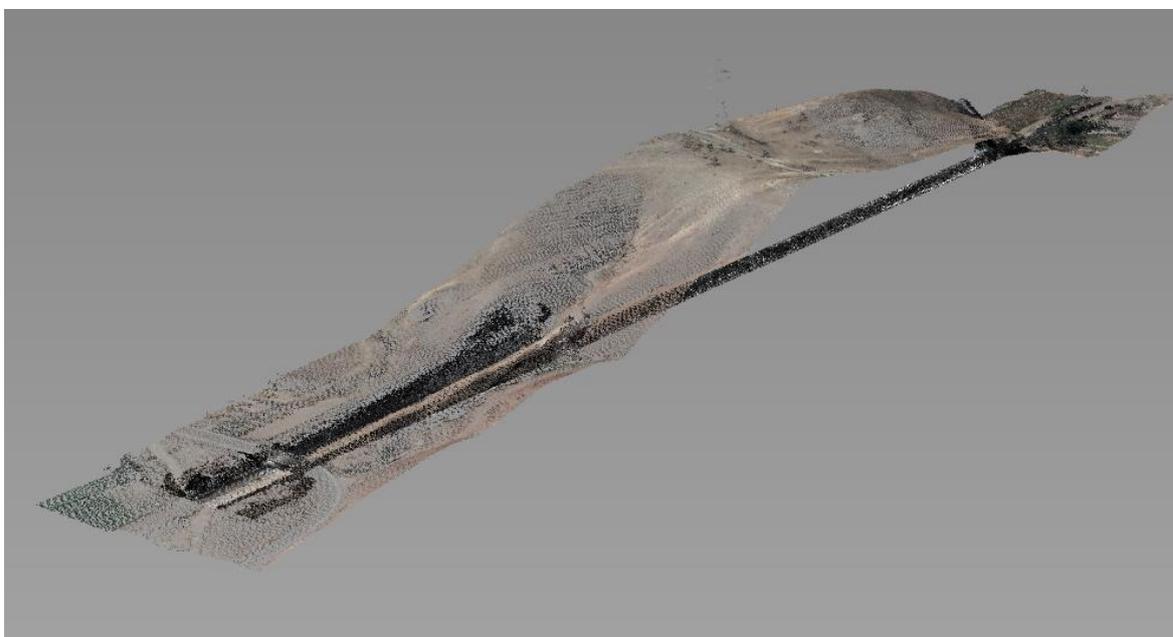
Ilustración 75. Componentes y sistemas que componen un equipo de mobile mapping apto para generar nube de puntos. (Leica Geosystems., 2019)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Todos los equipos, y en definitiva el mobile mapping, cuenta con la tecnología LiDAR (Light Detection And Ranging), que consiste en unos sensores que emiten puntos láser hacia el terreno o superficie y miden el tiempo que tarda cada pulso en ser reflejado en el equipo, calculando así la distancia entre el sensor y los objetos.

Estos sensores, se combinan con cámaras de alta resolución y sistemas de posicionamiento global (GPS) en los equipos de mobile mapping, creando nubes de puntos, que a su vez generan modelos digitales y mapas tridimensionales 3D.

Cabe destacar que en el conjunto de estos elementos, se emplean técnicas geomáticas<sup>17</sup>, pues cada punto de la nube de puntos, presenta sus coordenadas espaciales georeferenciadas (x, y, z) totalmente diferentes unas con otras, de tal manera que se establece un espacio con información geográfica, que generando un modelo 3D.



*Ilustración 76. Nube de puntos del caso de estudio. (Elaboración propia)*

A través de la nube de puntos, se crea una representación real y precisa de la situación existente, de la que contiene gran cantidad de información, permitiendo analizar las diferentes alternativas del proyecto y evaluar su viabilidad, así como verificar la compatibilidad de las actuaciones proyectadas en fase de diseño con el modelo.

---

<sup>17</sup> Las técnicas geomáticas se refieren a la aplicación de tecnologías geoespaciales para capturar, gestionar, modelar, analizar y representar información geográfica asociada al territorio.

---

Otras soluciones que también plantea este sistema son el empleo en los modelos As-Built, así como formatos Open BIM y vectorización.

#### 5.6.1.1. Análisis de Patologías

Además de las coordenadas espaciales, cada punto de la nube de puntos ofrece más información adicional, como pueden ser los parámetros de intensidad de retorno del láser, la marca de tiempo de la captura, el ángulo de desviación del punto con respecto al sensor, y los colores RGB, que pueden variar, según los valores rojo, verde y azul, e incluso en función de la intensidad, elevación o de los colores del objeto original.



*Ilustración 77. Nube de puntos en línea C9 de Cercanías Madrid (Los Cotos-Cercedilla). (Railway Innovation Hub, 2018)*

En la imagen de arriba, se puede apreciar la nube de puntos con una escala de grises, esto se basa en el valor de intensidad de devolución del pulso láser, debido a que los equipos identifican un valor de intensidad para cada punto durante el proceso de captura, identificando los tonos claros como puntos de baja intensidad, mientras que los tonos más oscuros corresponden con los de alta intensidad.

De esta misma manera, el parámetro de la elevación se puede representar con escala de grises o incluso con otros colores, reproduciendo tonos claros y oscuros dependiendo de la altitud.

En este camino, también es posible analizar el estado del revestimiento de un túnel, mapeando las patologías mediante códigos de colores e incluso detectar presencia de agua o rozaduras. Los equipos de laser escáner pueden proporcionar este tipo de información, que posteriormente se

---

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

procesaría en programas específicos, obteniendo una evaluación completa del estado del túnel o de cualquier estructura.

Entre las principales patologías que puede presentar en un túnel, obtenemos:

- Áreas húmedas: aquellas zonas del sostenimiento o revestimiento del túnel en las que aparecen restos de humedades, eflorescencias o antiguas filtraciones.
- Áreas mojadas: zonas del sostenimiento o revestimiento del túnel en las que aparecen claras marcas de mojado por filtraciones.
- Erosión: áreas donde la sillería presente algún grado de erosión.
- Oquedad: Se trata de huecos o cavidades presentes en el sostenimiento o revestimiento
- Rozadura de trenes: Se trata de arañazos con orientación longitudinal observados en el paramento del túnel, aparentemente originados por rozaduras de trenes
- Deformaciones: zona donde el sostenimiento se ha visto modificado con respecto a su forma original, generándose en este caso, un ligero abombamiento

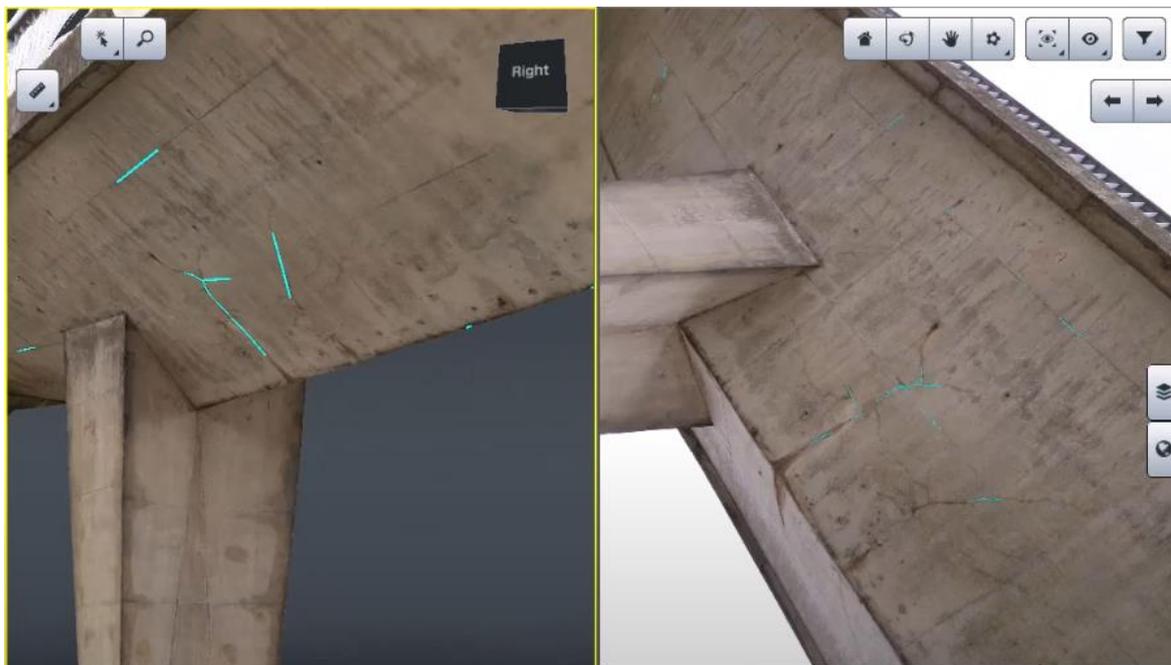


Ilustración 78. El escáner GRP-5000 de Amberg Group. (Amberg Group., 2024)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Equipos de laser escáner como los de la empresa Amberg Group y su software comercial AmbergRail, pueden analizar el estado del revestimiento y detectar posibles patologías, humedades, fisuras, roturas, etc

También aplicaciones como iTwin Capture de la empresa Bentley, puede llegar a detectar fisuras en la infraestructura de hormigón mediante un archivo .las de nube de puntos, pues presentan herramientas y extensiones que permiten la detección automática de patologías.



*Ilustración 79. ITwin Capture con la herramienta Crack Detection en un paso superior.(Bentley, 2023)*

Son muchos los beneficios que se obtiene con la tecnología de nube de puntos, es por ello que se presenta a continuación el siguiente apartado.

### 5.6.2. Ventajas y desventajas

La tecnología de nube de puntos al igual que otras, presenta ventajas o desventajas que hay que analizar y valorar si en el cómputo global es beneficioso para el desarrollo de los trabajos.

Entre las principales ventajas del uso de nube de puntos se encuentra el ahorro de costes, ya que puede contener una significativa reducción o incluso eliminación de costosas visitas repetidas al lugar de trabajo, así como el coste del tiempo que supondría.

Esto se corresponde con todos los equipos de terrestre laser escáner, aerial laser escaner y mobile mapping, que capturan multitud de datos y permiten obtener toda la información necesaria en una sola pasada.

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Además, los levantamientos de proyectos son más exactos y completos gracias a los escaneos con nube de puntos, lo que disminuye la posibilidad de errores que podrían requerir correcciones y demoras en el proyecto.

Adicionalmente a la toma de datos, no es necesario luz natural o artificial para escanear el entorno, pues el propio equipo permite generar la nube de puntos en bandas de mantenimiento o en períodos nocturnos donde la explotación ferroviaria es nula.

Asimismo, los períodos de inactividad se reducen debido a la rápida captura de la escena sin obstáculos con un mínimo equipamiento en campo, manteniendo la infraestructura operativa sin interrupciones.

Pero, señalar que una ventaja característica que tiene generar nube de puntos con mobile mapping, es la gran cantidad de información y de puntos que se obtienen a lo largo de la línea o tramo a estudiar en comparación con el sistema Terrestrial Laser Scanner (TLS), además de la capacidad de obtener la nube de puntos en un menor tiempo. (Sánchez Rodríguez, Ana, 2021)

Esto significa que los resultados y la obtención de la nube de puntos es muy rápida, además de que los datos escaneados son de alta calidad, obteniendo mucho nivel de detalle que posteriormente servirá en el modelo.

Por otro lado, destacar que el escaneo se realiza a través de dispositivos que se suelen montar encima de vehículos, lo que reduce la necesidad de que el personal se exponga a entornos peligrosos o cercanos a las zonas de peligro de la vía.

Aparte de lo mencionado, sirve para inspeccionar el estado de la infraestructura y determinar sus patologías, sirviendo para la planificación del mantenimiento. Todo ello con la integración de un entorno BIM, en el que se puede modelar y facilitar la colaboración entre diferentes partes involucradas en un proyecto.

No obstante, a pesar de las múltiples ventajas, la inversión inicial en esta tecnología de escaneo láser, el software comercial (en el presente TFM se dan las herramientas para realizar la metodología de cálculo para la detección de la infraestructura escaneada y los gálidos) y la formación del personal puede ser elevada, lo que representa una barrera para las consultoras y administradores de infraestructuras que deseen implementar esta tecnología.

Además, la realización de escaneos con mobile mapping requiere la disponibilidad de una dresina o tren, así como obtener permisos para montar en vía, lo que puede implicar trámites largos y complicados, retrasando el inicio del proyecto.

También hay que tener en cuenta, que la nube de puntos genera grandes cantidades de archivos y que hay que guardar y procesar, lo que requieren un adecuado espacio de almacenamiento y procesamiento. Esto puede implicar costos adicionales y la necesidad de soluciones tecnológicas avanzadas para gestionar eficientemente la información.

Adicionalmente en entornos con muchas obstrucciones o condiciones ambientales adversas, la precisión del escaneo puede verse comprometida, requiriendo métodos complementarios para obtener datos completos y precisos.

Además, la tecnología de escaneo y los softwares comerciales asociados requieren actualizaciones y mantenimiento regulares para asegurar su precisión y eficiencia, lo que puede añadir costes recurrentes y dependencias técnicas a largo plazo.

### 5.6.3. ¿Qué se está haciendo en la actualidad con nube de puntos?

En la actualidad, la nube de puntos se encuentra en auge, y es que como ya hemos descrito a lo largo del presente TFM, presenta grandes ventajas que lo hacen un sistema primordial para su empleo en el sector ferroviario.

Destacar que la principal característica es el empleo en el escaneo de las infraestructuras ferroviarias, para acondicionar o renovar las líneas de la RFIG, adecuando túneles, pasos superiores, vías, etc a los futuros retos, o incluso para mantener la línea en buen estado.

Los escaneos con la innovadora tecnología de nube de puntos permiten una evaluación precisa de túneles, puentes y vías férreas. Esta tecnología, poco a poco se va incorporando en los proyectos ferroviarios, agregando los beneficios de su aplicación en los proyectos constructivos.

De hecho, actualmente en algunos pliegos de prescripciones técnicas particulares, se están incluyendo como entregables BIM, así como para ajustar la definición en planta y alzado del trazado teórico de partida.

Además, se puede obtener un modelo 3D con la infraestructura existente y proyectar las actuaciones necesarias para acometer el objetivo que se tenga, de tal manera que se facilite la detección de conflictos o problemas en el diseño, que pueden ser resueltos.

No cabe duda de que, la nube de puntos también se emplea en la inspección y mantenimiento de la infraestructura existente, haciendo posible la planificación de las actuaciones a proyectar.

### 5.6.4. Solucionar la problemática de los gálibos con nube de puntos

Resulta interesante la tecnología de nube de puntos, es por ello que en el presente TFM abordaremos dicha tecnología con la aplicación de detectar los posibles conflictos entre la infraestructura con nube de puntos y los gálibos, en los apartados de metodología en adelante.

Pero ¿qué soluciones se toman cuando se han detectado conflictos entre la infraestructura escaneada con nube de puntos y un gálibo determinado?

Pues bien, como tenemos una herramienta idónea para el escaneo de túneles, pasos superiores, etc, que toma gran cantidad de datos y nos proporciona un modelo real y existente, se puede comprobar que soluciones son las más adecuadas y replicarlo en el propio modelo 3D.

En general se pueden optar por muchas opciones, pero las más comunes y las que se llevan a cabo son las siguientes:

- Desplazar o ripar lateralmente el eje de la vía, así como centrados de vía.
- Rebajes de la plataforma.
- Disminuir el peralte, lo que reducirá la velocidad de circulación en ese punto.
- Disponer vía en placa, a fin de eliminar los posibles desplazamientos laterales y defectos de nivelación de la vía, así como las interacciones entre vehículo y vía.
- Ampliación de la sección del túnel.
- Utilizar gálibos de implantación de obstáculos nominales o límites.

Todas estas soluciones, son consecuencia de la detección de conflictos entre la infraestructura existente y los gálibos.

Es viable compaginar varias soluciones a la vez, pues se pretende impedir los conflictos.

Cabe señalar que la ampliación de gálibos ferroviarios es bastante importante, pues en de ocasiones es la única solución ante las interferencias entre infraestructura y gálibos, o por lo menos, tras combinar varias de las actuaciones, sigue sin resolverse, por lo que se deberá ejecutar una ampliación lateral de algún hastial y bóveda del túnel.

#### 5.6.4.1. Ampliación lateral de gálibos

Cuando se pretende realizar ampliaciones laterales por motivo de las colisiones del gálibo contra la infraestructura, las actuaciones consisten en la demolición completa del revestimiento existente, si fuera el caso, y la excavación de la roca alrededor de los túneles.

Estas actividades se realizan por pases de 1,5 a 3,0 m de longitud, en función de las características geotécnicas del terreno.

Al final de cada pase de demolición de revestimiento y excavación de roca, se coloca el sostenimiento correspondiente a la calidad del terreno y se repite el ciclo.



*Ilustración 80. Ampliación de túnel con demolición de revestimiento y aplicación posterior de sostenimiento. (ADIF, 2023a)*

El revestimiento existente deberá ser demolido por medios mecánicos, como por ejemplo con retroexcavadoras con martillo o rozadoras, mientras que la excavación en roca podrá hacerse por medios mecánicos o con el empleo de voladuras.



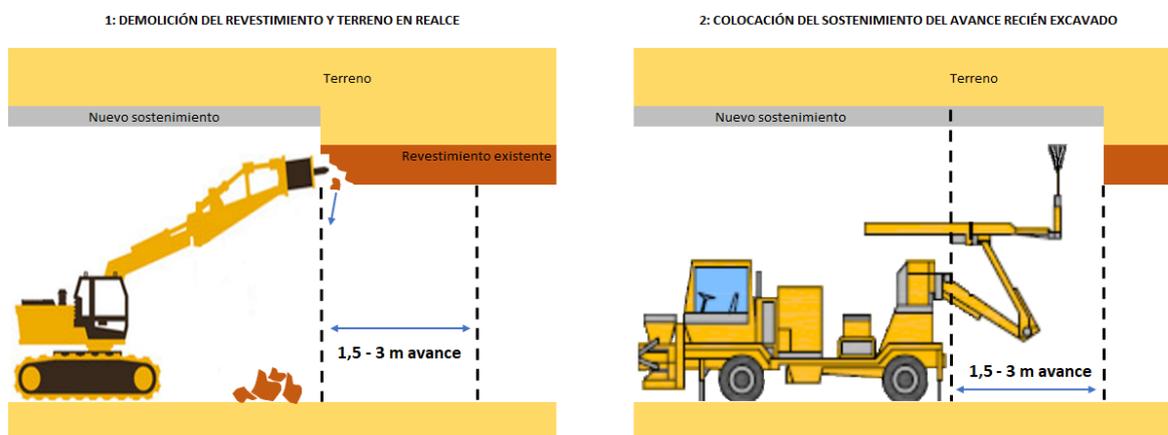
*Ilustración 81. Excavación con rozadora (izquierda) y con explosivos (derecha). (ADIF, 2023a)*

Los sostenimientos a proyectar, dependen del tipo de terreno donde se excave, que varían entre terrenos más competentes y menos competentes.

Asimismo, se instalan sistemas de impermeabilización para garantizar la estanqueidad del revestimiento y posteriormente se hormigonará el revestimiento.

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

A continuación, se muestra una ilustración esquemática del proceso de demolición y colocación del revestimiento.



*Ilustración 82. Secuencia cíclica de avances entre 1,5-3 m y posterior colocación de sostenimiento en el avance realizado. (ADIF, 2023a)*

Destacar que una vez se finalicen estas operaciones de ampliación de hastiales y bóvedas, es cuando se llevan a cabo las actuaciones de superestructura.

Sin embargo, para realizar este tipo de actuaciones es habitual el corte de la circulación de trenes, puesto que se afecta a la seguridad de la explotación.

Pero en la actualidad existen tuneladoras que son capaces de ampliar las secciones de túneles, permitiendo el tráfico ferroviario y viario, mientras se realizan los trabajos de excavación y la posterior ejecución del sostenimiento.

#### 5.6.4.2. Novedoso caso de éxito en la ampliación de gálibos

Existe un sistema de ampliación de gálibos en túneles con máquinas TES (Tunneling Enlargement System) que como ya hemos comentado, permiten el tráfico ferroviario por medio de la red electrificada sin tener que desviarlo, mientras se está trabajando en los hastiales y bóvedas del túnel.

Este sistema surge de la necesidad de adecuar y ampliar las secciones de los túneles de cierta antigüedad, que actualmente se encuentran obsoletos debido a las nuevas normativas, que aumentan los criterios de seguridad de los trenes y hacen que los gálibos sean insuficientes en estos túneles.

La primeras aplicaciones y ejecuciones de ampliación de túneles con esta maquinaria se encuentran en Alemania, en concreto en los túneles de Jähroder y Mausenmühlen, ejecutándose con gran éxito. (Suárez de la Riera, Í., 2017)



*Ilustración 83. Máquina TES Herrenknecht D-835 utilizada en túneles del tramo Irún-Astigarraga. (Suárez de la Riera, Í., 2017)*

En la anterior imagen se muestra la maquinaria Herrenknecht D-835, de la empresa Herrenknecht Ibérica, que se empleó en el proyecto para la ampliación de gálidos en los túneles de Gaintzurizqueta (535 metros de longitud), Loyola (288 metros de longitud) y Capuchinos (196 metros de longitud), en el tramo Irún-Astigarraga de la Línea 100 Madrid – Irún. (Suárez de la Riera, Í., 2017)

El objetivo del proyecto era ampliar los gálidos en tres túneles, permitiendo la instalación de un tercer carril sin interrumpir el tráfico ferroviario, con la electrificación en funcionamiento.

El funcionamiento de la máquina se realiza sobre zapatas provisionales con un perfil metálico embebido que actúa como carril de guiado y por donde la máquina se mueve sobre unas ruedas metálicas. (Suárez de la Riera, Í., 2017)

Durante la operación de ampliación, el tráfico ferroviario debe cambiar de vía doble a una vía única de forma provisional, y la catenaria se centrará provisionalmente sobre las zapatas auxiliares.

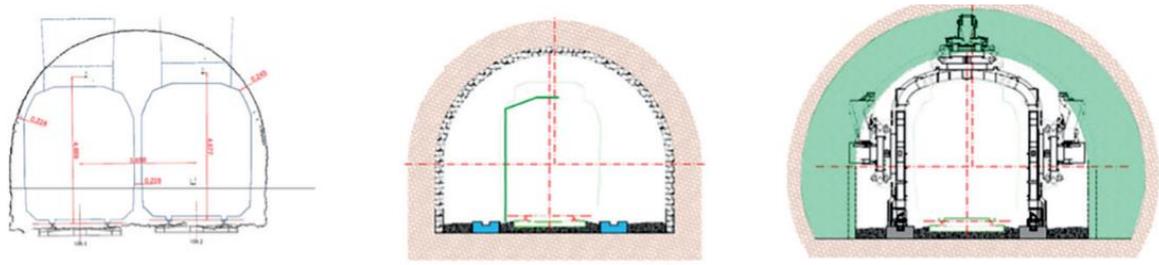


Ilustración 84. Fases de ejecución de Herrenknecht D-835. (Suárez de la Riera, Í., 2017)

Las principales unidades de las que se compone la maquinaria de ampliación de túneles son las siguientes:

- Unidad de sostenimiento: Soporta la bóveda original del túnel durante los trabajos de excavación y sostenimiento.

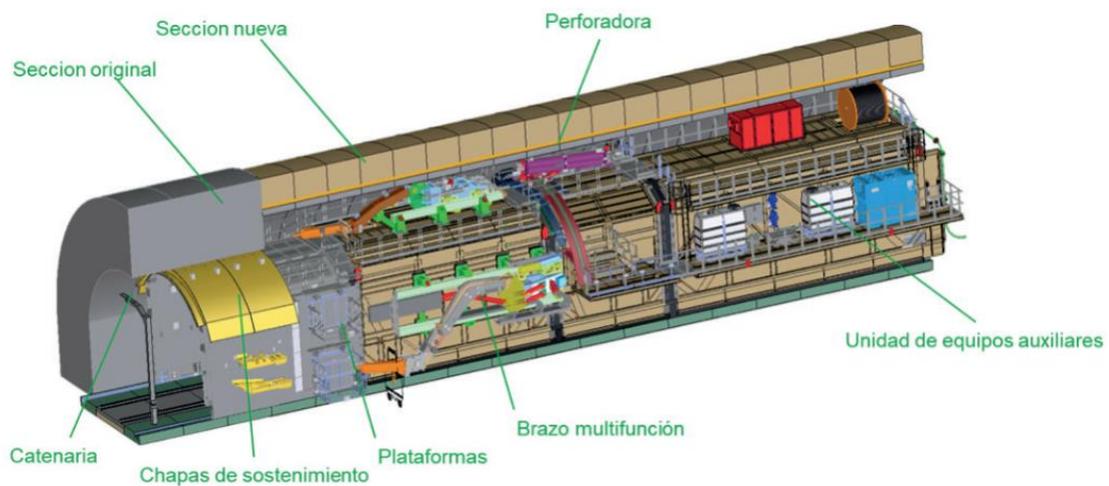


Ilustración 85. Estructura del TES. (Suárez de la Riera, Í., 2017)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

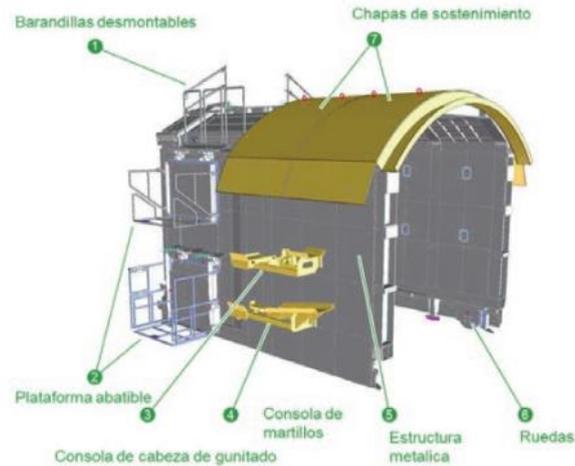


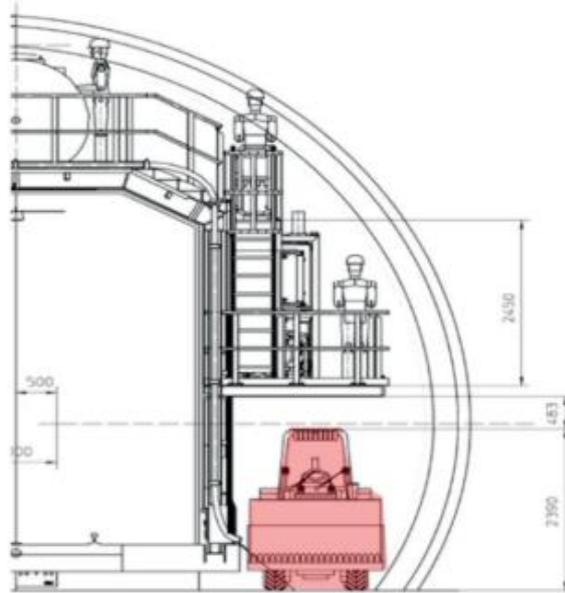
Ilustración 86. Unidad de sostenimiento del TES. (Suárez de la Riera, Í., 2017)

- Unidad de excavación y gunitado: Se encarga de la excavación del revestimiento original y el terreno hasta alcanzar la sección deseada, y que posteriormente se realiza el gunitado (proyección de hormigón) del túnel con un espesor determinado.

Destacar que una vez excavado, es necesario retirar el escombros de la propia excavación con vehículos para desescombrado.

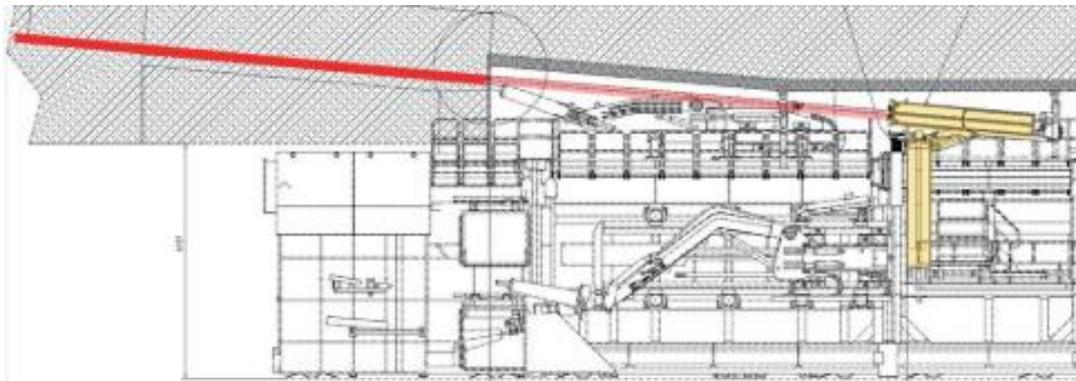
Sobre la capa de gunita se colocan cerchas de sostenimiento, y sobre estas se vuelve a proyectar una capa de gunita, de tal forma que se establece el sostenimiento provenzal.

Tras finalizar la excavación y el sostenimiento provisional, se acomete la impermeabilización de los hastiales y bóvedas del túnel.



*Ilustración 87. Vehículo para desescombrado tras la excavación. (Suárez de la Riera, Í., 2017)*

- Unidad de perforación: Realiza las perforaciones necesarias para la ampliación mediante unos brazos perforadores y en la que se la instalación de paraguas de micropilotes, proporcionando soporte adicional.



*Ilustración 88. Sección longitudinal de perforación con sobreexcavación. (Suárez de la Riera, Í., 2017)*

- Unidad de equipos auxiliares: Incluye los equipos necesarios para el funcionamiento y el soporte del proceso.

#### 5.6.5. Avances en la ingeniería con nube de puntos

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

---

## Nube de puntos como un sistema innovador

---

A lo largo de los años, la unión europea, como los administradores de infraestructura de los diferentes países, han publicado normativas y decretos para regular las fases de diseño y de construcción.

Pero no han establecido unas normas para la supervisión, comprobación y vigilancia a lo largo de la vida de las infraestructuras, lo que se conoce como mantenimiento predictivo, el cual debe realizarse de manera programada. (Sánchez Rodríguez, Ana, 2021)

Esto se puede conseguir con la tecnología de nube de puntos, desarrollándose en un principio para la fase de proyecto, pero que puede ir progresando en etapas posteriores, como en construcción, con los modelos "As-Built", o como venimos comentando acerca de la vigilancia, avanzando hasta fases de mantenimiento, con técnicas "As-is Condition" o "tal como está", que inspecciona las infraestructuras una vez construidas con el paso del tiempo.

Es más, es posible colocar equipos de mobile mapping, que generan nube de puntos, en varios trenes comerciales de viajeros y mercancías, en un vagón de la parte trasera del tren, de tal manera que sea capaz de capturar en todo momento la infraestructura y contribuya a mejorar el mantenimiento.

Por otro lado, cada día evoluciona la tecnología de la nube de puntos, con herramientas nuevas, que ayudan a que el sector ferroviario sea un sistema más seguro.

## 6. METODOLOGÍA

Una vez visto el capítulo del estado del arte, nos adentramos en la parte de la metodología, en el cual se establece una guía detallada y práctica, sobre cómo obtener los gálidos y determinar las interferencias entre la infraestructura y el propio gálido ferroviario, mediante el empleo de nube de puntos.

Es por ello que, se irán definiendo los pasos a seguir, así como las acciones y aplicaciones necesarias para alcanzar el objetivo del presente TFM.

Por lo tanto, esta metodología ofrece una guía de aplicación para profesionales y estudiantes interesados en la determinación de gálidos ferroviarios mediante el uso de tecnologías innovadoras como el mobile mapping, facilitando así el análisis de los conflictos que puedan surgir en las infraestructuras ferroviarias.

### 6.1. Nube de puntos

Primeramente, debemos disponer de una nube de puntos, a ser posible en formato “.las”, que es con el que trabajaremos y aplicaremos la metodología.

La nube de puntos utilizada en este TFM ha sido obtenida gracias a la tecnología de mobile mapping, descrita en el estado del arte, pero puede emplearse cualquier otro equipo de los ya mencionados anteriormente para obtener una nube de puntos.

Al fin y al cabo, los equipos referidos en el estado del arte, generan una nube de puntos, más o menos precisas y en unos tiempo y velocidades diferentes para cada equipo, no obstante, se ha considerado el empleo de mobile mapping para obtener nube de puntos por las ventajas que este sistema presenta.

Por consiguiente, tras realizar la medición con el equipo de mobile mapping, se obtendrán unos archivos .las, que son los que contienen los puntos.

Dicho archivo deberá ser abierto con el programa “Cloud Compare”, que se basa en el procesamiento de nube de puntos y en la comparación entre distintos archivos de nube de puntos.

Una vez importado la nube de puntos en el programa, se visualizará en pantalla un cuadro sobre las propiedades de un archivo .las, donde en la pestaña “Info” se indican el número total de puntos, así como el área de estudio.

A continuación, se muestran los cuadros.

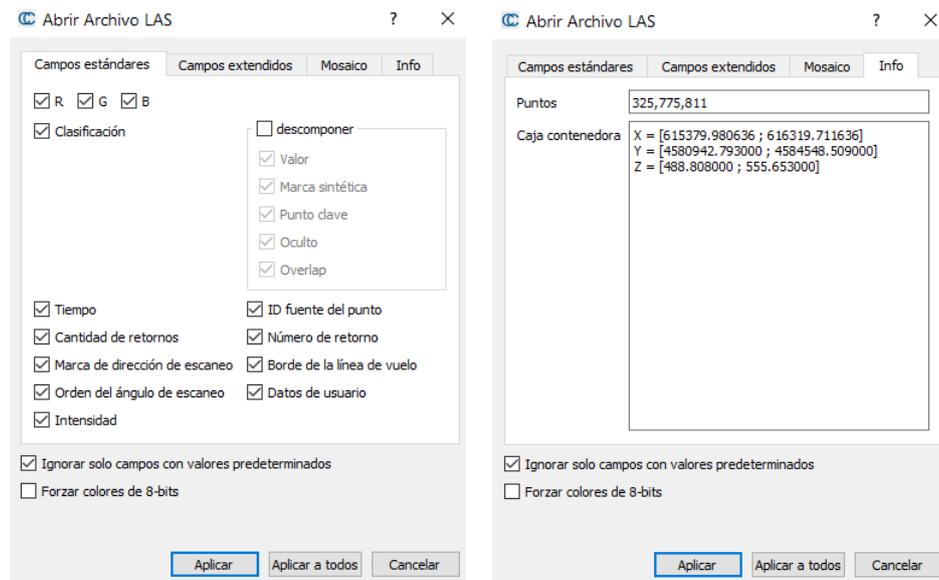


Ilustración 89. Importar un archivo .las en Cloud Compare. (Elaboración propia)

Seguidamente, se aplicarán todos los campos y datos para proseguir con el proceso.

Al instante, aparecerá una ventana que trata sobre el desplazamiento y escala global de la nube de puntos.

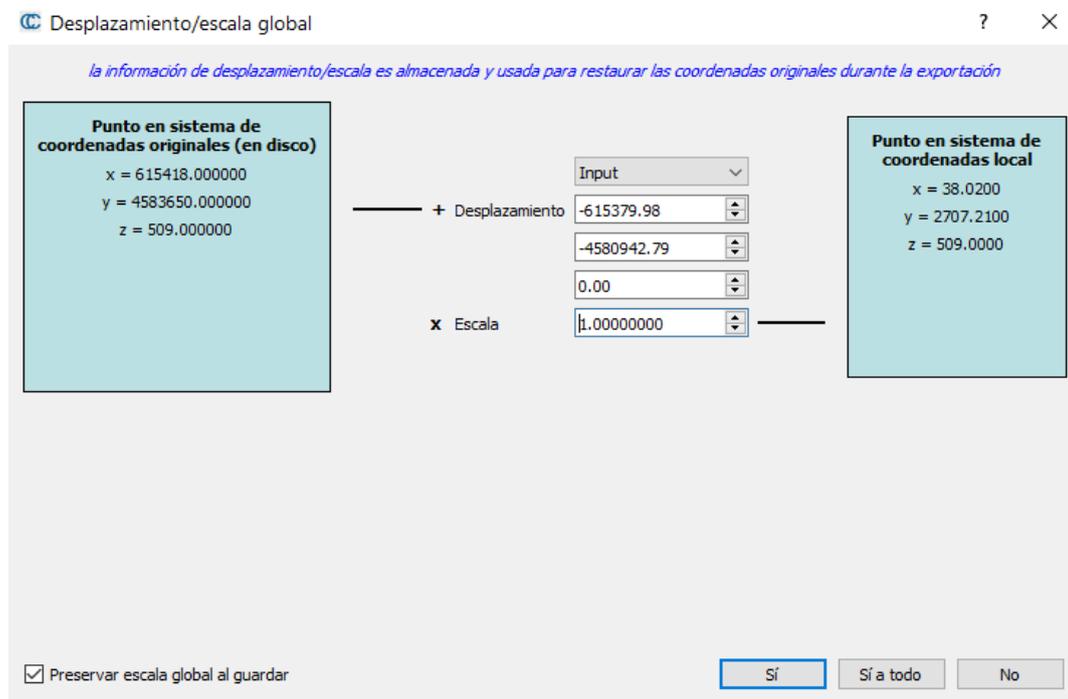


Ilustración 90. Desplazamiento y traslación en Cloud Compare. (Elaboración propia)

Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.

Esto suele ser común cada vez que se importa la nube de puntos en *Cloud Compare*, pues las coordenadas (x, y, z) reales son demasiado grandes, y esto puede ocasionar pérdida de la información al realizar varias operaciones, por lo tanto, el software realiza una transformación, desplazando la nube de puntos a unas coordenadas que no sean tan grande.

Es por ello, que el programa *Cloud Compare* trabajará con coordenadas locales.

Antes de dar a la pestaña de “*Sí a todo*”, es conveniente guardar los datos de esta transformación, pues será útil en aquellos casos que se pretenda trasladar la nube de puntos de coordenadas locales a reales, y viceversa.

Posteriormente se muestra el conjunto de los puntos desde una vista superior, reproduciendo el trazado del tramo de medición por el equipo.



*Ilustración 91. Nube de puntos en Cloud Compare desde una vista superior. (Elaboración propia)*

Al observar todos los puntos simultáneamente desde una perspectiva más cercana, se genera un modelo en 3D, que refleja la infraestructura real.

Tal y como se muestra en la siguiente imagen, se puede contemplar el emboquille del túnel, el paso superior que cruza las vías, las trincheras, los elementos de la superestructura, los postes de catenaria, el hilo de contacto, así como la vegetación.

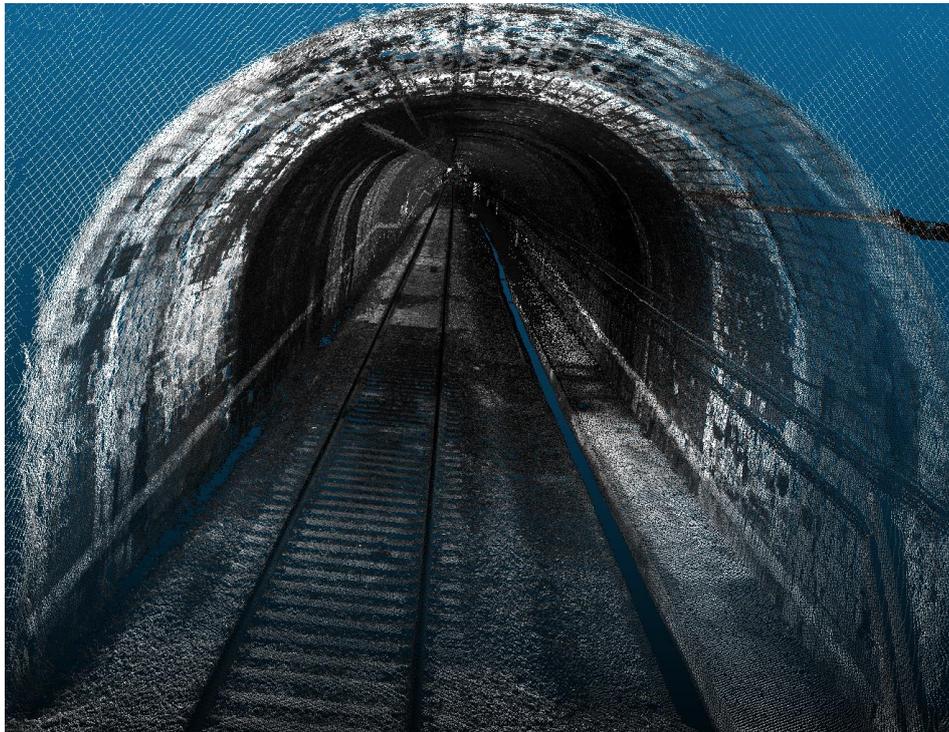
---

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*



*Ilustración 92. Nube de puntos en Cloud Compare desde una vista más cercana. (Elaboración propia)*

Incluso, si nos acercamos más, podemos apreciar con mayor detalle los puntos, y el efecto que esté produce, llegando a tal nivel de detalle que se pueden apreciar el perímetro del túnel, así como los sillares de revestimiento y la cuneta en el hastial izquierdo.



*Ilustración 93. Nube de puntos en Cloud Compare desde una vista en tercera persona. (Elaboración propia)*

---

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Otra función que tiene el programa “*Cloud Compare*”, es la de poder seleccionar cualquier punto, de esta manera, accedemos a las propiedades de dicho punto, pues como se ha ido comentado, cada punto presenta unos datos.

En los casos donde el área de estudio esté dividida en varios archivos, o se desee unir por alguna razón, el software dispone de la herramienta de fusionar.

Por el contrario, en casos en los que se desee recortar la nube de puntos, manteniendo el área afectada, se deberá seleccionar la herramienta “Segmentar” que se encuentra en la barra de tareas superior o en la pestaña de editar.

Una vez seleccionada el área interior que se desee mantener, se selecciona “Segment In (I)” y se confirma, de esta forma nos quedaremos con el polígono interior.

Una vez realizada esta operación, aparecerán en el árbol dos nube de puntos *.las*, por lo que debemos quedarnos con la nube puntos segmentada, eliminando la otra, que es la nube del todo el tramo.

Cuando se tenga la nube de puntos con el tramo acotado, se deberá de categorizar los puntos de la nube, pues de esta manera diferenciaremos lo que es infraestructura, de lo que es catenaria, vía, vegetación, etc.

Con esta categorización, lo que se pretende es separar los elementos en grupos para poder trabajar mejor en Istram y realizar las comprobaciones de colisiones, ya que, principalmente se empleará la vía por un lado y la infraestructura (túnel, paso superior o puente metálico) por el otro.

Esto se consigue con el software Recap perteneciente a la familia de Autodesk que veremos en el siguiente apartado.

## **6.2. Recap**

El programa Recap permite generar modelos a través de una nube de puntos que han sido tomados por los equipos de escaneo láser.

Sobre estos modelos en 3D, podemos categorizar por grupos los diferentes puntos de la nube que se ha importado, de tal forma que nos permita discernir y aclarar mejor el modelo, eliminado ruido o elementos que sean irrelevantes para nuestro estudio, como por ejemplo los hitos, las señales, las personas que hayan sido capturadas durante el escaneo, etc.

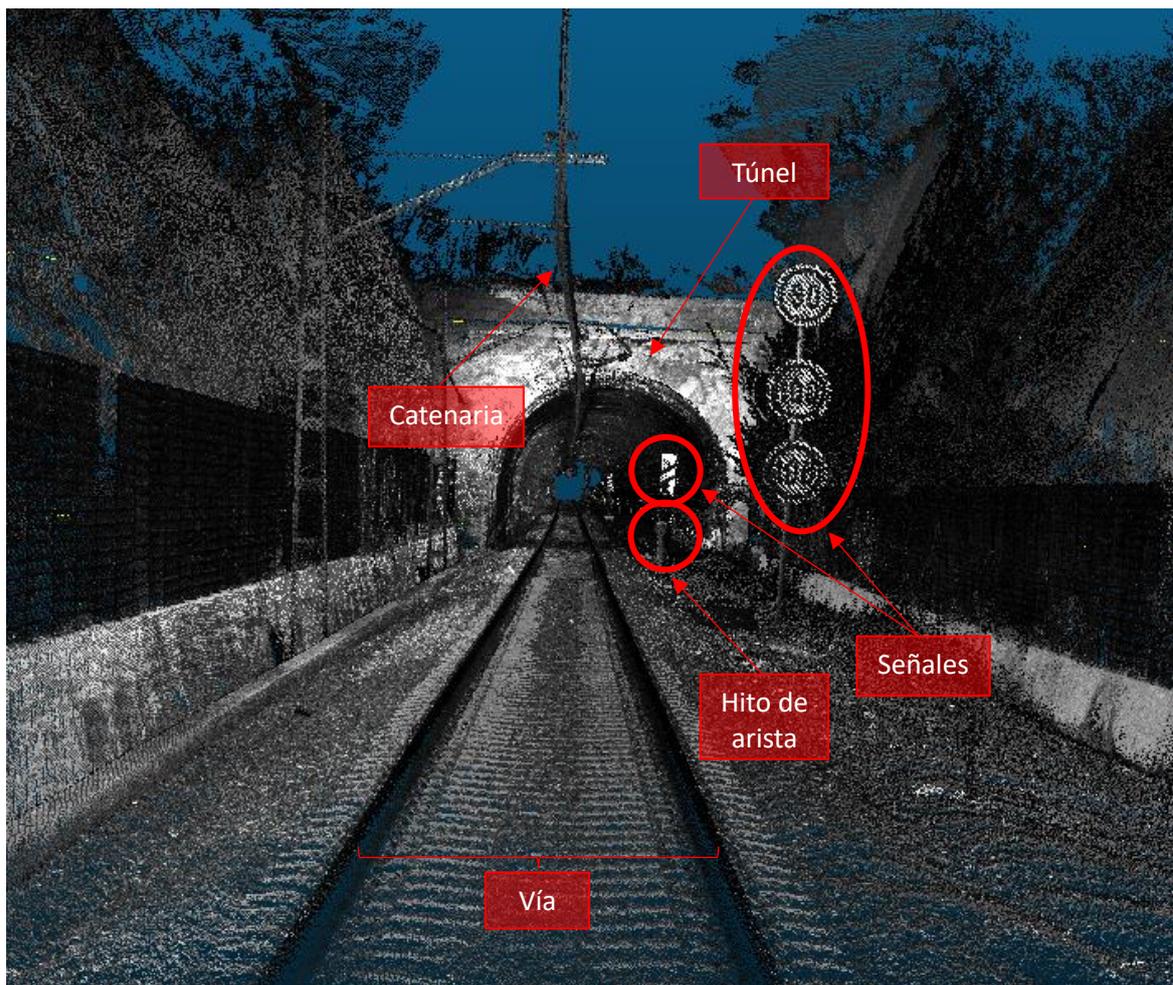


Ilustración 94. Elementos detectados con la nube de puntos. (Elaboración propia)

Por tanto, para el caso de obtener las colisiones entre el gálibo que se pretende hacer pasar por la línea y la infraestructura existente, es imprescindible separar por grupos lo que es túnel de lo que es vía, así como crear los grupos de catenaria, vegetación, objetos, paso superior, etc., que se crean oportunos.

Es importante categorizar en un solo grupo los elementos de la vía, pues serán necesarios para obtener la rasante y el trazado en el programa Istram, que veremos más adelante.

Por consiguiente, deberemos crear un proyecto en Recap, donde importaremos la nube de puntos (.las), y en la que se diferenciarán por grupos los elementos.

Para ello, bastará con seleccionar el siguiente menú que vemos a continuación.

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*



Ilustración 95. Importar nube de puntos en el software Recap. (Elaboración propia)

Una vez importado la nube de puntos en el programa, podemos visualizar la nube de diferentes modos, a través de los colores. Esto es algo que ya se ha comentado en el estado del arte y que resulta interesantes y útil para poder organizar y clasificar la nube de puntos.

Dentro de estos modos de color, podemos visualizar las elevaciones o intensidades en función de una paleta de colores.

Para el caso del modo elevación, permite especificar el color de los puntos en función de la altura de los mismos.

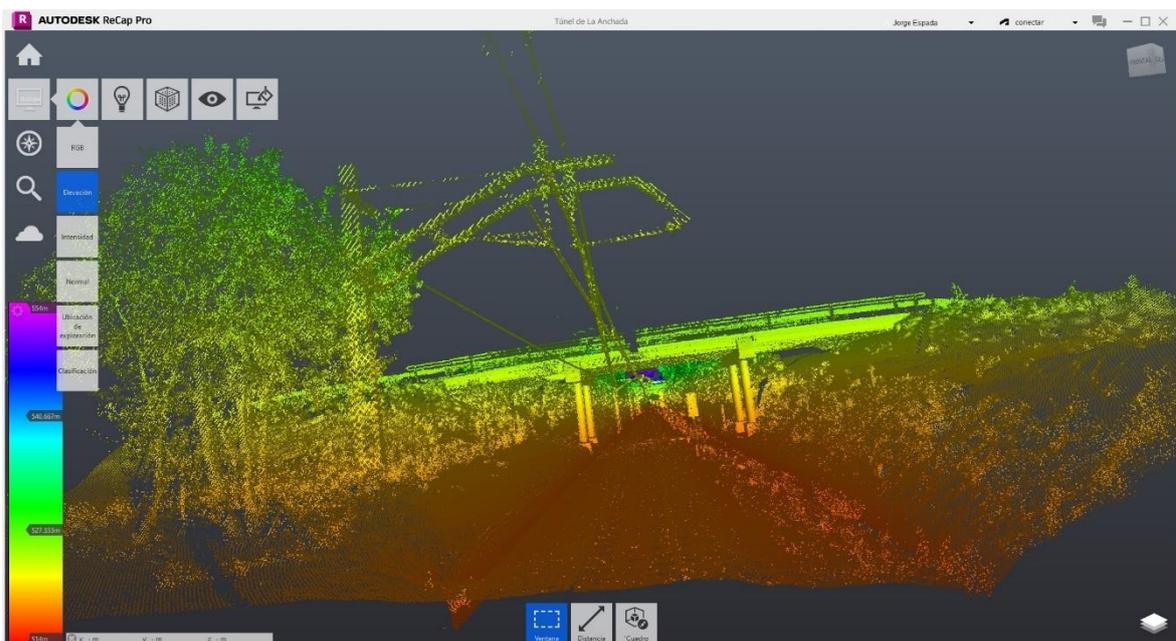


Ilustración 96. Modo elevación en software Recap (Elaboración propia)

Mientras que la opción de intensidades, permite especificar el color de los puntos en función de los valores de intensidad.

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

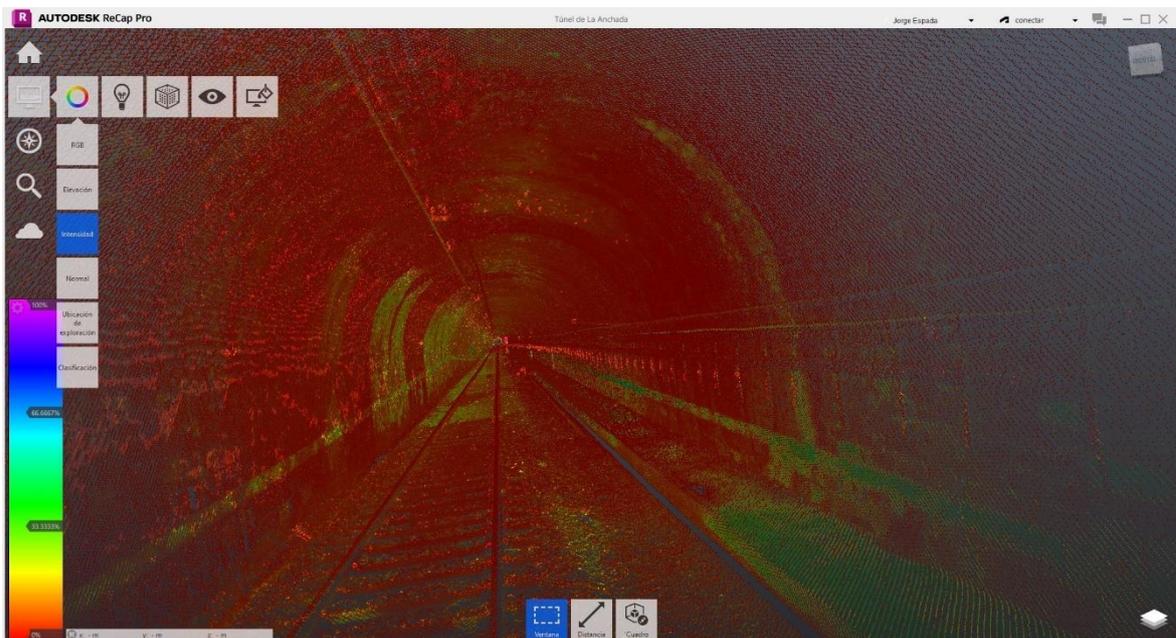


Ilustración 97. Modo intensidades en el Túnel de La Anchada con el software Recap (Elaboración propia)

A continuación, debemos agrupar los elementos en grupos. Para ello será necesario crear un Cuadro que se encuentra en la parte inferior del programa, que básicamente es como una caja que recoge todos los puntos.

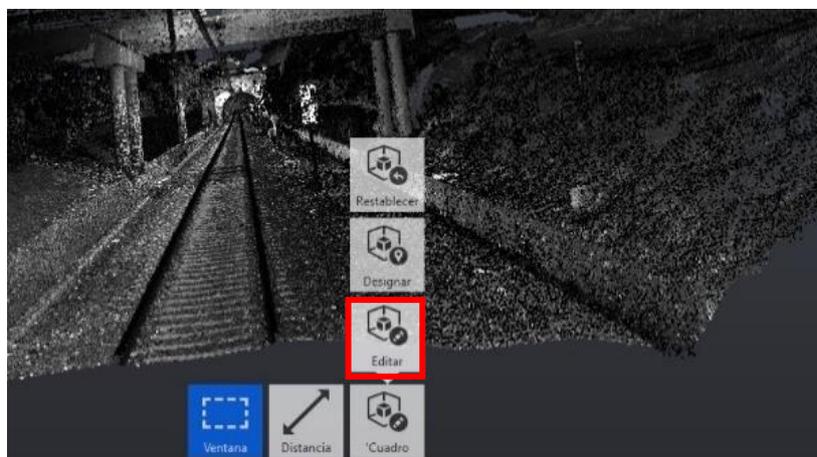


Ilustración 98. Crear cuadro para agrupar los puntos en Recap. (Elaboración propia)

Una vez creado, es conveniente ir estableciendo unas lajas transversales perpendiculares a la vía para ir seleccionado poco a poco los puntos y poder ir agrupándolos en sus respectivos grupos, ya que de lo contrario sería muy complicado categorizar los puntos y es posible cometer errores.

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

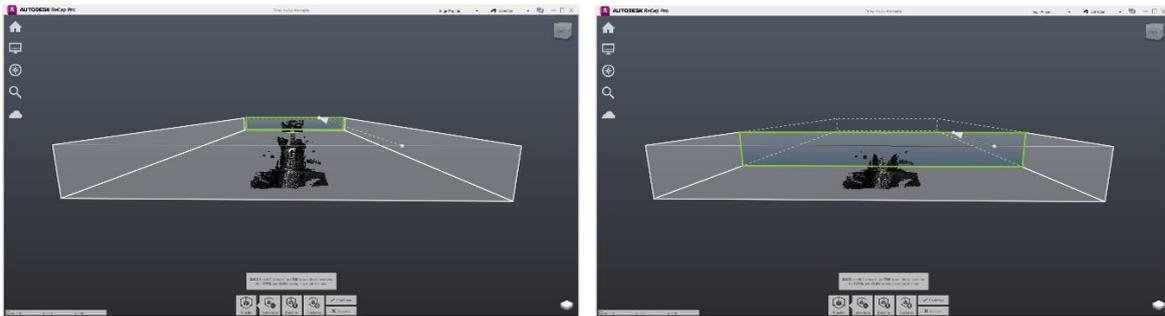


Ilustración 99. Designar cuadro para categorizar los puntos con mayor facilidad. (Elaboración propia)

En las imágenes de arriba, se proyecta un ejemplo para visualizar la forma de acometer de una manera más eficaz y sencilla la categorización de los puntos.

Seguidamente, se seleccionan los puntos de vía, túnel, pasos superior, catenaria, etc., todos aquellos que se crean oportunos, y se irán asociando a cada grupo.

Para crear dichos grupos, es necesario seleccionar con la ventana los puntos a los que pertenece un grupo, para posteriormente instaurar una nueva región, dándole el nombre que se desee, con tal fin de diferenciarse del resto de regiones o grupos.

Una vez creados, solo se debe de ir seleccionado con la ventana los puntos correspondientes a dicho grupo, e ir avanzando a lo largo del trazado.

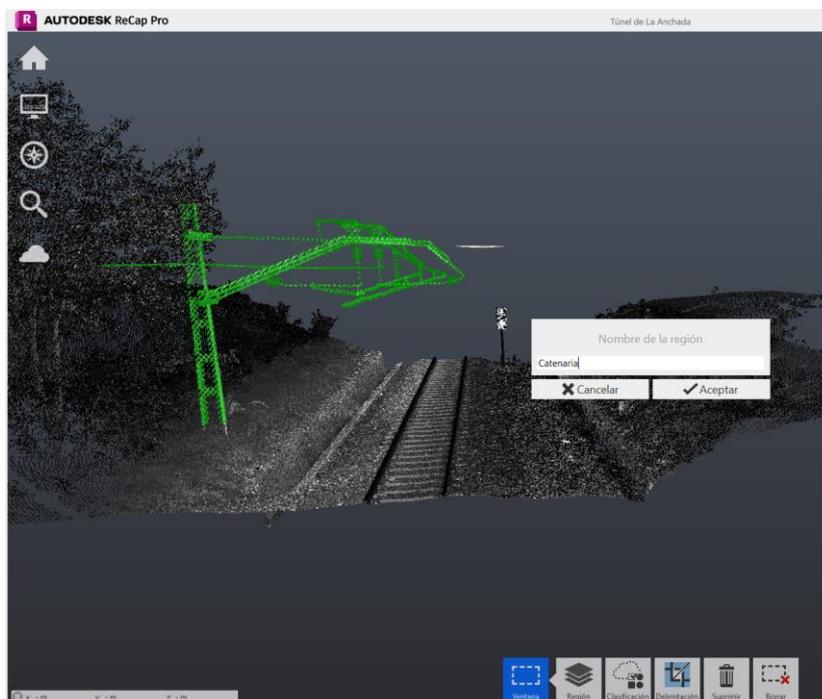


Ilustración 100. Seleccionar puntos y crear grupo en Recap. (Elaboración propia)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Este proceso es algo tedioso, pues no existe otra forma de inventariar los elementos de manera automática.

Destacar que en el proceso de categorizar los puntos en el software Recap es aconsejable la limpieza de las nubes de puntos para su posterior incorporación a Istram, puesto que hay puntos que pueden estorbar o no son necesarios para nuestro proyecto.



*Ilustración 101. Selección de grupo vía con el software Recap. (Elaboración propia)*



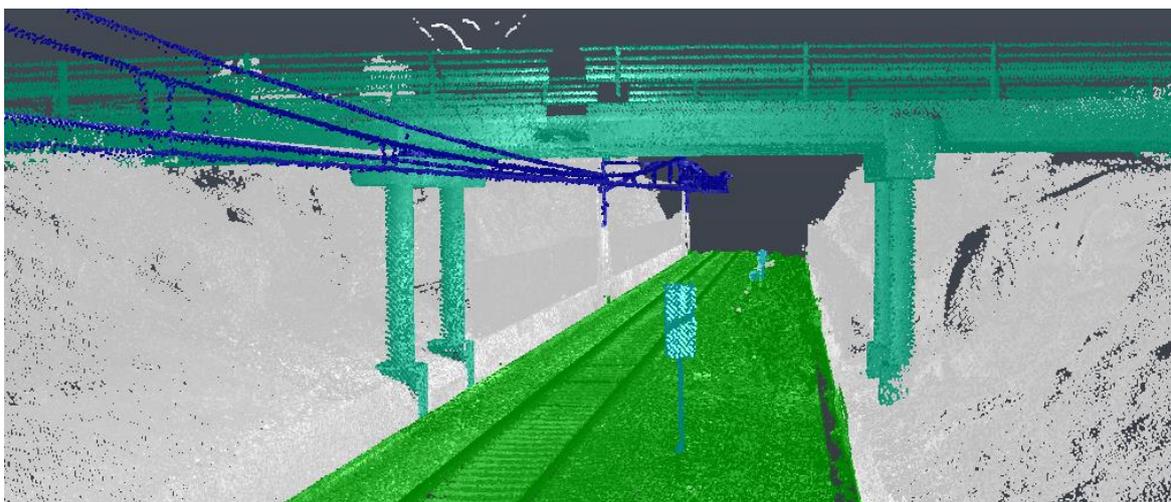
*Ilustración 102. Selección de grupo túnel con el software Recap. (Elaboración propia)*

---

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

A continuación, se muestra una imagen con los diferentes grupos que se pueden crear, como por ejemplo en color verde se establece la vía, en color azul la catenaria, en un verde más turquesa se puede apreciar un paso superior junto a sus pilas, las señales se visualizan en color azul y por último, la vegetación que se considera de color blanco.

Destacar que es posible modificar los colores los diferentes grupos de elementos, de esta forma ayudará a visualizar y catalogar mejor los puntos.



*Ilustración 103. Selección de diferentes grupos con el software Recap. (Elaboración propia)*

Una vez se tenga categorizado por grupos todo el tramo y agrupado todos los puntos de la vía, se deberá exportar cada uno de ellos por separado a un archivo `.e57`, que posteriormente importaremos en Istram, y guardar cada grupo en un formato `.rcp`, puesto que más tardes nos servirá para el modelo 3D en Navisworks.

### 6.3. Istram

Istram es un software de ingeniería civil enfocado en la obra lineal que realiza cálculos y mecaniza los resultados permitiendo diseñar la infraestructura, generar planos y crear modelos 3D en BIM.

En primer lugar, se definirá en Istram el trazado<sup>18</sup> y la rasante existente para poder georreferenciar la vía y poder trabajar sobre ella, para ello se establecen los siguientes pasos.

---

<sup>18</sup> El equipo de mobile mapping seleccionado para la presente metodología ha generado una polilínea a lo largo del tramo afectado, por lo que se obtiene el eje del trazado existente.

Tras abrir por primera vez el programa Istram creando un nuevo proyecto, se deberá seleccionar en la parte inferior izquierda las coordenadas UTM en las que trabajaremos.



Ilustración 104. Selección de coordenadas UTM en el software Istram. (Elaboración propia)

Seguidamente abriremos el menú de [Nubes Densas de Puntos] para importar el archivo .e57 del grupo de vía, que previamente hemos generado de la categorización de Recap, para poder encajar el trazado y la rasante.

Dentro del menú, se selecciona el tipo de formato .e57, el cual hemos importado desde el software Recap, de esta forma, el programa Istram podrá leer el fichero.

En el apartado de análisis, se deberá crear una lista nueva, para ello se importará el archivo .e57 del grupo de vía, que previamente se ha debido de incluir en la carpeta de trabajo de Istram, esto último es recomendable. Después se da en analizar. Este proceso puede tardar en función del tamaño del archivo y del procesador del ordenador.

Posteriormente, en el epígrafe de base datos, se selecciona en crear y cuando finalice el proceso se visualizará en pantalla una especie de malla que conforme la nube de puntos importada.

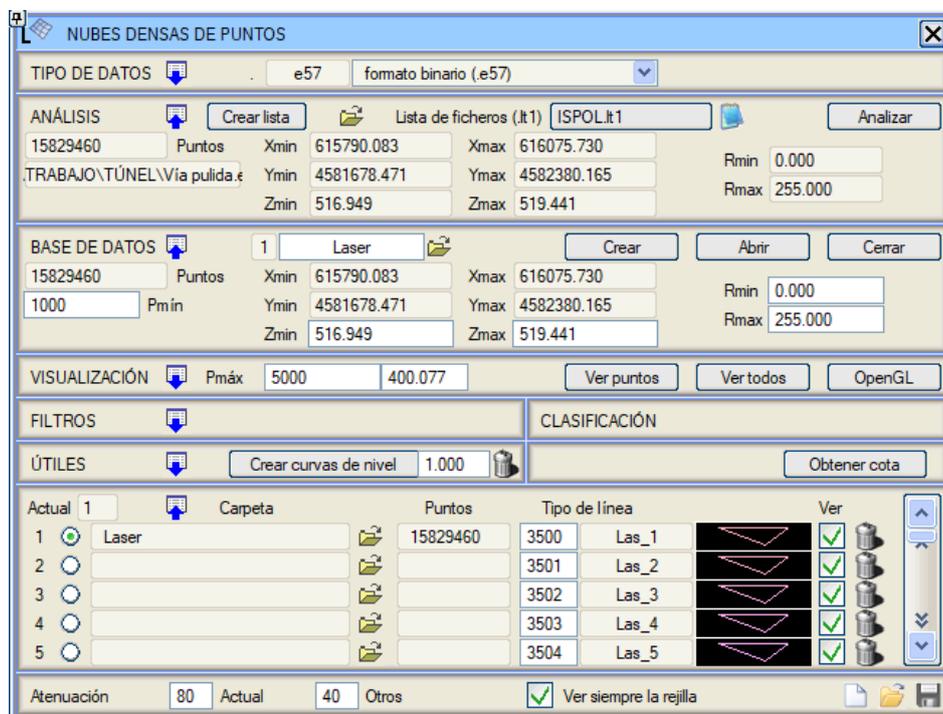


Ilustración 105. Pestaña Nubes densas de puntos Istram. (Elaboración propia)

Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.

Una vez importado y creado en Istram la nube de puntos de la vía, se procede a determinar el eje del trazado existente. Para ello, como ya hemos comentado, el equipo de mobile mapping generó una polilínea georreferenciada que nos servirá para dibujar el trazado en planta y crear nuestro eje en Istram, engancho alineación por alineación para que quede idéntica al eje real medido con el equipo.

Para poder incluir un dibujo CaD (.dwg) en Istram, tan solo hay que importar el archivo a través de la siguiente ruta: Archivo>Importar>DWG/DXF.

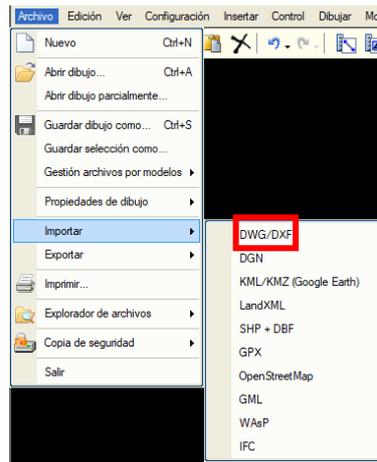


Ilustración 106. Importar dwg en Istram. (elaboración propia)

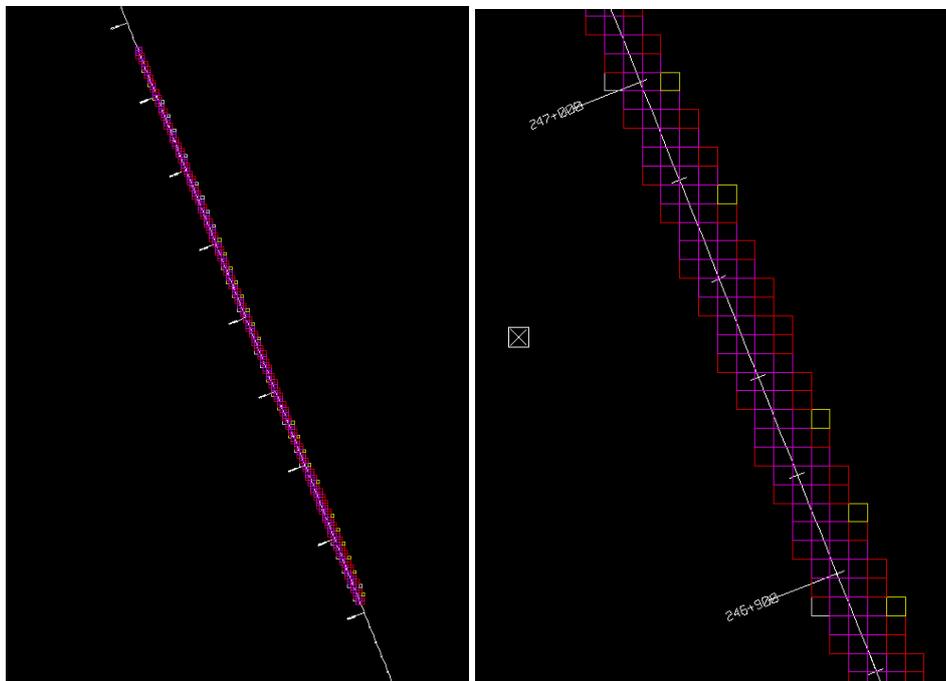


Ilustración 107. Importar nube de puntos y polilínea en Istram. (Elaboración propia)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Pero puede darse el caso de que no se disponga de una polilínea del eje real de la vía porque el equipo de medición no tiene dicha propiedad. En este caso, se recomienda importar en AutoCad la nube de puntos del grupo vía en formato ReCap (.rcp), y configurar el trazado existente a través de las herramientas de polilínea, asegurándose que queda lo más ajustada posible.

Siguiendo con el proceso de realizar la planta del trazado existente en Istram, es conveniente rellenar antes, la pestaña general de obra lineal, donde se seleccionan las tablas de diseño, tanto en planta como en alzado, que describen la normativa ferroviaria de cada país o administración, velocidades de proyecto y de diseño, tramificar las velocidades de proyecto, etc.

Después, en la pestaña de planta se procederá a ejecutar las alineaciones correspondientes para definir de manera precisa el trazado existente.

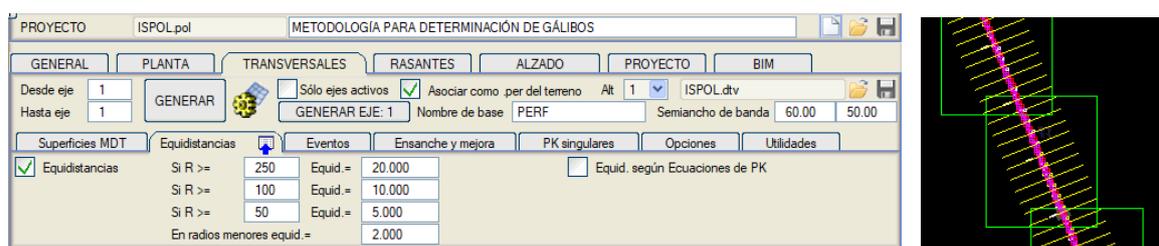
Una vez definido el trazado en planta, pasaremos a la pestaña transversales, en el cual generará el modelo de la superficie con la nube de puntos, para posteriormente montar el eje proyectado en la rasante a cota nivel, ya que es una vía existente.

Para ello debemos verificar que la nube de puntos que anteriormente hemos introducido en el software, está seleccionada en la superficie MDT y así poder generar el modelo de elevaciones.

Además, dentro de esta pestaña de transversales, pueden aplicarse distintos valores de equidistancia según sean los radios del eje en planta, para que puedan usarse perfiles con una distancia entre ellos más cortos o perfiles con una distancia entre ellos más largos, todo ello, con el objetivo de conseguir un alto grado de detalle.

Un claro ejemplo sobre esto, es cuando tenemos estructuras localizadas con una longitud en planta muy reducida, ya que al cortar perfiles con una equidistancia amplia, pueda darse el caso de que el perfil no corte con la estructura que se desee, por ello deberemos reducir la equidistancia entre los perfiles.

Cuando determinemos todo esto, bastará con darle en generar.



*Ilustración 108. Pestaña Transversales para generar la superficie con la nube de puntos anteriormente importada. (Elaboración propia)*

A continuación, pasaremos al menú de diseño de rasantes, que permite definir el eje en alzado generado con la nube de puntos, mediante rasantes y acuerdos verticales parabólicos o circulares.

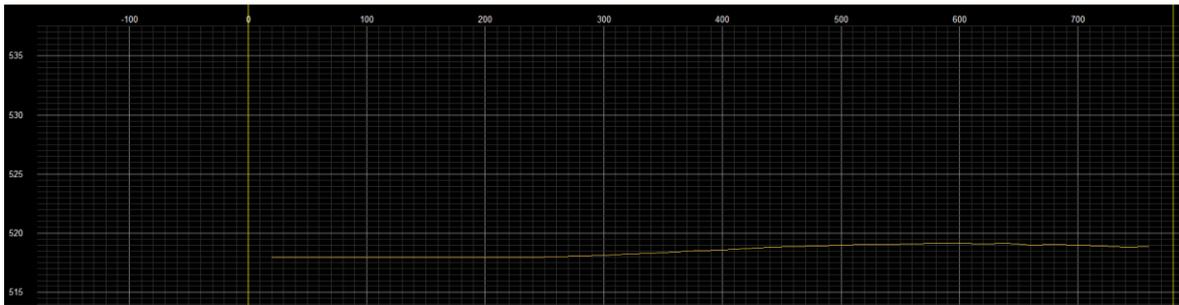


Ilustración 109. Menú de diseño rasantes al generar la superficie con la nube de puntos. (Elaboración propia)

En este proceso se debe de ir ajustando el alzado a la cota de nivel, cuanto más apurado quede mejor resultado se tendrá. Esto es un trabajo manual y de mucha precisión.

Cuando tengamos nuestra rasante ejecutada, nos adentraremos en el menú de Alzado, que consiste en diseñar la sección transversal del eje.

Al entrar en Alzado decidiremos el tipo de sección para nuestro eje ya sea un eje de Carreteras, Ferrocarriles, Tuberías o Puertos. En este caso, se selecciona el eje de Ferrocarriles.

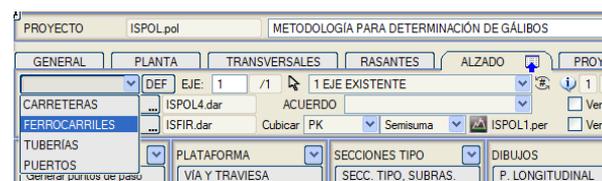


Ilustración 110. Selección tipo de sección del eje. (Elaboración propia)

A continuación, se deberá diseñar la sección tipo y la plataforma del eje según las pestañas que se presentan el menú Alzado.

Se recomienda no incluir las capas de balasto y subbalasto, ya que pueden ser molestos cuando se extraigan planos o se exporte un archivo BIM, pues el objetivo final es verificar la colisión entre la infraestructura y el gálibo proyectado. Por lo que, con diseñar la traviesa y los carriles sería suficiente.

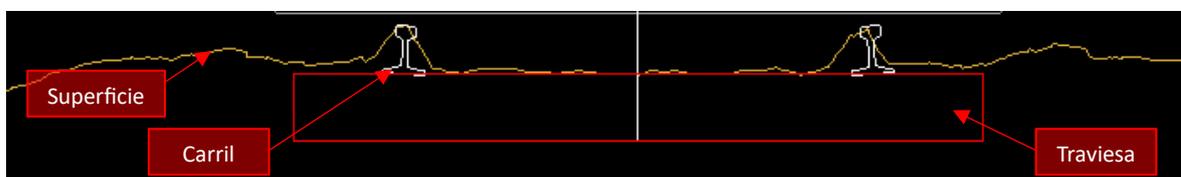


Ilustración 111. Sección tipo de la vía diseñada con la superficie generada con nube de puntos. (Elaboración propia)

Como se puede apreciar en la imagen de arriba, el color mostaza representa la superficie generada con la nube de puntos, en la que se denotan unos picos que representan la cabeza del carril. Estas

cabezas de carril deberán de coincidir en la medida de lo posible con la cabeza del carril diseñado en Istram.

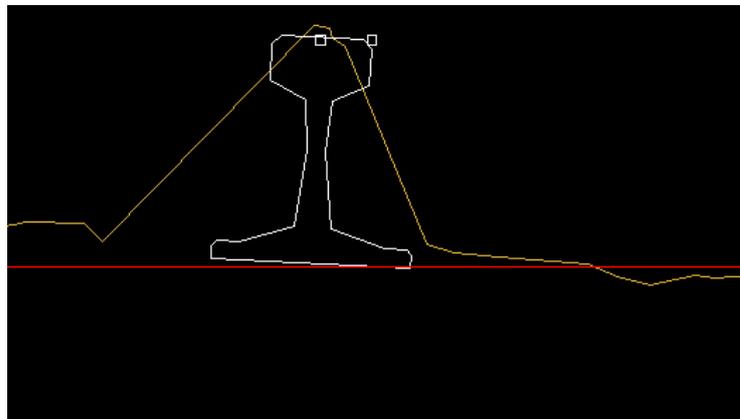


Ilustración 112. Cabeza de carril que coincide con la nube de puntos. (Elaboración propia)

Es conveniente que quede ajustado el carril diseñado con la cabeza de carril que indican los picos de la nube de puntos.

Después de encajar el trazado y diseñar la sección tipo, se incluirá el gálibo de implantación de obstáculos que se desee, en función de las necesidades de cada proyecto.

Para ello será necesario crear un símbolo cerrado, donde se establecerá las medidas del gálibo objetivo. Hay dos posibilidades de crear un símbolo cerrado, desde la herramienta [Editor gráfico de símbolos] o desde el desplegable [Definir tipo de símbolos].

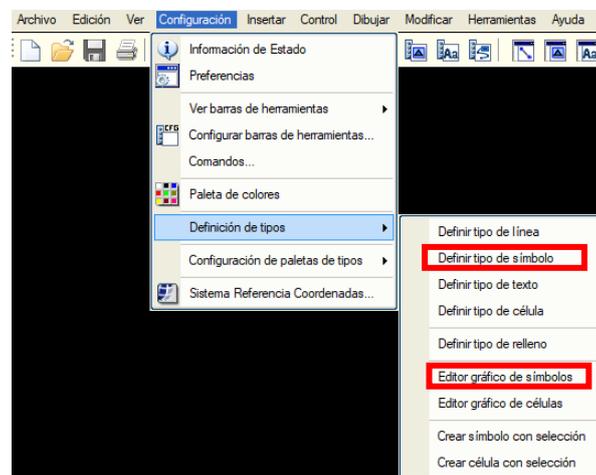


Ilustración 113. Creación de símbolo cerrado para establecer el gálibo. (Elaboración propia)

Ambas soluciones son correctas, pero realizaremos la operación de crear el gálibo a través del [Editor gráfico de símbolos].

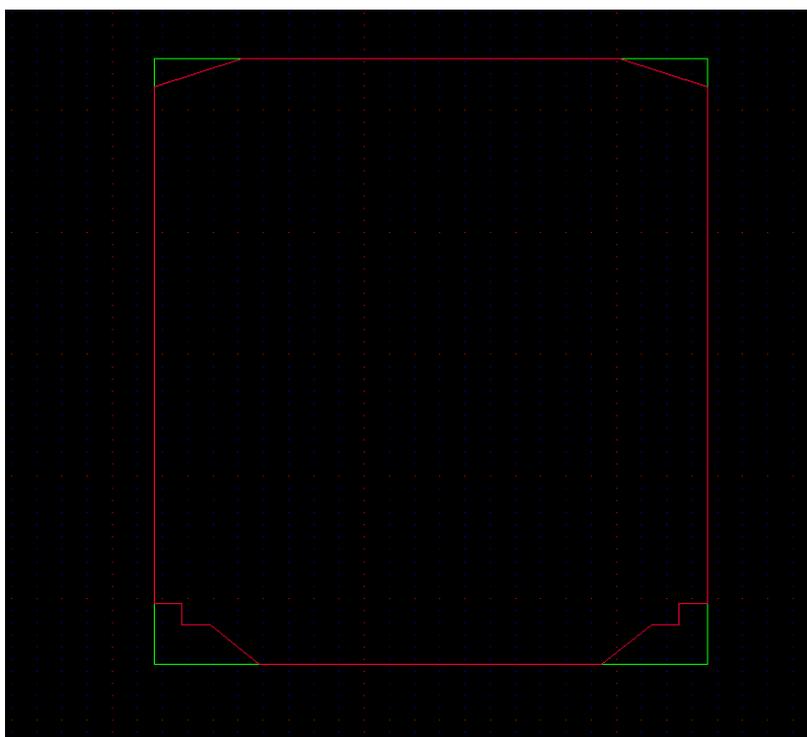
Al acceder a esta opción, se abre un nuevo entorno de edición, sin datos de partida, para que se pueda construir interactivamente un símbolo con las herramientas desplegables de líneas, textos y símbolos.

Ahora bien, se podría dibujar con las herramientas de Istram el contorno del gálibo de implantación de obstáculos, pero resulta tedioso y no es aconsejable.

Se recomienda disponer del gálibo en formato *.dwg* para importarlo al programa y crear directamente el símbolo, pues es más sencillo establecer el gálibo con el software de AutoCad, ya que dispone de mejor interfaz para realizar contornos y mediciones en 2D.

Por lo tanto, copiaremos de Autocad la polilínea del gálibo objetivo y lo pegaremos directamente en Istram.

Como se puede apreciar en la siguiente imagen, en color rojo se distingue el gálibo de implantación de obstáculos importado en Istram a través de Autocad, mientras que la franja verde significa el área de trabajo.



*Ilustración 114. Gálibo de implantación de obstáculos importado en Istram a través de Autocad. (Elaboración propia)*

A continuación, para declarar el dibujo realizado como un símbolo reconocible como tal por el programa, se debe usar la opción [Generar símbolo], que despliega el siguiente cuadro de diálogo:

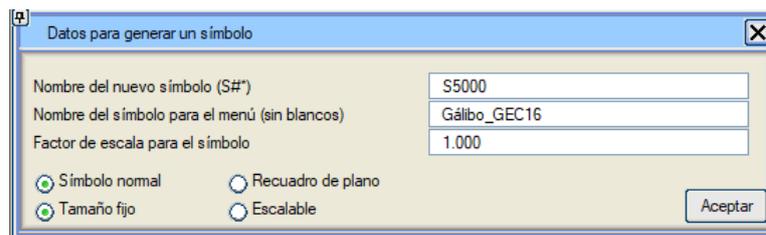


Ilustración 115. Generar símbolo de gálbo a través del editor gráfico de símbolos. (Elaboración propia)

En el nombre del nuevo símbolo, será necesario establecer una numeración para poder identificar el símbolo, asimismo, es recomendable usar valores correspondientes al tipo 5000 o superiores, pues a partir de estos valores no existen símbolos declarados. También debemos definir el nombre del símbolo, el factor de escala que se establece en 1, así como seleccionar símbolo normal y tamaño fijo.

Al aceptar el cuadro, se solicita el punto base que determinará la inserción del símbolo. Este punto puede introducirse tanto gráfica como numéricamente, pero en todo caso se debe indicar el punto del entrecarril, comprobando que la altura desde ese punto hasta el punto más alto del gálbo, mide según lo indicado en la IFG o en la normativa NAG 5-1-0.0, expuestos en los Anexos del presente TFM.

Una vez dibujado y generado el símbolo, es conveniente verificar que se encuentra en la librería de símbolos con el correspondiente número estipulado, para ello, será necesario acudir al menú de [Paleta de símbolos] o incluso en la propia pestaña de [Definir tipo de símbolo], donde deberá figurar el símbolo mediante el comando línea por tipo, indicando un tipo de línea para ello.

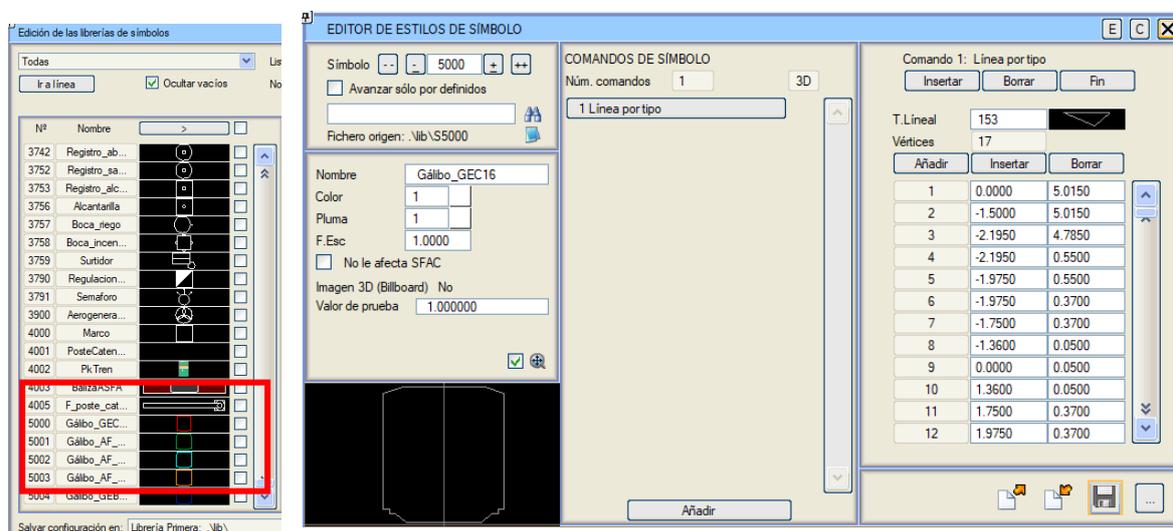


Ilustración 116. Verificación de gálbos en librería de símbolos. (Elaboración propia)

También será necesario incluir el gálbo del pantógrafo, realizando el mismo proceso.

*Innovación en la determinación de gálbos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Una vez determinado e incluido el gálibo de implantación de obstáculos y el gálibo del pantógrafo, se deberán incluir estos símbolos a lo largo del trazado de forma continua y creando el espacio del gálibo.

Para ello, seleccionamos el menú de [Símbolos de perfil] dentro de la pestaña de alzado, e incorporamos el número de símbolo de la librería donde habíamos guardado nuestro gálibo estudio. De igual manera rellenamos el resto de los campos, donde se escogerá que el símbolo se establezca a ambos lados y la superficie -1, para que el punto de inserción del símbolo coincida automáticamente con el entrecarril, que anteriormente hemos indicado.

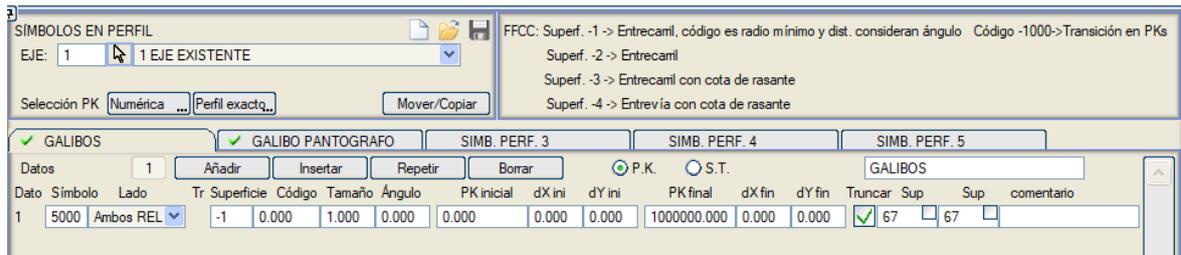


Ilustración 117. Menú símbolos en perfil para incluir el contorno de los gálibos. (Elaboración propia)

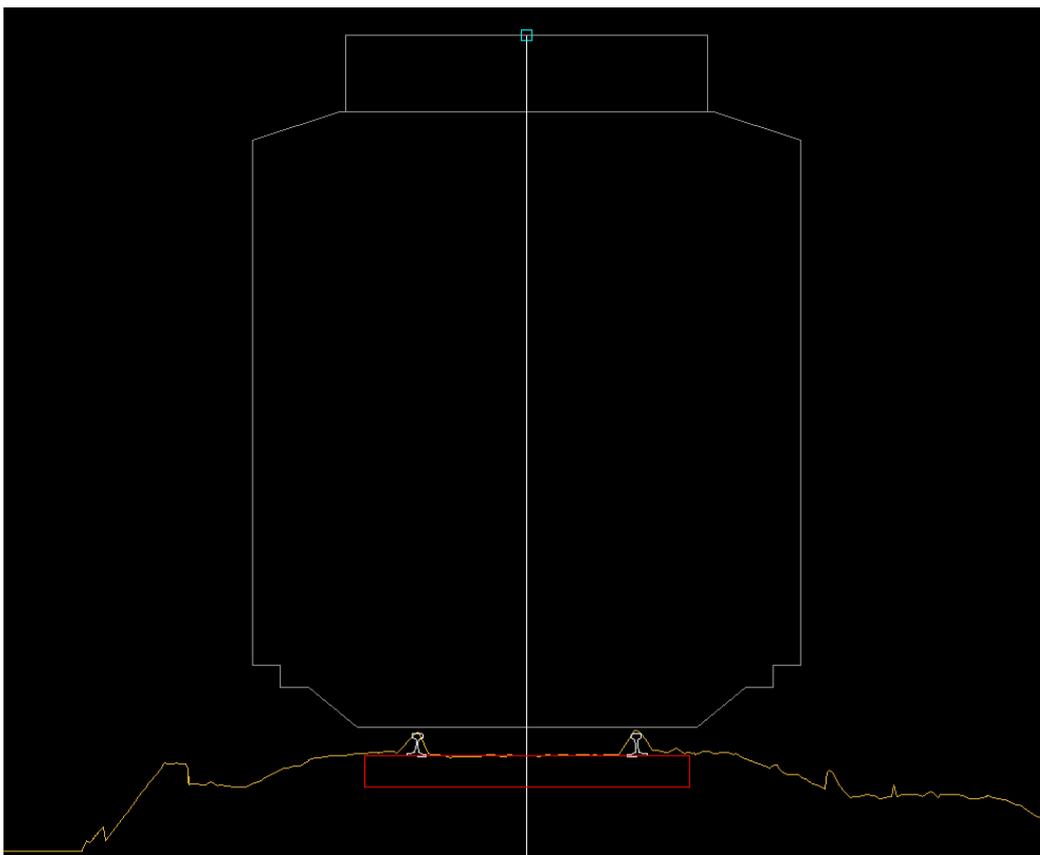


Ilustración 118. Sección tipo diseñada con el contorno de los gálibos. (Elaboración propia)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Cuando se finalice los procesos mencionados, se llevará a cabo los planos 2D entre dicho gálibo y la nube de puntos.

#### 6.4. Planos 2D

Como ya hemos comentado una de las características de la metodología es representar los posibles conflictos entre infraestructura y gálibo en unos planos en 2D.

Para ello, incluiremos el archivo .e57 del grupo túnel como una nueva nube de puntos en Istram, tal y como se realizó al principio de la metodología para incluir la nube del grupo de vía, puesto que lo se quiere confrontar en este momento, es la nube del túnel con el gálibo proyectado. Esta nube de puntos del túnel ha tenido que ser categorizado en Recap previamente, para que el programa istram represente la nube de puntos del túnel y posteriormente poder comprobar en un plano 2D si interfiere el gálibo a proyectar con la nube de puntos del túnel.

Destacar que a la hora de crear la base de datos, se le ha dado otro nombre a la carpeta para diferenciar las nubes de puntos.

Por lo tanto, debemos acceder al cuadro de diálogo de [Nubes Densas de Puntos], donde en la pestaña de útiles, disponemos de la herramienta [Banda por PK].

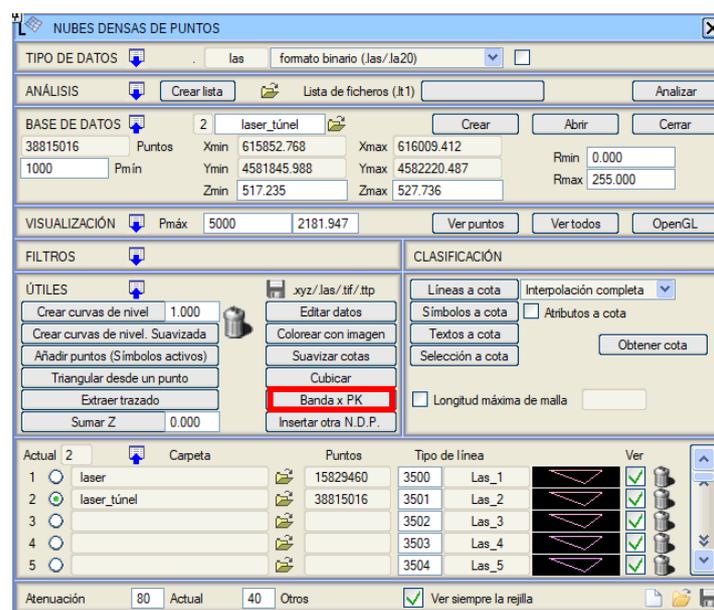


Ilustración 119. Selección de Banda por PK. (Elaboración propia)

Esta herramienta permite seleccionar ejes y PKs sobre ellos, numéricamente o gráficamente definiendo una banda por semiancho en PKs y en distancia al eje, de modo que la visualización de puntos normal, se ciña a esa banda.

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

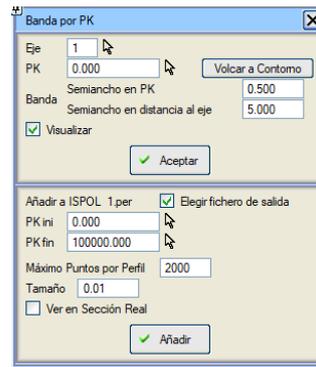


Ilustración 120. Generar planos 2D con la herramienta de Banda por PK. (Elaboración propia)

Como se puede apreciar en la imagen anterior, se deberá escoger el eje objetivo y el PK inicio desde donde comenzará a realizar unas lajas perpendiculares al eje para representar la nube de puntos, siendo el semiancho PK la distancia de separación entre los cortes transversales al eje y el semiancho en distancia al eje, la longitud lateral entre el eje y la nube que representaría. Asimismo, es recomendable añadirlo en un fichero *.per*, definiendo los Pk inicio y fin, así como el tamaño de los puntos (1 cm recomendable).

Los perfiles se han guardado en un archivo *.per*, al que hemos indicado con un nombre, por lo que para ver dichos perfiles, será necesario ir al menú de [Perfiles transversales] y seleccionar en la barra lateral derecha, la herramienta de editar.

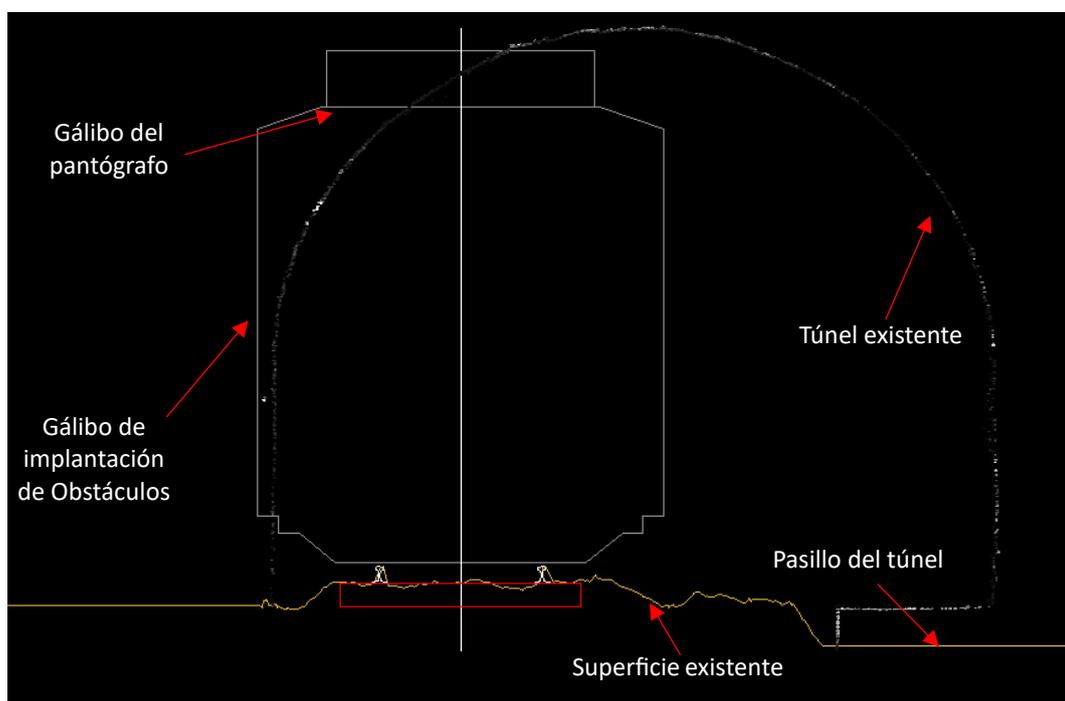


Ilustración 121. Sección transversal para la comprobación de conflicto entre el gálibo y la nube de puntos del túnel. (Elaboración propia)

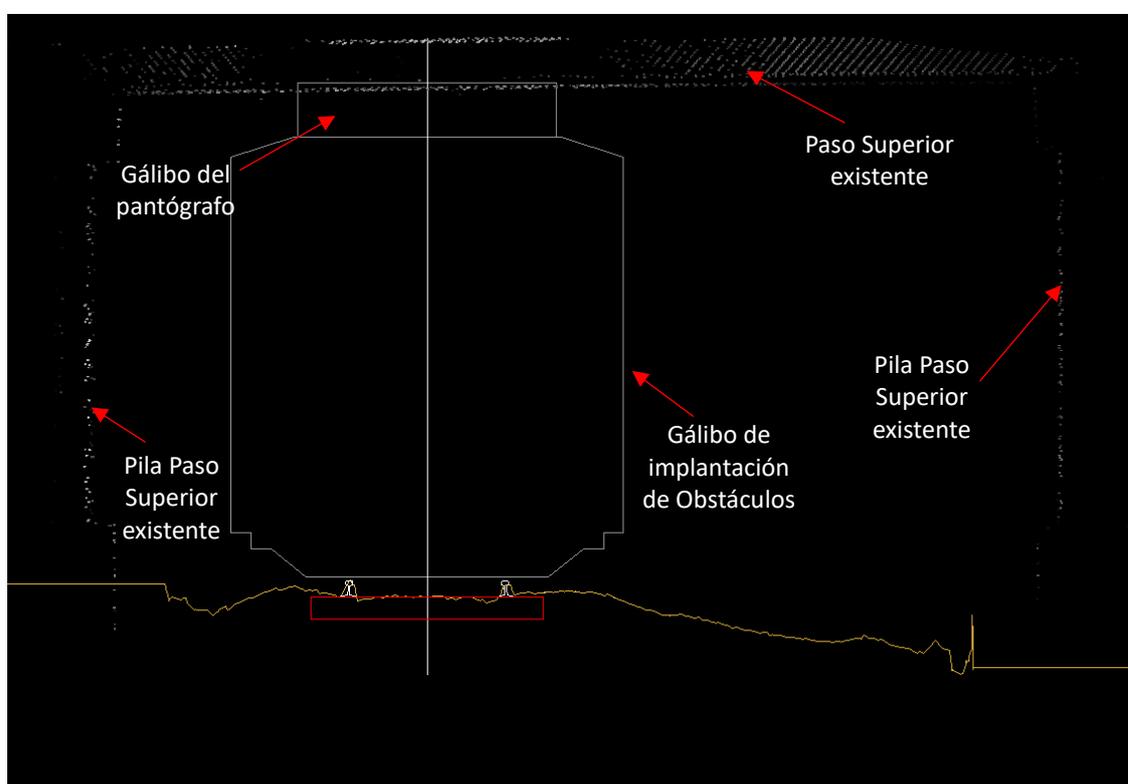
*Innovación en la determinación de gálidos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Como se puede verificar en la imagen anterior, se presenta un gálibo de implantación de obstáculos y su gálibo del pantógrafo, ambos en color blanco, mientras que el propio túnel existente se representa a través de la nube de puntos.

Asimismo, incluso se puede apreciar la superficie existente del terreno, donde está proyectada y diseñada nuestra vía.

En consecuencia, se puede verificar que en la imagen de arriba, existe un conflicto entre ese gálibo de implantación de obstáculos y el del pantógrafo, con el túnel existente. Por lo tanto, se deberá cambiar el tipo de GIO o realizar un centrado de la vía, ripado, rebaje, etc, de tal manera que la solución propuesta evite este conflicto.

Por otro lado, podemos hacer el mismo proceso con el resto de las infraestructuras, como por ejemplo, pasos superiores, puentes metálicos, señales, muros, cerramientos, etc.



*Ilustración 122. Sección transversal para la comprobación de conflicto entre el gálibo y la nube de puntos de un Paso Superior. (Elaboración propia)*

Todos estos planos de secciones transversales se guardarán en un *.per*, para posteriormente exportarlos a un archivo *.dwg* y poder trabajar con ellos. Con todo lo indicado obtendríamos los planos 2D, donde se puede llegar a comprobar el área que crea conflicto entre infraestructura con los gálibos proyectados.

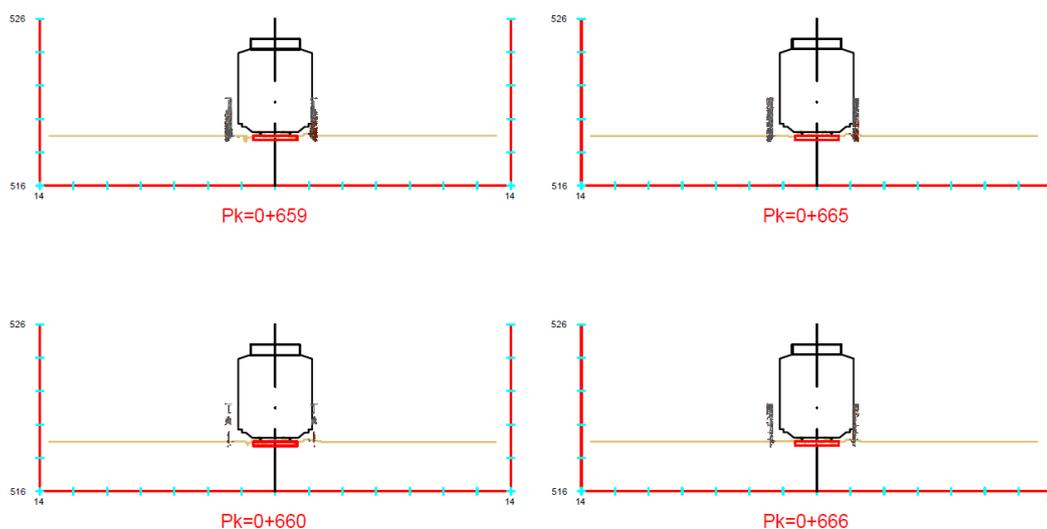


Ilustración 123. Planos de secciones transversales de un puente metálico. (Elaboración propia)

Una vez conformado los planos 2D, se pretende obtener un modelo 3D que simule esos conflictos con algunas herramientas útiles que veremos a continuación.

## 6.5. Modelo 3D

Para obtener el modelo en 3D, es necesario ir a la pestaña de BIM dentro de la Obra lineal de Istram y seleccionar [Generar el proyecto].

En caso de que al calcular el proyecto en Istram, no se cubique o se tengan problemas con el gálibo para instaurarlo en BIM, será necesario realizar la siguiente operación, ya que, aunque se vea el gálibo en los perfiles transversales, el programa no lo está cubicando y por consiguiente, no determina los volúmenes 3D.

Por lo tanto, en los casos donde no figure el archivo BIM del gálibo en la ventana de árbol BIM de Istram, habrá que incluir su cálculo en la tabla *.dar*, ya que el programa entiende que es un mero símbolo, por lo que se deberá modificar en la tabla de cubicación para que genere el volumen del elemento 3D.

La tabla de cubicación que estamos comentando se encuentra en el submenú [Tablas Cubicación] del [Editor de perfiles], lo que permite definir tablas de cubicación y realizar mediciones sobre los perfiles transversales siguiendo estas tablas.

Una tabla de cubicación define una serie de áreas a medir y qué pasos hay que seguir para calcular cada una de las áreas.

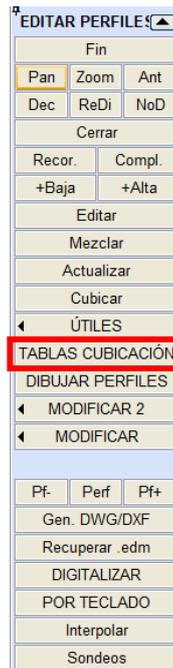


Ilustración 124. Seleccionar las tablas de cubicación dentro del menú de editor de perfiles. (Elaboración propia)

Una vez seleccionado el submenú de tablas de cubicación, deberemos añadir nuestro fichero .dar de la librería que estamos utilizando para crear nuestra cubicación.

En el presente caso, se está utilizando P2\_FFCC.dar, pero puede valer cualquier tipo de tabla. Si abrimos dicho archivo en la tabla de cubicación saldrá lo siguiente:

Dato	Nombre	Tipos de líneas		Solo BIM	Carpeta materiales	Material	Disciplina	Propiedades	Cubicar
285	TERRAP SANEADO	2563	Terrap_Saneado	<input type="checkbox"/>	Terreno, suelos, roca	Arena 2	0	Relleno	
286	<s>								
287	<s>								
288	<s>								
289	EXCAVA OF	2754	Excava.OF	<input type="checkbox"/>	Terreno, suelos, roca	Roca_3	0	Excavacion	Material O.F.
290	SUP.EXCAVADA	2760	SUP.EXCAVADA	<input checked="" type="checkbox"/>	Terreno, suelos, roca	Tierra_4	2		Ambos lados
291	ACOPIO TIERRA	2768	Acopio_Tierra	<input type="checkbox"/>	Terreno, suelos, roca	Terraplen_2	0	Relleno	Ambos lados
292	ACOPIO VEGETAL	2769	Acopio_Vegetal	<input type="checkbox"/>	Terreno, suelos, roca	Terraplen_3	0	Relleno	Ambos lados
293	GALIBO	153	Tun_se	<input checked="" type="checkbox"/>	Ninguna	Ninguno	0		Ambos lados
294	GALIBO PANTOGR	167	Galibo	<input checked="" type="checkbox"/>	Ninguna	Ninguno	0		Ambos lados

Ilustración 125. Tabla de cubicación para generar el volumen 3D del gálibo. (Elaboración propia)

Al no visualizar el gálibo en el árbol BIM, en la tabla de cubicación no se encontrará el dato del gálibo, por lo tanto, habrá que añadirlo. Para ello, deberemos seleccionar en añadir y definir el área y el tipo de línea que previamente se ha estipulado en el menú de [Definir tipo de símbolo].

Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.

Por consiguiente, se volverá a crear el proyecto en BIM, y se añadirá la clasificación RIH SCFclass V02 que hemos comentado en el estado del arte, en la pestaña de [Clases/Atributos]. Dentro de esta pestaña, en el submenú de clasificación, se puede asignar cada tipo de elemento de Istram a otros estándares de clases, como por ejemplo el RIH.

Por defecto se genera un conjunto de "clases traducidas" cuya traducción coincide con el original de Istram. Estas traducciones se pueden guardar y cargar en archivos.

Una vez abierto aparecerá solo la clase de Istram, por lo que se agregarán dos columnas más a la derecha, una de ellas correspondiente al código de clasificación conforme a los estándares registrados por el sistema de clasificación RIH y la segunda, acorde a su respectiva descripción.

Después de realizar estas operaciones, y verificar que en el árbol BIM aparece todos y cada uno de los elementos diseñados, se importará el proyecto a un archivo IFC 2x3, el cual es un formato estándar desarrollado por BuildingSMART (ya mencionada en el estado del arte) que se aplica a la metodología y software BIM.

Este archivo IFC, lo podemos encontrar en la carpeta "bim" de trabajo del proyecto.

## 6.6. Navisworks

Para poder abrir este tipo de archivo IFC, nos apoyaremos del software Navisworks de la empresa Autodesk, que consiste en la revisión y combinación de modelos en 3D, permitiendo navegar por ellos en tiempo real, así como incluir anotaciones o comentarios dentro del modelo, e incluso detectar interferencias entre elementos, esta última herramienta es la que utilizaremos para realizar operaciones de conflictos entre la infraestructura y el gálibo.

Otro programa a tener en cuenta es BIMvision, pues es un visor gratuito de modelos IFC, que permite visualizar los modelos. Aunque este software no esté diseñado para detectar conflictos entre la infraestructura y los gálibos, nos servirá para consultar y visualizar el modelo, e incluso comprobar que los elementos están catalogados con la clasificación RIH.

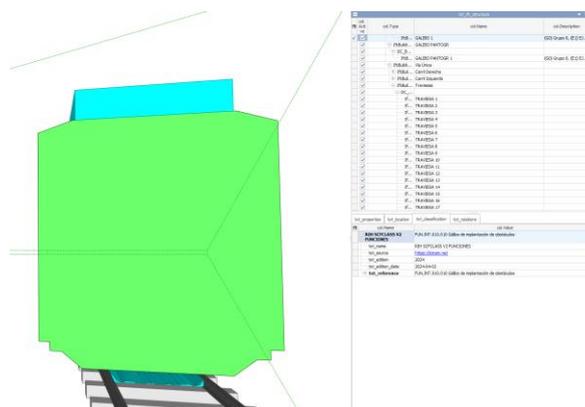


Ilustración 126. Visualización del modelo con BIMvision. (Elaboración propia)

Siguiendo con el apartado tratado, al iniciar Navisworks por primera vez pueda darse el caso, que los archivos IFC se bloqueen al abrirse o que el proceso de carga sea demasiado lento. Para solventar este problema, se deberá ir a la siguiente ruta Navisworks > Opciones > Lectores de archivos > IFC, donde se cambiará el método de conversión a “Herederio (v1)”.

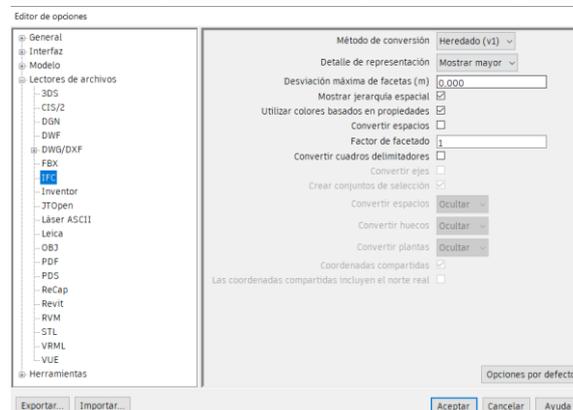


Ilustración 127. Modificación del método de conversión en Navisworks. (Elaboración propia)

Una vez abierto correctamente el archivo IFC en el software Navisworks, tenemos a la izquierda de la pantalla el árbol de selección, donde encontramos todos los archivos importados en el programa.

Al otro lado, en la parte derecha de la pantalla, nos encontramos con el menú de propiedades. Es en este menú de propiedades, donde podremos comprobar la clasificación RIH seleccionando un elemento del modelo.

A continuación, se puede apreciar las propiedades del gálibo de implantación de obstáculos coloreado en azul, conforme a los estándares de clasificación del RIH.

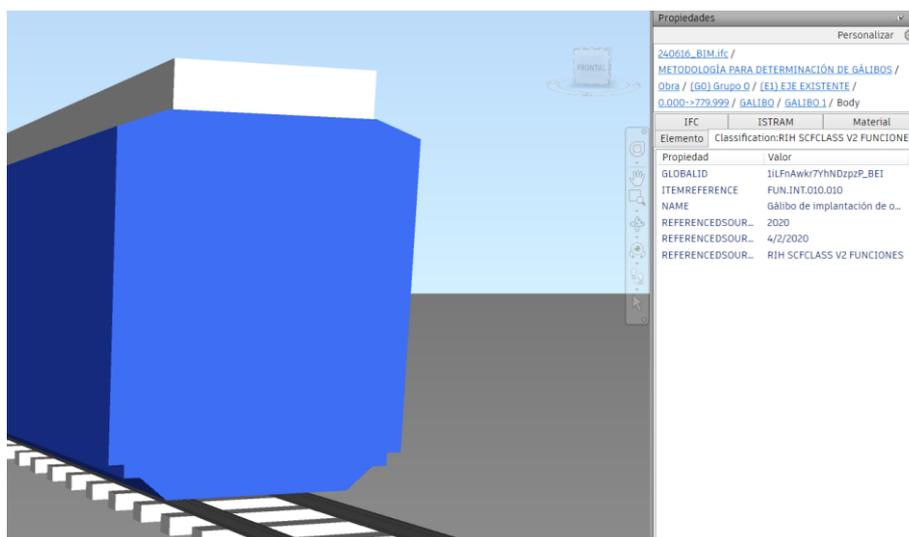
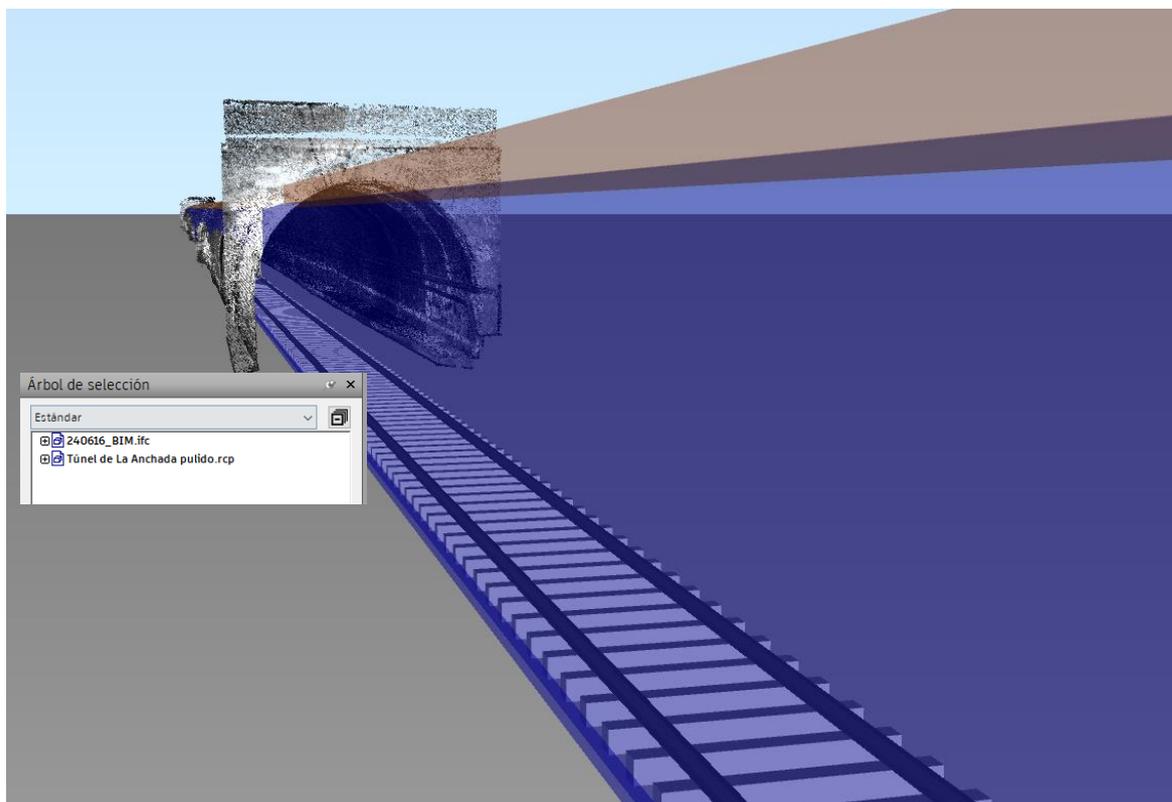


Ilustración 128. Comprobación de la clasificación RIH SCFclass V2 en Navisworks. (Elaboración propia)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Seguidamente incorporamos los archivos de Recap (.rcp) por grupos, para enfrentar en el modelo 3D la infraestructura y el gálibo.

Para ello, en la pestaña de inicio se seleccionará [Añadir], de tal forma que se irán agregando los respectivos Recap que anteriormente han sido guardados, los cuales se incluirán en la ventana del árbol de selección.



*Ilustración 129. Modelo 3D con la inclusión de la nube de puntos del túnel (.rcp) en Navisworks. (Elaboración propia)*

Una vez incorporado todos los grupos en Navisworks, procederemos a detectar las colisiones entre sendos grupos y los gálibos implantados.

Para ello, Navisworks dispone de la herramienta [Clash Detective], que su función es identificar y resolver conflictos antes de que se materialicen en la obra e incluso comprobarlos regularmente durante el transcurso de un proyecto.

Destacar que se pueden identificar multitud de colisiones, entre ellas habrá ciertos conflictos que son inevitables por ciertas interacciones, como por ejemplo, entre los elementos de traviesa y carril.

En estos casos, se desestiman la realización de pruebas de conflicto, puesto que está claro que crearán conflictos, por lo que son intrascendentes para el estudio.



Como se puede apreciar en la imagen de arriba, el objetivo es enfrentar el gálibo con las diferentes infraestructuras que nos encontremos en el tramo afectado. Por tanto, se añadirán tantas pruebas como se deseen.

Destacar que a la hora de confrontar el gálibo (volumen 3D) y nubes de puntos conseguidos a través de Recap, es necesario indicar en la configuración el tipo de espacio libre, pues garantiza el espacio alrededor de los elementos.

Asimismo, es posible indicar la tolerancia, estableciendo tolerancias del orden de 0,01 metros.

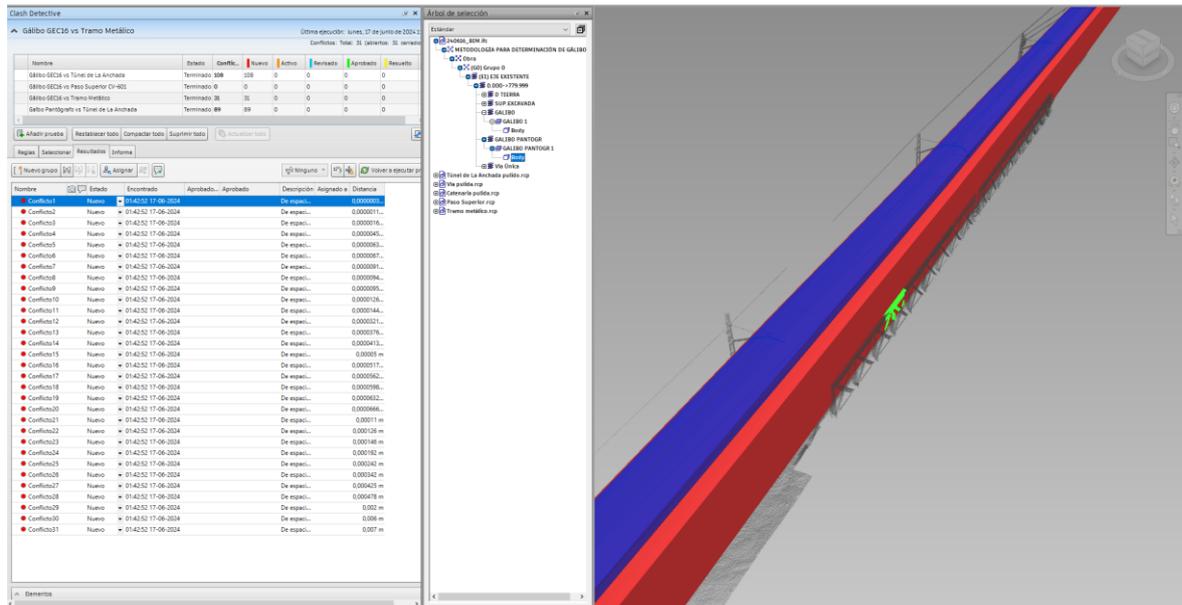


Ilustración 131. Herramienta Clash Detective para gestionar conflictos. (Elaboración propia)

Una vez ejecutado cada una de las pruebas de conflictos, tenemos la posibilidad de consultar los resultados de forma interactiva los conflictos detectados en cada prueba.

Cada conflicto puede gestionarse y catalogarse con diferentes estados, estos son:

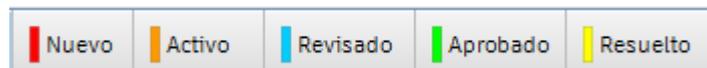


Ilustración 132. Estado de los conflictos en Navisworks con la herramienta Clash Detective. (Elaboración propia)

- Nuevo: Encontrado por primera vez en la ejecución actual de la prueba.
- Activo: Encontrado en ejecuciones anteriores y aún no resuelto.
- Revisado: Marcado como revisado por un usuario.
- Aprobado: Aprobado por un usuario.
- Resuelto: Se asume que el conflicto se resolvió mediante cambios en el archivo de diseño.

Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.

En un primer momento, el conflicto aparecerá con el estado nuevo, pero puede modificarse conforme al resto de estados.

Como se ha indicado, se puede asignar conflictos a un usuario, y este puede revisarlos, aprobarlos o resolverlos. También se pueden incluir comentarios que quedarán registrados.

Por otro lado, en la pestaña de Informe es posible configurar y generar informes con los datos de todos resultados de conflictos detectados en la cada una de las pruebas. Estos resúmenes de conflictos se importarán en formato .html

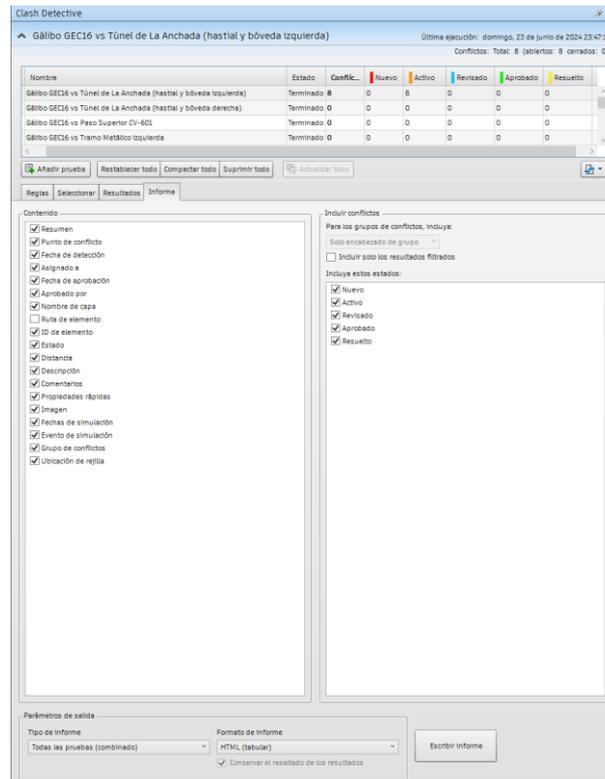


Ilustración 133. Configuración del Informe de Colisiones de Navisworks. (Elaboración propia)

Gálibo Pantógrafo vs Túnel de La Anchada (hastial y bóveda izquierda)							Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado	
							0.001m	20	0	20	0	0	0		De espacio libre	Aceptar
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Elemento 1				Elemento 2					
							Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo
	Conflicto1	Activo	0.000000172	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615874.590, y:4582170.340, z:524.673	GALIBO PANTOGR	Body		LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel			
	Conflicto2	Activo	0.000000302	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615877.892, y:4582162.160, z:524.658	GALIBO PANTOGR	Body		LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel			
	Conflicto3	Activo	0.000000493	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615865.925, y:4582190.281, z:524.335	GALIBO PANTOGR	Body		LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel			

Ilustración 134. Informe de Colisiones HTML. (Elaboración propia)

Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.

Una vez obtenido el informe de colisiones con varios conflictos detectados, bastará con tomar las medidas necesarias para solucionar los conflictos en el diseño (ripados, rebajes, ampliación sección, etc). Posteriormente, cuando se decida que alternativa tomar, se llevarán a cabo las modificaciones correspondientes en el diseño con la intención de solventarlas, por lo que se importará de nuevo el modelo en Navisworks conforme a la presente metodología y se comprobará si se han solucionado los conflictos, o si de lo contrario, se deberá volver a ajustar o cambiar el diseño para cumplir con el gálibo ferroviario estipulado.

Por consiguiente, con estas tablas y el modelo 3D se podrá comprobar los conflictos a lo largo de las actuaciones, estableciendo varios estados que ayudarán a gestionarlos desde el primero momento en que se detectaron, pasando por su revisión y aprobación.

Esta herramienta y la metodología seguida, resuelve con gran facilidad y rapidez los conflictos entre la infraestructura y los gálibos ferroviarios, comprobando el cumplimiento de los gálibos en la vida de un proyecto, con sus respectivas modificaciones o alternativas, así como verificar a lo largo de una línea, si un determinado gálibo “cabe o no”, o incluso establecer las medidas adicionales para permitir la circulación libre de conflictos. También, se puede emplear en el mantenimiento de la infraestructura, realizando un inventariado de los gálibos, así como del resto de los elementos de la infraestructura, gracias al escaneado con nube de puntos del entorno ferroviario.

Por consiguiente, es posible utilizar esta metodología en el sector de la construcción, en la explotación, y en el mantenimiento ferroviario.

## 7. CASO DE ESTUDIO

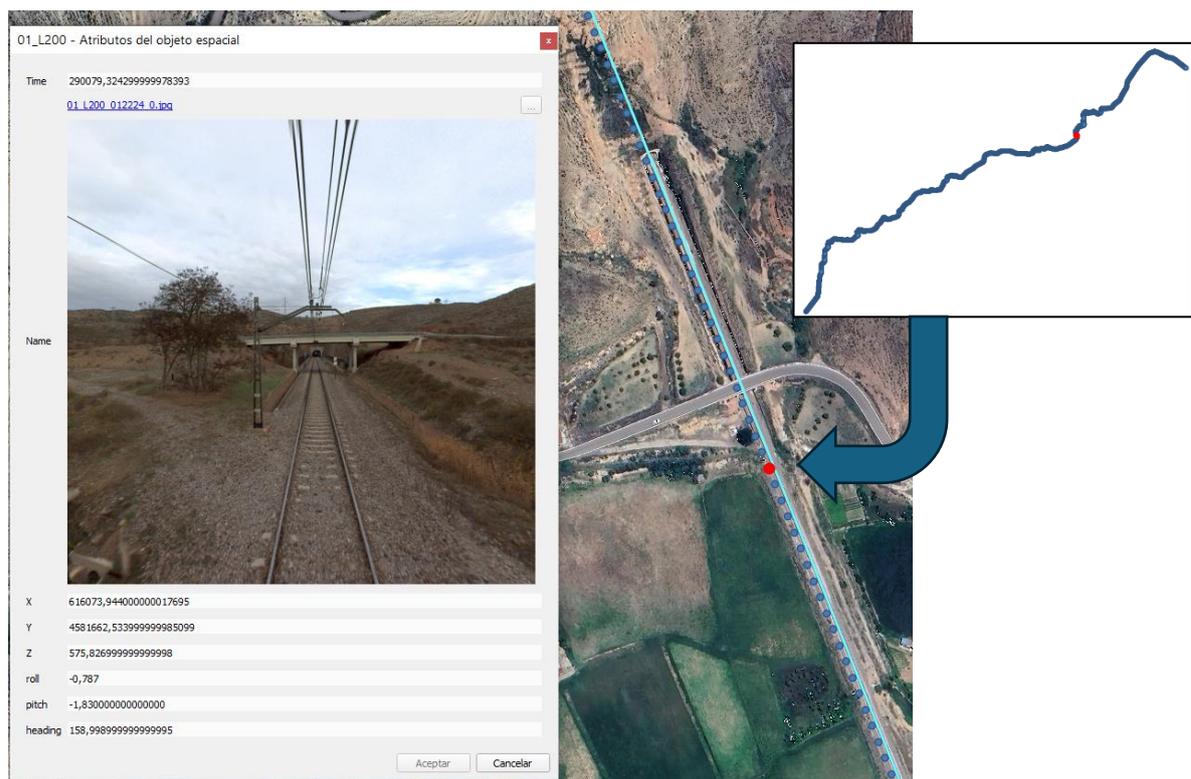
### 7.1. Introducción

En este apartado, se aplica la metodología definida en los apartados anteriores para un caso concreto.

Como ya hemos comentado, en el presente TFM se ha utilizado una nube de puntos obtenida con la tecnología mobile mapping.

El escaneo móvil se realizó a lo largo de la línea 200 de la RFIG, por lo que al tratarse de un equipo de escáner laser móvil (MLS), el sistema fue acoplado a un vehículo, que a su vez fue montado en el último vagón de un tren, tal y como se puede apreciar en la *Ilustración 67. Vehículo de mobile mapping montado en un vagón* para el escaneo de la línea 200. (ADIF, 2023a)

En la toma de datos, el equipo de mobile mapping que escaneó la línea 200, estableció una polilínea del eje de la vía a medida que iba circulando por la línea, guardando cada 10 metros una foto de la infraestructura como vemos a continuación, aparte del escaneo de la nube de puntos que nos servirá para comprobar los conflictos entre gálibo e infraestructura.



*Ilustración 135. Captura fotográfica de la infraestructura cada 10 metros en el escaneo de la línea 200 con mobile mapping en el software QGIS. (Elaboración propia)*

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Todos estos datos comentados, han sido obtenidos en *.shp* y se han importado en QGIS para poder visualizar toda la información proporcionada por el equipo, siendo está una línea de investigación para poder inventariar la infraestructura de la RFIG, añadiendo con la presente metodología, el gálibo existente sin conflictos de la línea o tramo.

Por otro lado, centrándonos en la metodología de la determinación del gálibo por medio de la nube de puntos obtenida por el equipo mobile mapping mencionado, cabe señalar que, ADIF ha cedido con fines académicos un archivo de nube de puntos (*.las*) de la línea 200, en concreto el tramo comprendido entre el P.K. 248+452 – P.K. 252+495, entre los que se encuentran tres túneles y varios pasos superiores y estructuras metálicas, del cual recortaremos seleccionado el tramo de la siguiente imagen.

Dentro del tramo escaneado, el caso de estudio se centrará en el Túnel de “La Anchada” (L200), entre el P.K. 249+409 – P.K. 249+809, de 400 metros de longitud, el Paso Superior CV-601 del P.K. 249+260 (lado Madrid L200) y el Tramo Metálico entre P.K. 249+854 – P.K. 249+894 (lado Zaragoza L200).



Ilustración 136. Plano Situación del caso de estudio. (Elaboración propia)

Señalar que el túnel de Ribota queda fuera del alcance de este estudio, ya que el presente TFM ya contempla el análisis del túnel de La Anchada, y por lo tanto, sería reiterar la metodología para ese túnel, por ello no objeto de la presente metodología.

También, destacar que la metodología sirve para cualquier tipo de túnel o estructura que se desee.

En la Ilustración 135. Captura fotográfica de la infraestructura cada 10 metros en el escaneado de la línea 200 con mobile mapping en el software QGIS. (Elaboración propia), se puede apreciar en un primer plano el paso superior CV-601 y al fondo de la imagen, el emboquille del inicio del túnel de La Anchada.

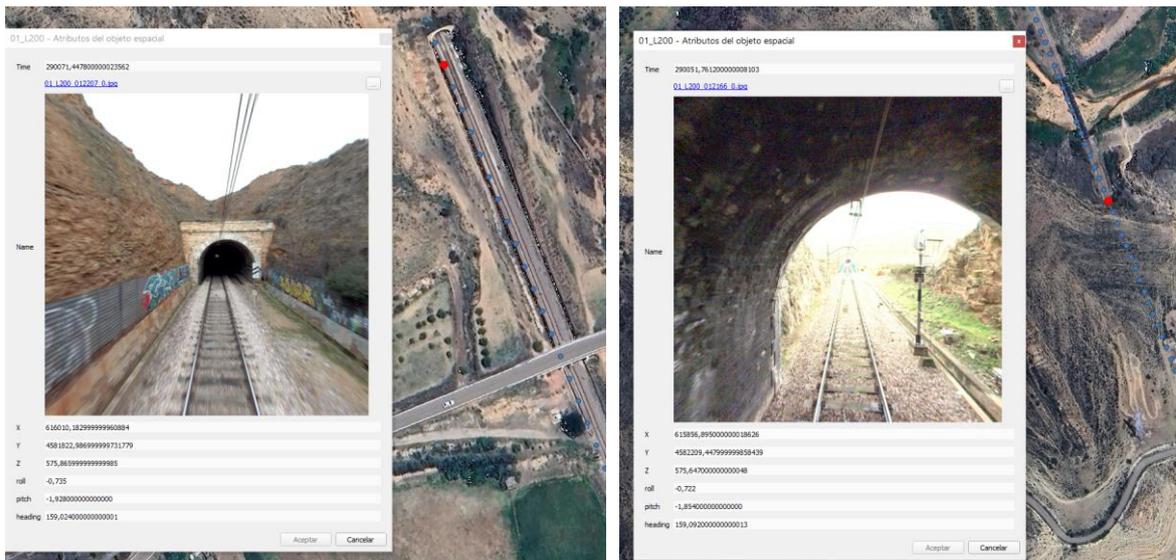


Ilustración 137. Inicio (P.K. 249+409) y final (P.K. 249+809) del Túnel de la Anchada. (Elaboración propia)

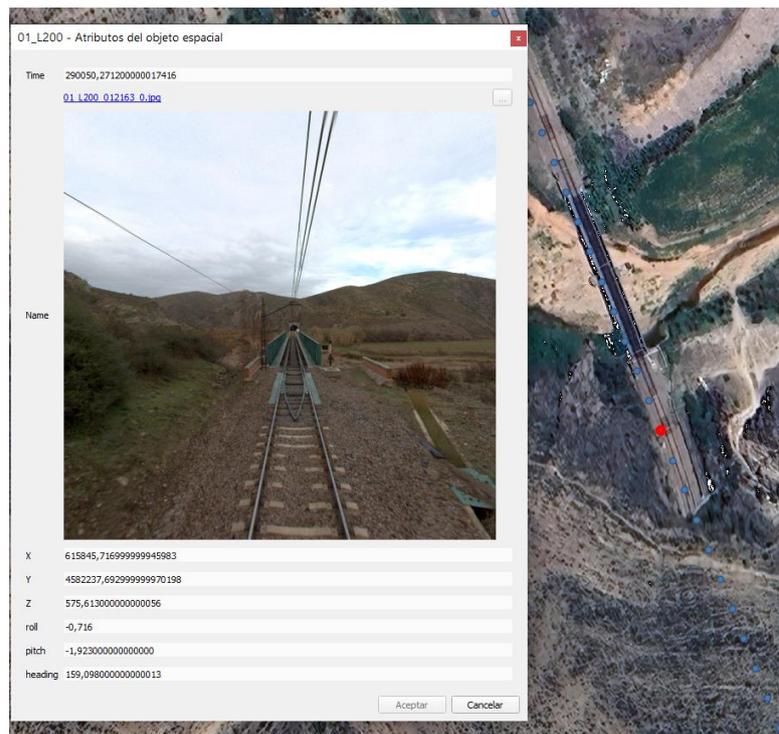


Ilustración 138. Tramo metálico (P.K. 249+854 - 249+894). (Elaboración propia)

Para mayor detalle de la situación y alcance del caso de estudio, véase los planos del Anexo del presente TFM.

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

## 7.2. Situación actual

Como ya hemos comentado, para el caso de estudio, partimos de una nube de puntos de un tramo de la línea 200, que incluye a las tres estructuras citadas.



Ilustración 139. Nube de puntos del túnel de “La Anchada” lado Madrid. (Elaboración propia)

Por consiguiente, el archivo *.las* se importa en el programa *Cloud Compare*, tal y como se ha comentado en la metodología para acotar la zona de estudio.

Para el caso de estudio, se dispone de un total de 325.775.811 puntos, repartidos en un total de 4,043 km, lo que hace de unos 81 millones de puntos por km aproximadamente.

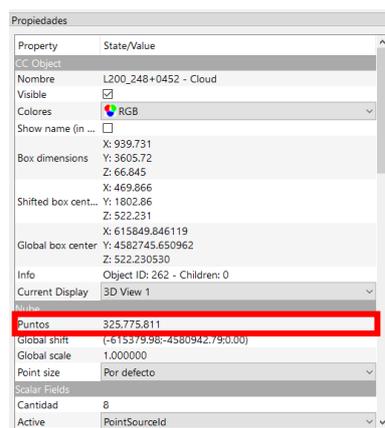


Ilustración 140. Número de puntos del tramo objeto de estudio. (Elaboración propia)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Pero para poder trabajar con mayor rapidez en los siguientes procesos, es necesario recortar la nube de puntos en el software *Cloud Compare*, manteniendo el área objeto de estudio junto con unos márgenes. Para ellos emplearemos la herramienta [Segmentar].

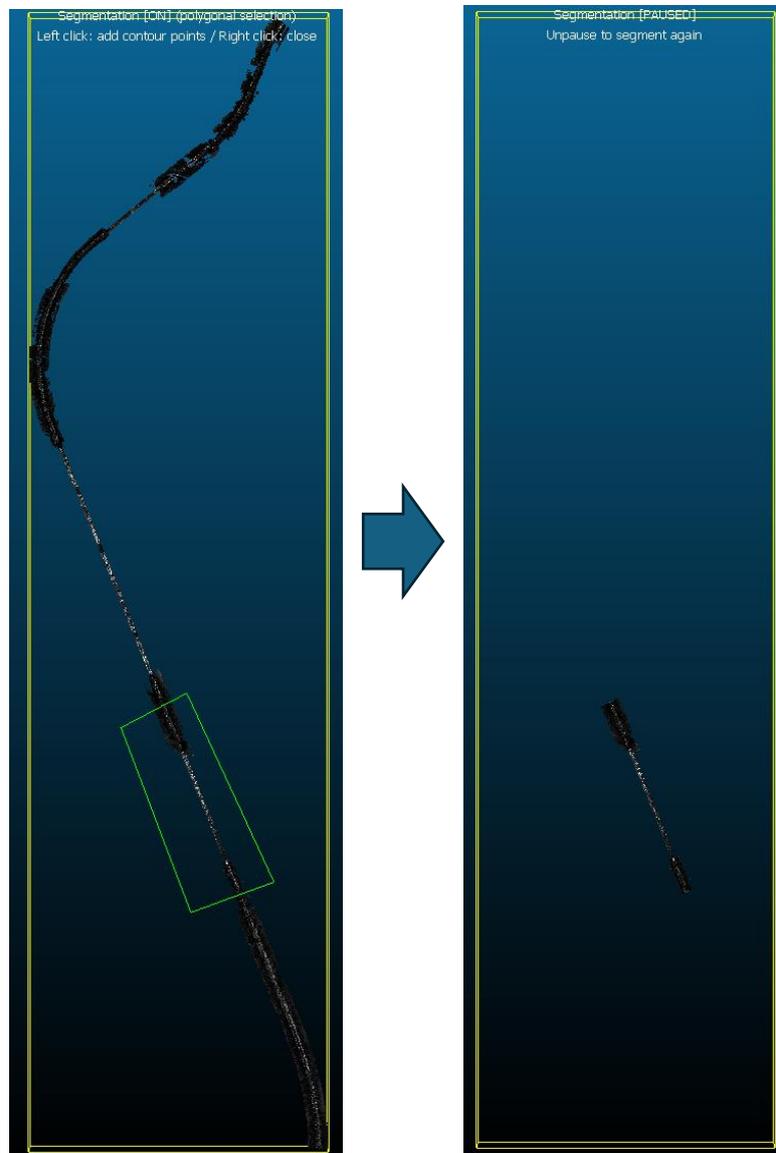


Ilustración 141. Recortando el área de estudio. (Elaboración propia)

En la anterior imagen, se puede apreciar el trazado con nube de puntos de los aproximadamente 4 km, entre lo que destaca el área interior de color verde, que es la zona donde se engloba las estructuras a estudiar de la presente metodología.

Según se puede apreciar en las propiedades de la nueva nube de puntos, se tienen un total de 69.663.583 de puntos, lo que se ha reducido en torno al 80 % con respecto a la nube de puntos inicial.

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Property	State/Value
<b>CC Object</b>	
Nombre	L200_248+0452 - Cloud.segmented
Visible	<input checked="" type="checkbox"/>
Colores	RGB
Show name (in ...)	<input type="checkbox"/>
Box dimensions	X: 327.744 Y: 722.825 Z: 39.823
Shifted box cent...	X: 554.848 Y: 1084.64 Z: 533.927
Global box center	X: 615934.827656 Y: 4582027.431479 Z: 533.926514
Info	Object ID: 270 - Children: 1
Current Display	3D View 1
<b>Nube</b>	
Puntos	69,663,583
Global shift	(-615379.98;-4580942.79;0.00)
Global scale	1.000000
Point size	Por defecto
<b>Scalar Fields</b>	
Cantidad	8
Active	PointSourceId

Ilustración 142. Número de puntos una vez segmentado. (Elaboración propia)

Asimismo, es imprescindible guardar el desplazamiento por si nos es necesario en procesos posteriores.

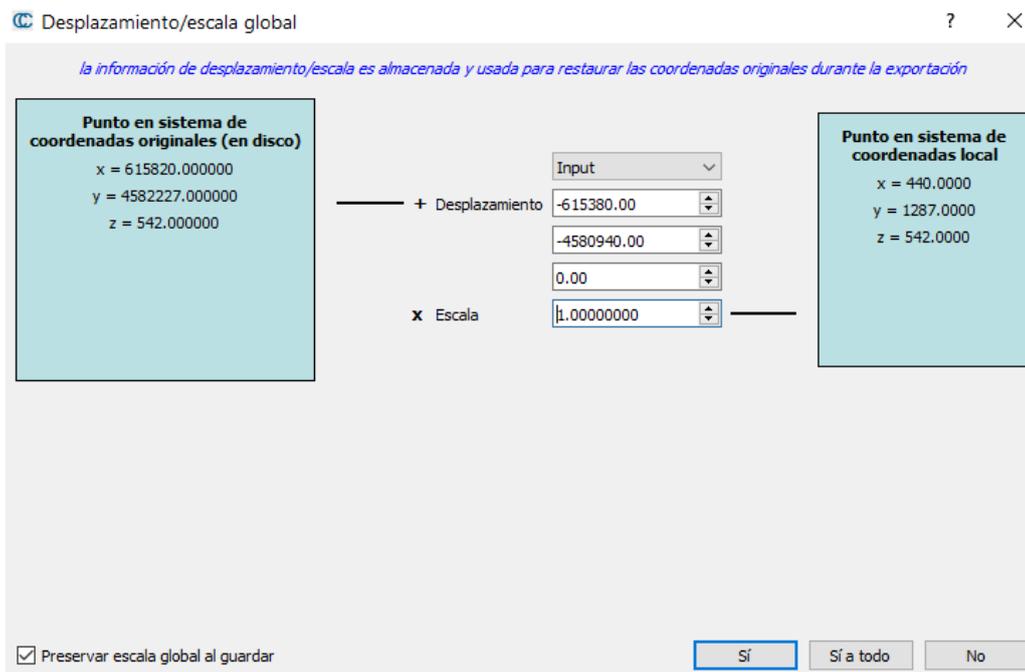


Ilustración 143. Desplazamiento y traslación en Cloud Compare para el caso de estudio. (Elaboración propia)

Una vez recortado el tramo objeto de estudio, se importa el nuevo archivo *.las* en el programa Recap, donde se crearán los siguientes grupos de la nube de puntos:

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

- Vía: carril, traviesa y balasto
- Túnel: hastiales y bóveda del Túnel de La Anchada PK 249+409 – 249+809
- Paso Superior CV-601 PK: 249+260
- Puente metálico: PK 249+854 – 249+894
- Catenaria: todo lo referente a la electrificación
- Objetos: señales, hitos, muros, etc.
- Vegetación: árboles y maleza a lo largo del tramo

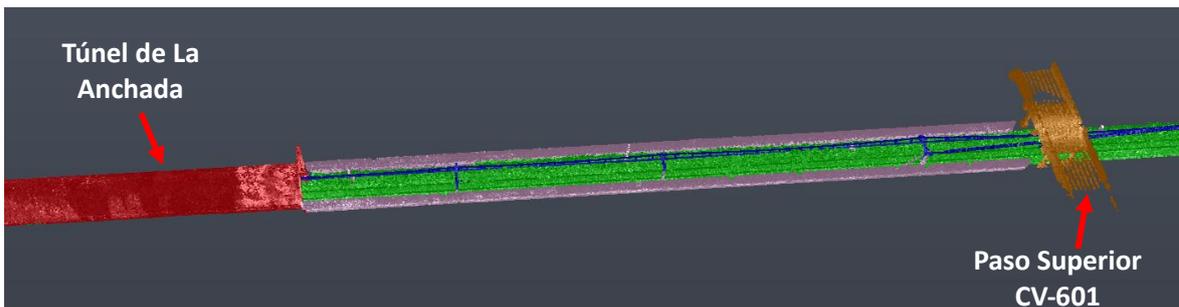


Ilustración 144. Grupos de nube de puntos desde una vista superior. (Elaboración propia)

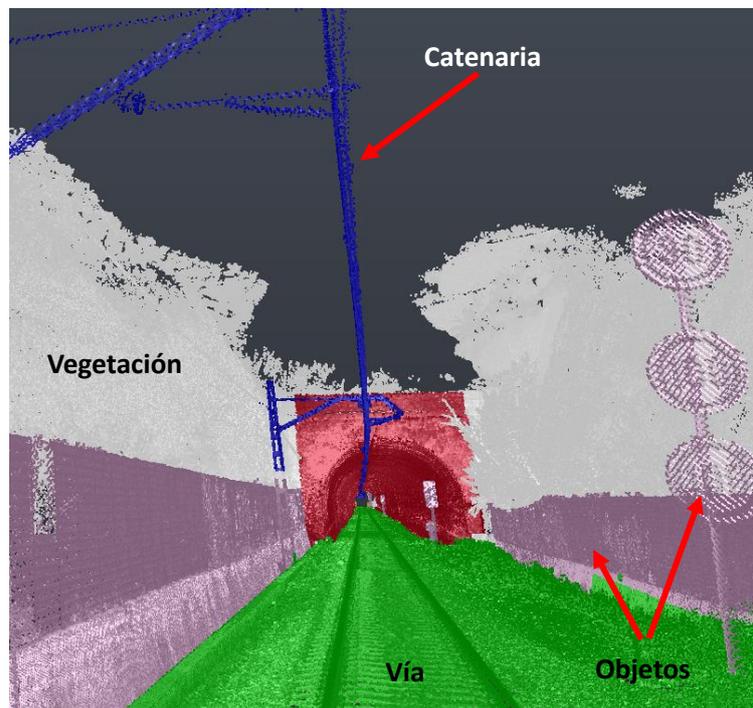


Ilustración 145. Categorización de la nube de puntos desde una vista en primera persona. (Elaboración propia)

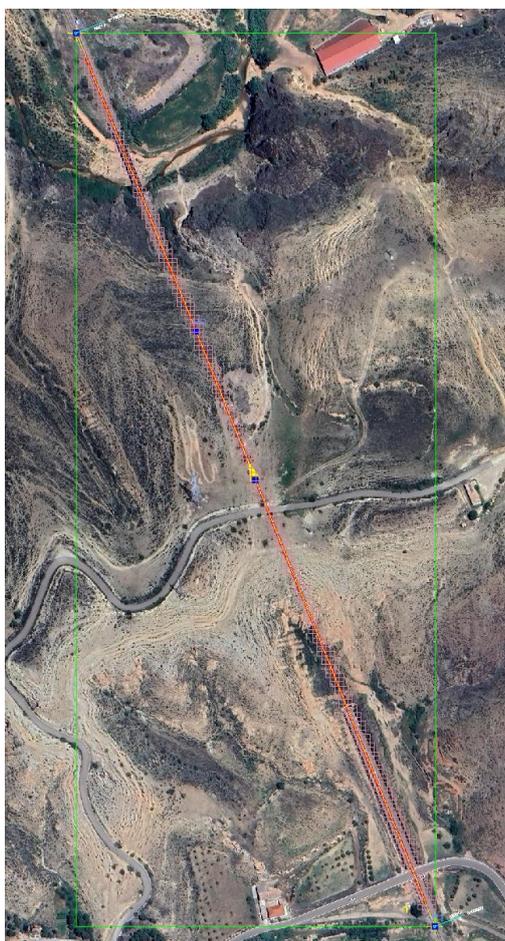
*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Se ha considerado esta división para enfrentar el gálibo con la infraestructura, haciéndolo posible tanto en planos 2D como en un modelo 3D. Para ello, es necesario crear el grupo de vía, que comprende los carriles, traviesas y plataforma, para realizar y posicionar en Istram el trazado y la rasante existente, que posteriormente se apoyarán sobre las cabezas de los carriles, el gálibo GEC16, que se ha considerado como primera hipótesis y de la que partiremos como si fuera la situación actual, para que, en caso de obtener conflictos entre el gálibo y la infraestructura, acometer las medidas necesarias para solventarlas.

Por ello, generar el grupo de vía en Recap y encajar el trazado y rasante existente en Istram, es necesario para poder verificar si existe interferencias entre el gálibo implantado y el túnel de La Anchada.

Asimismo, también se comprobará las posibles colisiones con el resto de los elementos para garantizar la seguridad en la circulación.

Por consiguiente, una vez se han categorizado la nube de puntos por grupos en Recap, se importa el archivo .e57 de la nube del grupo de vía en Istram, para encajar el trazado y la rasante existente.



*Ilustración 146. Encaje del trazado existente en planta del caso estudio. (Elaboración propia)*

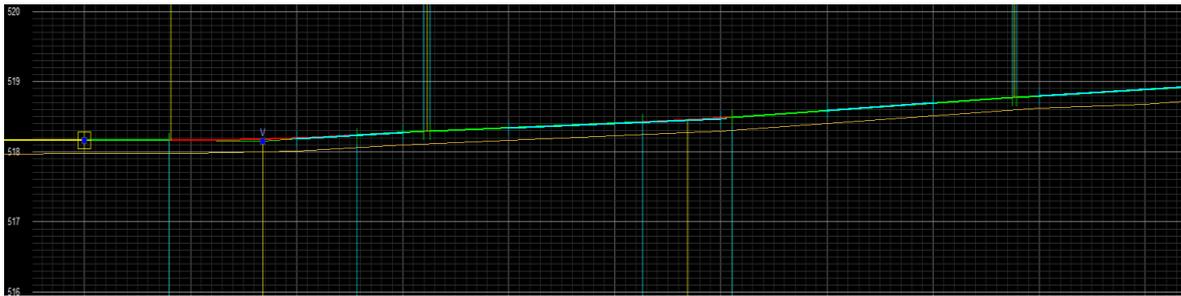


Ilustración 147. Encaje de la rasante existente del caso estudio. (Elaboración propia)

Después se han incluido los elementos necesarios para diseñar el alzado y el gálibo de implantación de obstáculos GEC16 (como gálibo de partida), junto con el gálibo del pantógrafo, como se puede distinguir en la siguiente ilustración.

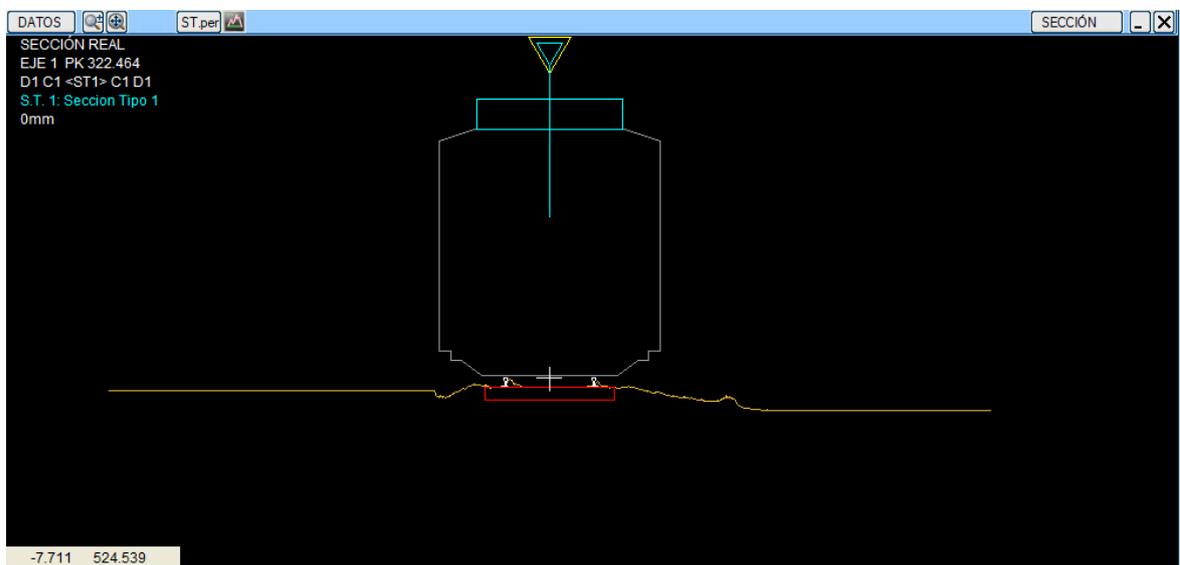


Ilustración 148. Sección tipo GEC16 del caso de estudio. (elaboración propia)

Como ya hemos comentado en la metodología, solo se han incluido las traviesas y los carriles en el diseño de la sección tipo y la plataforma del eje, ya que las capas de balasto y subbalasto no son necesarias para el estudio.

Una vez se ha diseñado al completo el alzado y la sección tipo según los pasos de la metodología descrita, se incluirán el resto de nubes de puntos que previamente han sido categorizadas por los grupos descritos anteriormente.

A continuación, podemos visualizar las nubes que han sido importadas en el software Istram y que nos servirán para obtener los planos 2D.

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

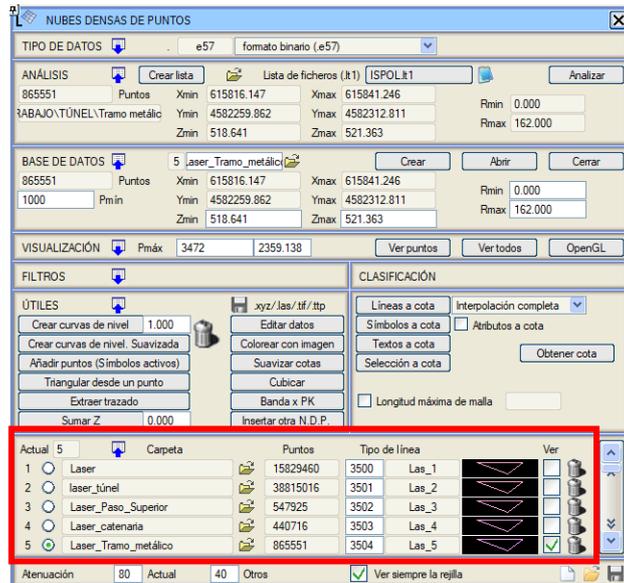


Ilustración 149. Nubes de puntos utilizados en Istram para obtener planos. (Elaboración propia)

Primeramente, se representará el trazado existente con el túnel de la Anchada (P.K. 249+409 - P.K. 249+809), para ello se han generado perfiles con una equidistancia de 20 metros, concluyendo que con un gálibo GEC16 se obtienen conflictos entre gálibo e infraestructura en el hastial y bóveda izquierdo en todo el túnel (véase planos 3.3.1 y 3.4.1).

Asimismo, tal y como se puede ver en los planos de secciones tipo existentes 3.3.1 y 3.4.1, el trazado está desplazado hacia la izquierda, por lo que es posible que con un centrado de vía se evite el conflicto, o por lo menos en gran parte del túnel.

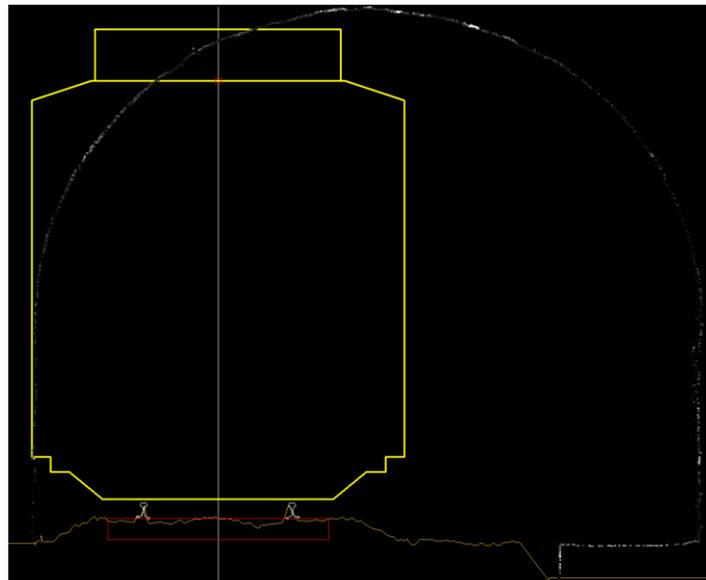


Ilustración 150. Colisión entre Gálibo GEC16 y el túnel de La Anchada. (Elaboración propia)

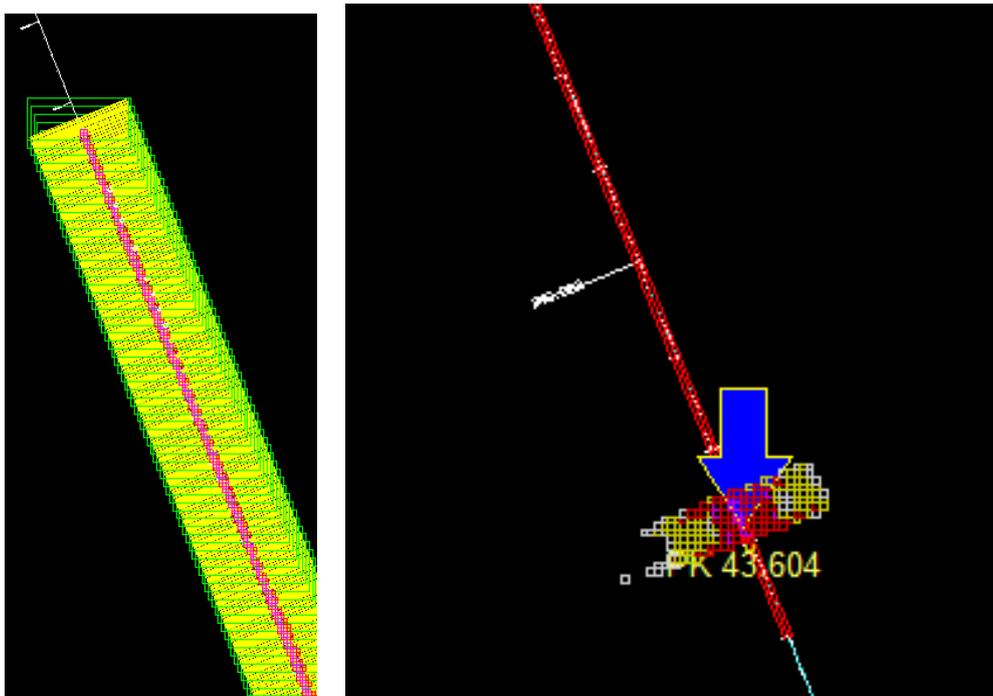
*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Otra alternativa, puede ser una ampliación del túnel para implantar el GEC16 en la situación actual, pero para el caso del túnel de la Anchada, es necesario una ampliación de bóvedas y hastiales en prácticamente los 400 metros de recorrido del túnel.

Otra opción, sería realizar un rebaje de la sección, para garantizar la altura del hilo de contacto y evitar el conflicto entre la bóveda con el gálibo del pantógrafo, o incluso si no fuera posible asegurar la altura del hilo de contacto, se requerirá de nichos para situar el apoyo de la catenaria.

También cabe la posibilidad de una combinación de todas estas acciones, pues una vez detectado la colisión con la metodología descrita en el presente TFM, se deberán llevar a cabo las soluciones más ventajosas para solventar el conflicto.

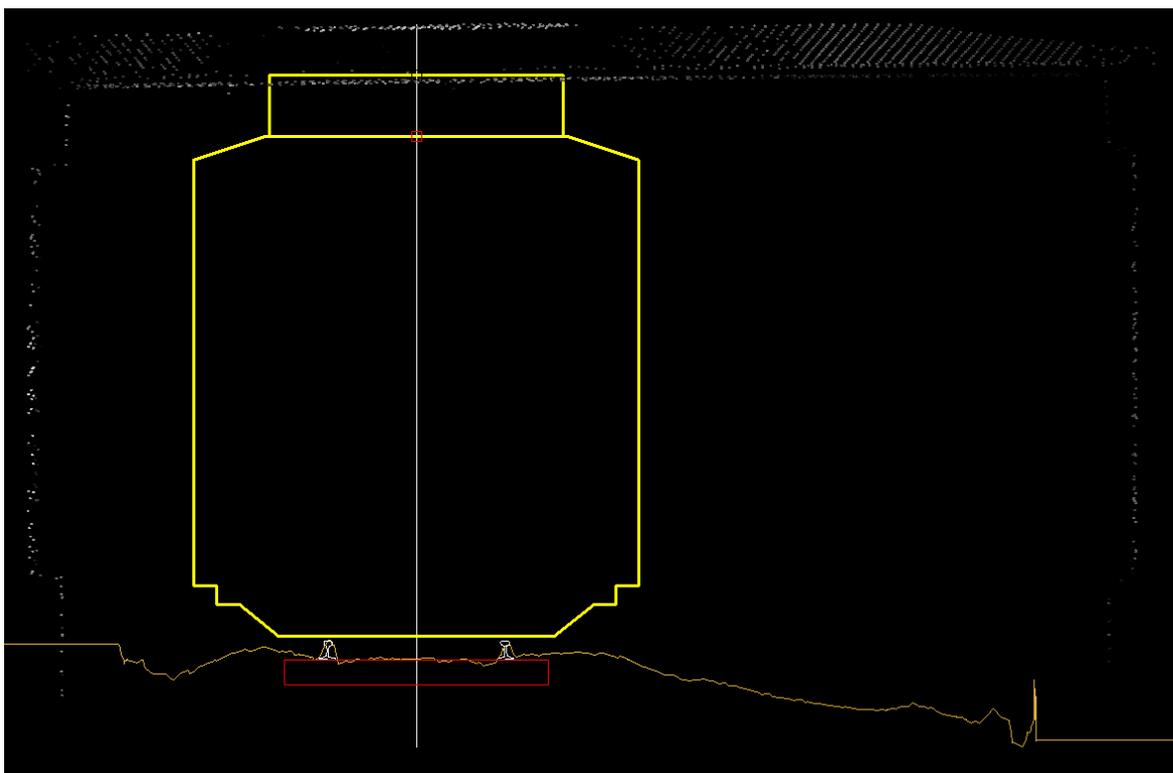
Para el caso del Paso Superior CV-601 (P.K. 249+260) y el Puente Metálico (P.K. 249+854 - P.K. 249+894), ha sido necesario generar de nuevo el eje transversal con equidistancias de 1 metro, para que cada laja corte con las estructuras mencionadas. Para estos casos, al no ser estructuras lineales (de más de 20 metros) ha sido más complicado de obtener una sección transversal justo en la infraestructura a estudiar, es por ello que se disminuye las equidistancias transversales para poder sacar secciones y verificar que existe o no conflicto.



*Ilustración 151. Generación del eje transversal con equidistancia de 1 metro para verificar los conflictos con el Paso Superior CV-601. (Elaboración propia)*

A continuación, se puede apreciar el contorno del paso superior que conforman los puntos de la nube en escala de grises, resaltándose en color amarillo el gálibo de implantación de obstáculos y el gálibo del pantógrafo.

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*



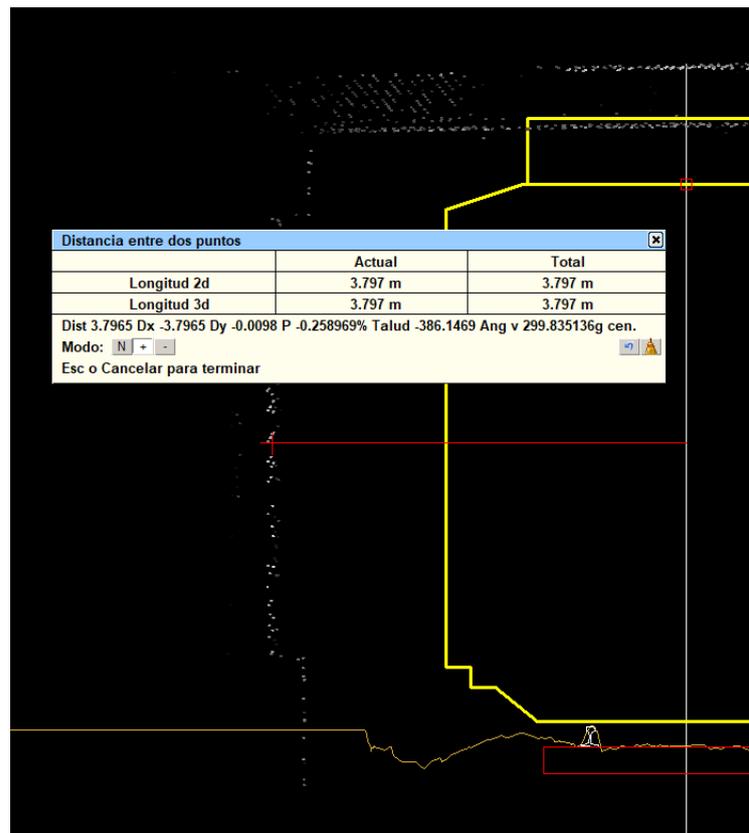
*Ilustración 152. Colisión entre Gálibo GEC16 y el Paso Superior CV-601 P.K. 249+260. (Elaboración propia)*

En consecuencia, en el Paso Superior CV-601 existe un conflicto con el gálibo del pantógrafo del GEC16 como se puede ver en la imagen de arriba y en los planos de secciones transversales existentes 3.3.2 y 3.3.4 del Anexo. Este conflicto es posible que con un rebaje de la sección se solviente.

Asimismo, otra herramienta que contiene esta metodología, es la posibilidad de verificar la distancia mínima entre el entreje y la pila de un paso superior obtenido con la nube de puntos, aunque también es posible exportarlo en Cad y realizar esta operación. En este caso, la normativa NAP 2-0-0.4 Pasos Superiores (ADIF, 2024b), establece que la distancia mínima horizontal entre el eje de la vía más cercana y los paramentos de las pilas deben ser superiores a los 5,3 metros en ancho ibérico, para evitar impactos de trenes descarrilados contra las pilas. En caso contrario, se deberá realizar un análisis de riesgo según la metodología descrita en la NAP 2-0-1.4. Metodología para la evaluación del riesgo de colapso de estructuras por impactos de vehículos ferroviarios descarrilados., que requerirá la evaluación de la probabilidad del riesgo de colapso de una estructura como consecuencia del impacto de un vehículo descarrilado en elementos de apoyo de la estructura próximos a las vías.

En definitiva, dicha metodología NAP 2-0-1.4. determina si el riesgo es aceptable, lo cual no es necesario adoptar medidas de mitigación adicionales, o el riesgo es inaceptable, por lo que será necesario adoptar medidas de mitigación adicionales. (ADIF, 2023b)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*



*Ilustración 153. Incumplimiento distancia mínima horizontal entre el eje de la vía y la pila del Paso Superior CV-601. (Elaboración propia)*

Para el caso de estudio, tal y como se puede observar en los perfiles transversales del Paso Superior CV-601 incluidos en los planos del Anexo, obtenidos a través de la metodología de nube de puntos del presente TFM, se puede comprobar que la distancia horizontal entre el eje de la vía el pilar del paso superior es de aproximadamente 3,8 metros, por lo que incumplen el gálibo horizontal.

Por consiguiente, para el Paso Superior CV-601 se deberá establecer un análisis de riesgos según la NAP 2-0-1.4, de tal manera que se concluya si es necesario medidas mitigadoras adicionales o no.

Por otro lado, para el tramo metálico del lado Zaragoza entre el P.K. 249+854 - P.K. 249+894 de la línea 200, también se ha realizado con equidistancias de 1 metro por el motivo comentado anteriormente.

Cabe señalar que es evidente que, en los perfiles transversales generados para el tramo metálico, se aprecian picos en la superficie.

Esto es debido a que el puente metálico no contiene balasto, por lo tanto, en la medición, la nube de puntos es menos densa en esa zona, por lo que a la hora de introducirlo en el programa Istram, la plataforma en ese tramo de puente metálico genera esa especie de picos que podemos apreciar.

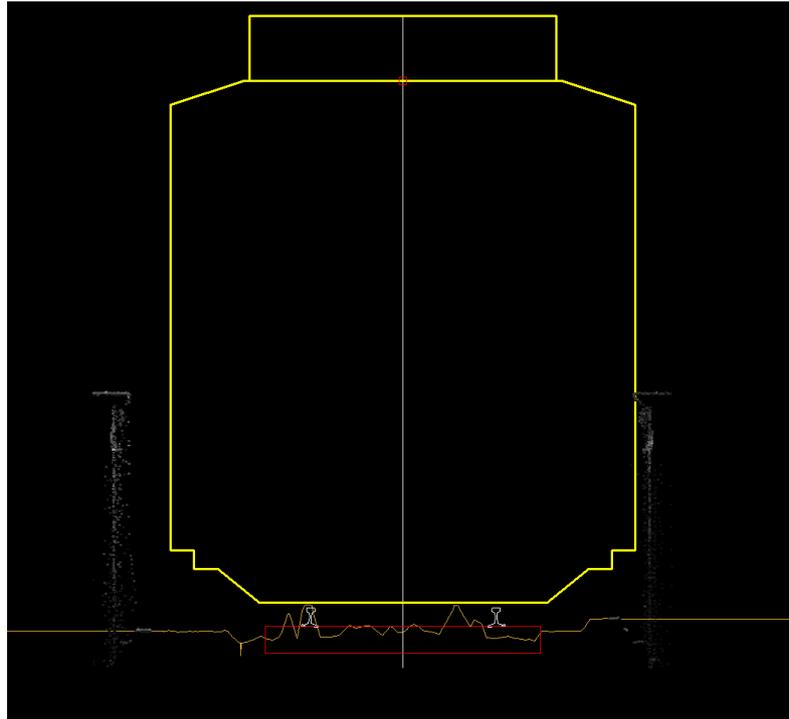


Ilustración 154. Colisión entre Gálibo GEC16 y el Puente Metálico P.K. 249+854 - P.K. 249+894. (Elaboración propia)

Una vez determinado los perfiles transversales del conjunto de las tres estructuras estudiadas en Istram, se exportarán a un CaD, para obtener los planos en 2D.

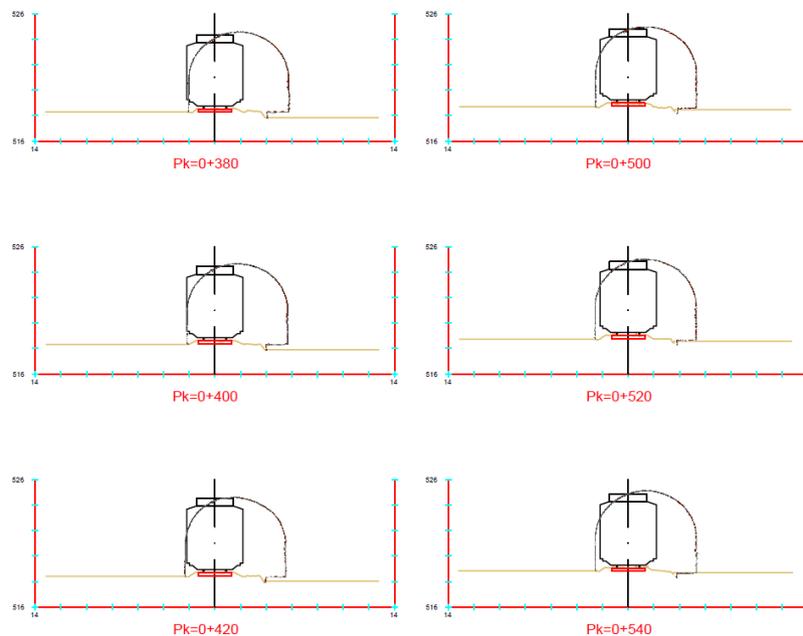
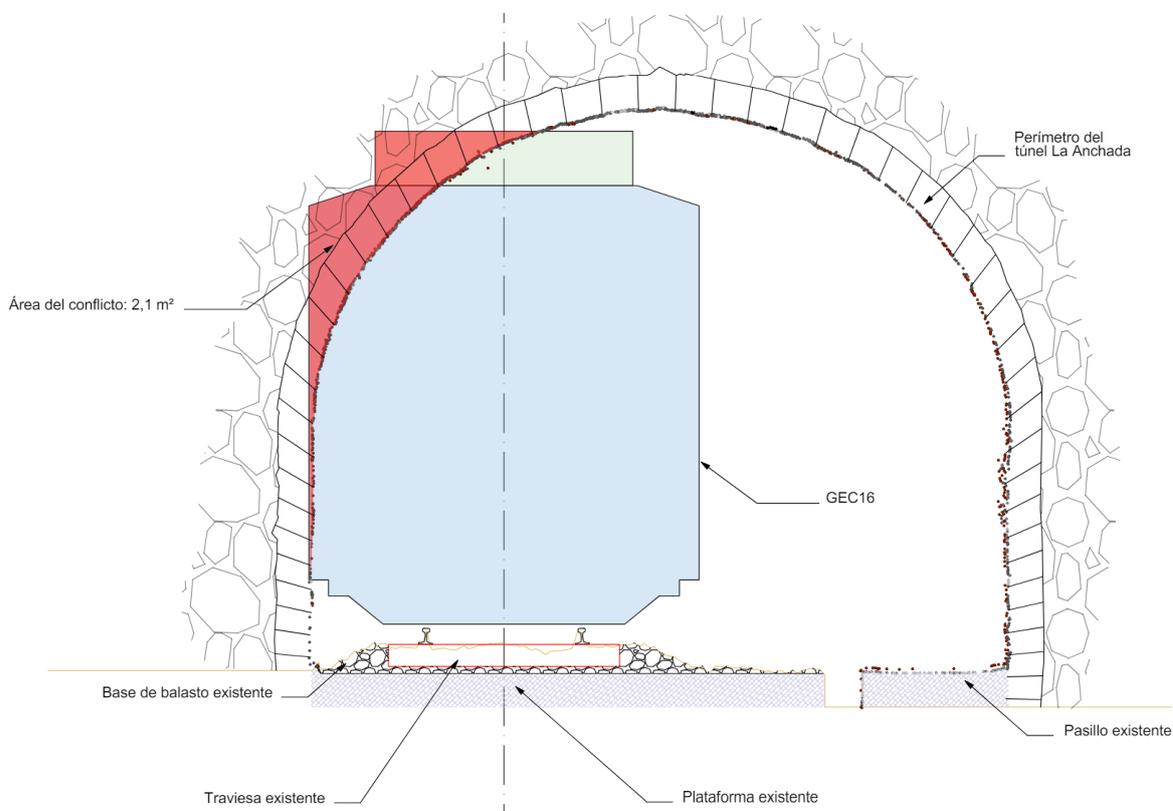


Ilustración 155. Planos de perfiles transversales en el túnel de La Anchada con gálibo GEC16. (Elaboración propia)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Todos los planos de secciones transversales existentes con el gálibo GEC16, se pueden apreciar en los planos 3.3 del Anexo del presente TFM.



*Ilustración 156. Plano de sección transversal corroborando el conflicto entre túnel y gálibo de implantación de obstáculos GEC16 con la situación actual. (Elaboración propia)*

Una vez obtenido los planos 2D con los conflictos entre el gálibo GEC16 y las infraestructuras afectadas, se obtendrá el modelo 3D.

Para conseguir el modelo en Istram, se procede a importar a un archivo *.ifc* el proyecto, el cual es un formato estándar desarrollado por BuildingSMART (ya mencionada en el estado del arte) que se aplica a la metodología y software BIM.

Pero antes de ello, se ha incluido el sistema de clasificación e identificación RIH SCFClass V2 en el menú de [Clases/Atributos] dentro de la pestaña BIM.

Tal y como se ha comentado en el estado del arte, este sistema tiene la intención de clasificar todos y cada uno de los componentes y elementos del ferrocarril para tener el mismo un criterio común entre todos los que desarrollamos modelos federados.

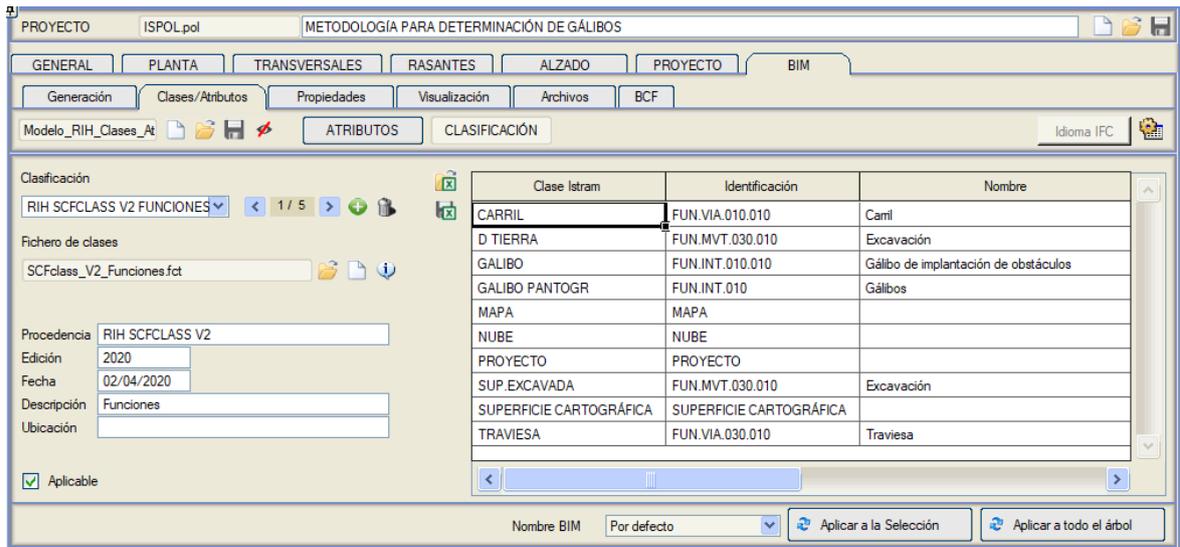


Ilustración 157. Clasificación RIH SCFCLASS V2 incluida en Istram para el caso de estudio. (Elaboración propia)

Es posible realizar un filtrado de las clases Istram de la ventana Clases/Atributos para que solo se muestren las que realmente se están usando en el proyecto actual.

Asimismo, también es posible guardar dicha clasificación en el formato Excel, por si es más cómodo a la hora de visualizar la tabla de clasificación BIM incluida.

Clase Istram	Identificación	Nombre
ALETA OBRA FÁBRICA	FUN.DRE.010.010	Obra de drenaje transversal
BALASTO	FUN.VIA.050.010	Capa de balasto
banda_continua (L141)	FUN.VIO.040.020	Marca longitudinal
banda_discontinua (L142)	FUN.VIO.040.020	Marca longitudinal
BASE	FUN.VIO.030.040	Base
BASE HORMIGON	FUN.VIO.030.040	Base
Bio_SD_4	FUN.VIO.060.040	Pretil
Bio_SD_8	FUN.VIO.060.040	Pretil
BiondaS_D (L3252)	FUN.VIO.060.040	Pretil
BiondaS_i (L3250)	FUN.VIO.060.040	Pretil
C_M.2.6b (L3160)	FUN.VIO.040.020	Marca longitudinal
CAPA DE FORMA	FUN.MVT.050.020	Capa de forma
Capitel	FUN.EST.090.010	Pila
CAPITEL	FUN.EST.090.010	Pila
CARRIL	FUN.VIA.010.010	Carril
Carril Derecho	FUN.VIA.010.010	Carril
Carril Izquierdo	FUN.VIA.010.010	Carril
CUNETAS GUARDA	FUN.DRE.030.060	Cuneta de guarda
D TIERRA	FUN.MVT.030.010	Excavación
D_M.1.1 (L3161)	FUN.VIO.040.020	Marca longitudinal
Estribo	FUN.EST.090.020	Estribo
EXCAVA OF	FUN.MVT.030.010	Excavación
FIRME	FUN.VIO.030.010	Firme
Firmes	FUN.VIO.030.010	Firme
FUSTE	FUN.EST.090.010	Pila
Fustes	FUN.EST.050.010	Pilar
GALIBO	FUN.INT.010.010	Gálbo de implantación de obstáculos
GALIBO PANTOGR	FUN.INT.010	Gálbos
IMPOSTA	FUN.VIO.060.050	Imposta
INTERMEDIA	FUN.VIO.030.030	Capa intermedia
M-5.1a (C3150)	FUN.VIO.040.020	Marca longitudinal

Ilustración 158. Excel con la Clasificación RIH SCFCLASS V2 incluida en Istram. (Elaboración propia)

*Innovación en la determinación de gálbos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Posteriormente se genera el proyecto en IFC del tramo proyectado en Istram, para obtener el modelo 3D y poder ejecutarlo en Navisworks.

Una vez importado el IFC del proyecto en Navisworks, se ha comprobado que la clasificación RIH se ha traspasado al modelo 3D, como se puede ver en la siguiente imagen con la selección del carril en Navisworks.

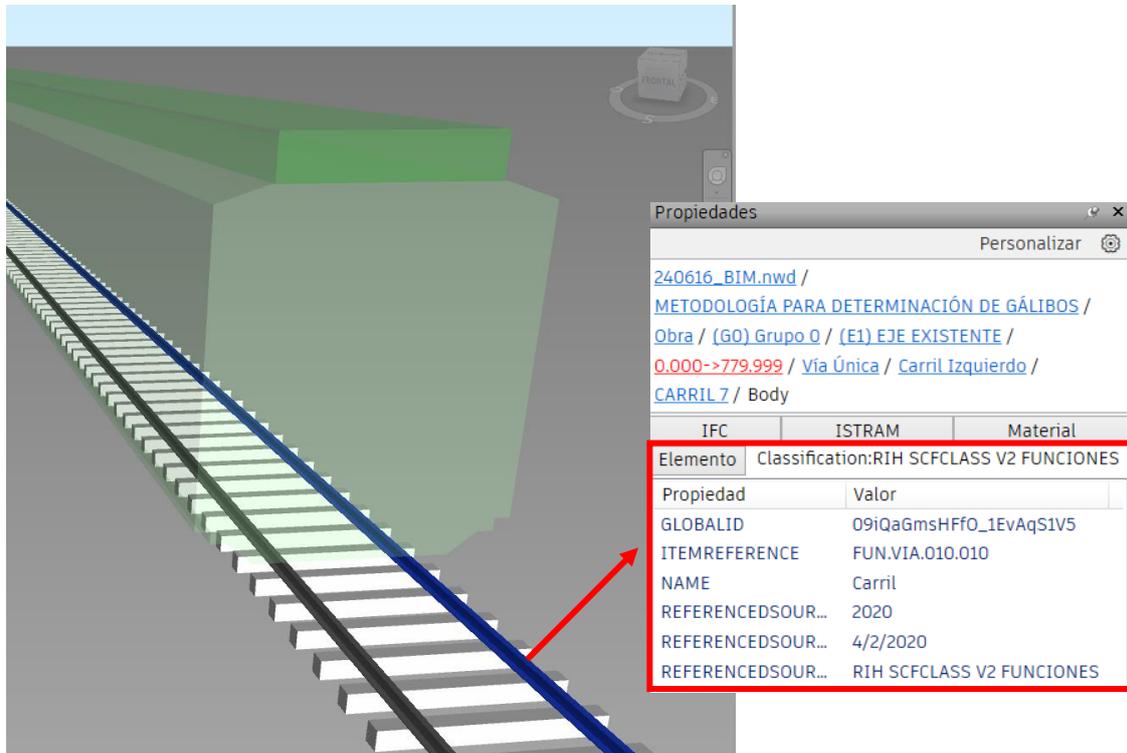


Ilustración 159. Clasificación RIH SCFclass V02 del carril en Navisworks sobre el caso de estudio. (Elaboración propia)

También como se ha comentado, es posible verificarlo con el software libre BIMvision.

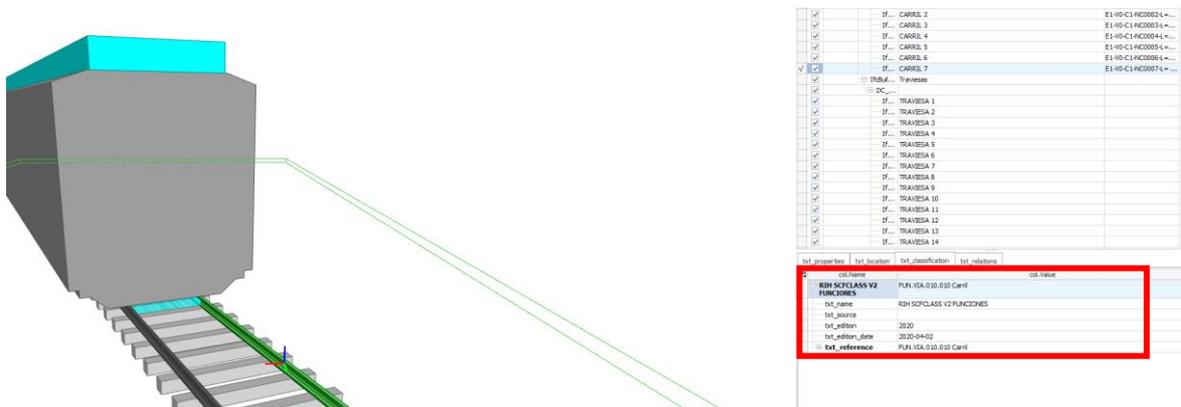


Ilustración 160. Clasificación RIH SCFclass V02 del carril en BIMvision sobre el caso de estudio. (Elaboración propia)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Prosiguiendo con el objetivo de modelizar la nube de puntos y el diseño Istram en 3D, se realiza el informe de conflictos para la situación actual entre gálibo GEC16 y el resto de las infraestructuras, por lo que se añaden los grupos de Recap de la nube de puntos que anteriormente se han categorizado.

Destacar que, para este caso de estudio, se ha tenido que dividir la nube de puntos del túnel entre el hastial y bóveda izquierda, y el hastial y bóveda derecha, ya que los voxel de la nube agrupaba puntos tanto del hastial derecho como izquierdo, señalando una única región.



*Ilustración 161. Voxel agrupando puntos en hastial izquierdo y derecho, en túnel de La Anchada. (Elaboración propia)*

Un voxel es una unidad cúbica en un espacio tridimensional, que agrupa puntos cercanos en un área.

Por consiguiente, la nube de puntos del túnel, establecía varios voxel que agrupaban tanto hastiales y bóvedas de ambos lados, por lo que al colisionar en el hastial izquierdo, también se señalaba el derecho, ya que comparten el mismo voxel.

Es por ello que se ha considerado realizar la división de la nube de puntos entre el hastial y bóveda izquierda, y el hastial y bóveda derecha, en el software Recap como vemos en la siguiente imagen.

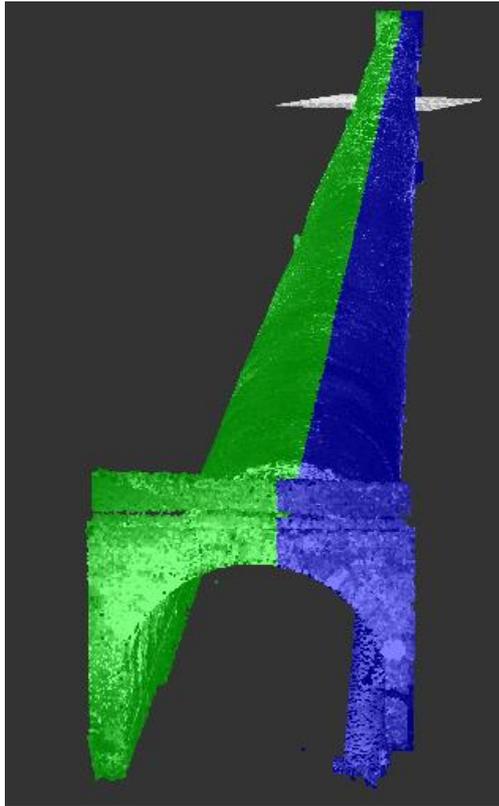


Ilustración 162. División de la nube de puntos del hastial y bóveda a ambos lados en Recap. (Elaboración propia)

Esto también ocurre con el tramo metálico, pues agrupa en un mismo voxel ambos lados de la estructura, provocando que no se aprecie en que lado existe la colisión. Esta estructura también se divide entre izquierda y derecha.

Por lo tanto, el árbol de selección en Navisworks quedará de la siguiente manera.

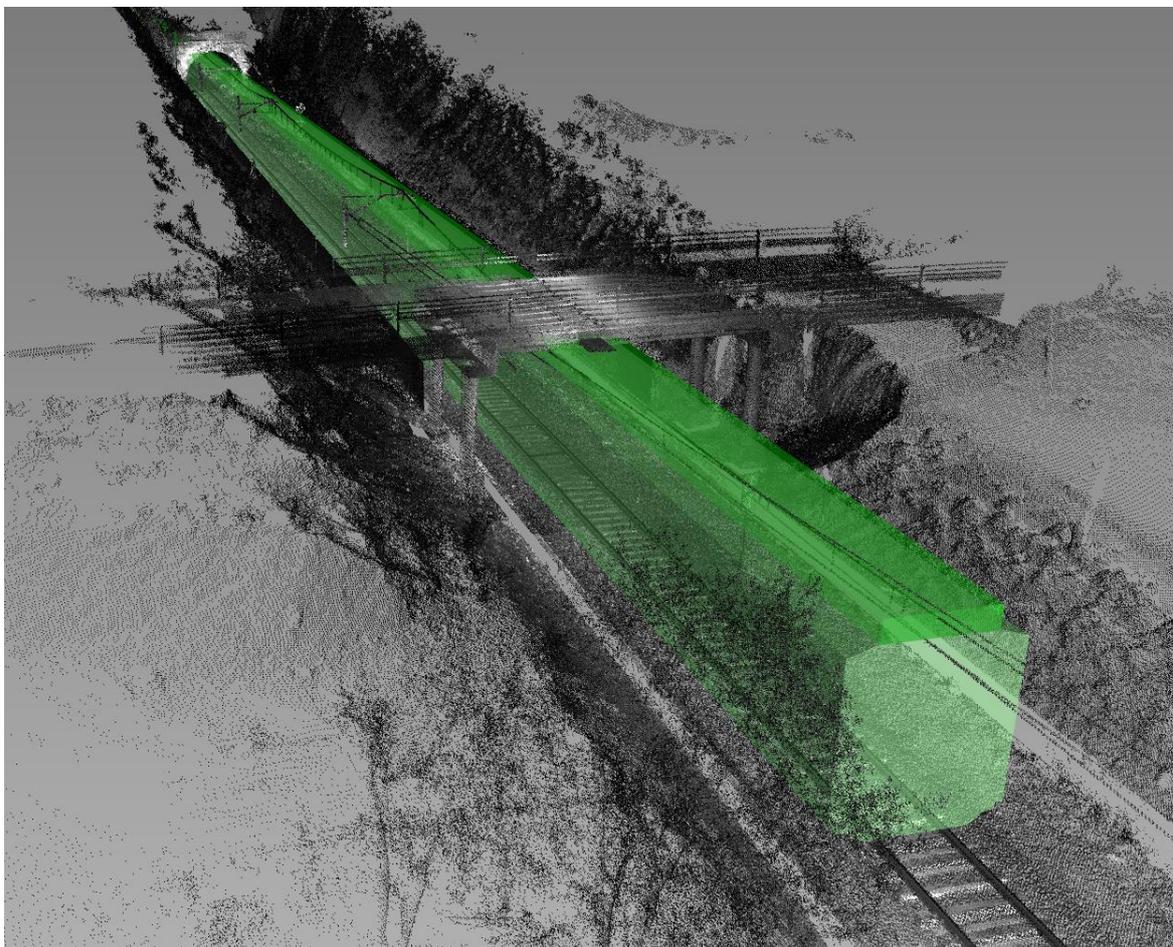


Ilustración 163. Árbol de selección del caso de estudio en Navisworks. (Elaboración propia)

*Innovación en la determinación de gálbos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Este árbol de selección es el que se ha utilizado para el caso de estudio, pudiendo configurarse según el caso de estudio o proyecto, pues serán totalmente diferentes.

Según el anterior árbol, el modelo federado se visualizaría de la siguiente manera en el software de Navisworks:



*Ilustración 164. Modelo 3D en Navisworks del caso de estudio. (Elaboración propia)*

Una vez importado el archivo IFC de la situación existente con GEC16 y las nubes categorizadas en Recap, se procede a generar el informe de colisiones, enfrentando los grupos de elementos contra el gálibo diseñado.

Se ha seguido un orden de conflictos, ya que posteriormente se compararán con otros modelos sus respectivos informes de conflictos.

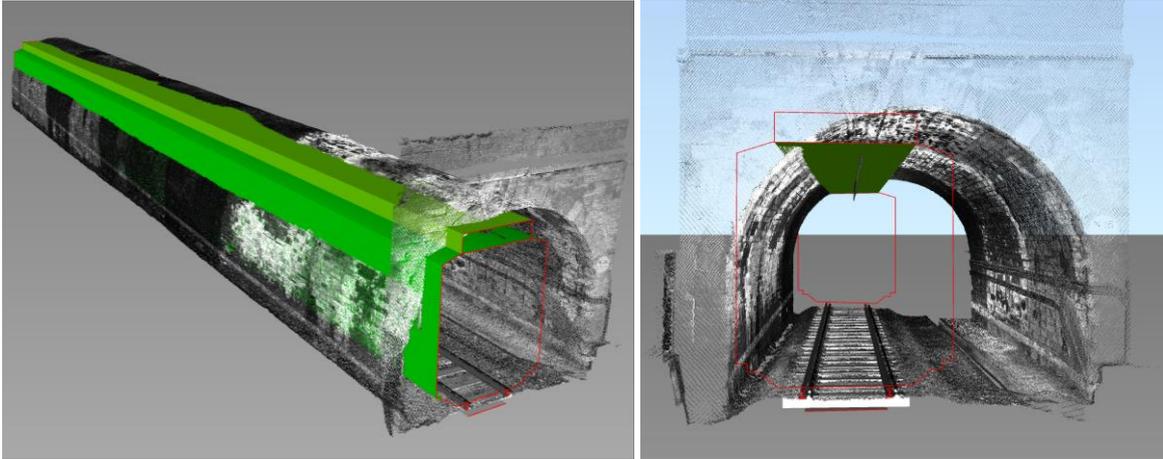
A continuación, se expone una tabla donde se indican los elementos enfrentados y sus conflictos detectados.

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Tabla 21. Situación Actual: Conflictos con GEC16. (Elaboración propia)

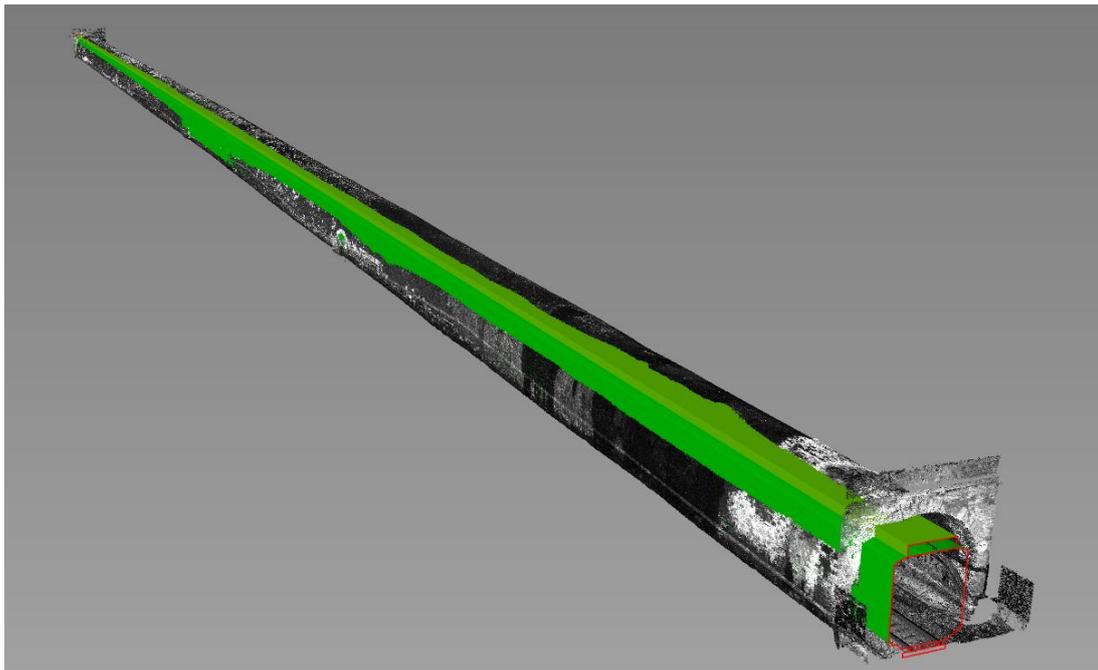
ELEMENTO 1	ELEMENTO 2	CONFLICTOS
Gálibo GEC16	Túnel de La Anchada (Hastial y bóveda izquierda)	<b>73</b>
	Túnel de La Anchada (Hastial y bóveda derecha)	0
	Paso Superior CV-601	0
	Tramo Metálico izquierda	0
	Tramo Metálico derecha	<b>25</b>
	Objetos	0
	Vegetación	0
Gálibo Pantógrafo	Túnel de La Anchada (Hastial y bóveda izquierda)	<b>57</b>
	Túnel de La Anchada (Hastial y bóveda derecha)	0
	Paso Superior CV-601	<b>6</b>
	Tramo Metálico izquierda	0
	Tramo Metálico derecha	0
	Objetos	0
	Vegetación	0

Tal y como se indica en la tabla de arriba, se detectan muchos conflictos, desde la colisión entre gálibo GEC16 y pantógrafo con el hastial y bóveda izquierda, hasta la colisión del GEC16 con el lado derecho del tramo metálico y el conflicto del pantógrafo en el Paso Superior CV-601.



*Ilustración 165. Conflicto en modelo 3D con la situación actual y el gálibo GEC16 en el emboquille del túnel de La Anchada lado Madrid. (Elaboración propia)*

El color verde de abajo corresponde con el gálibo de implantación de obstáculos, que en este caso de situación actual se ha implantado un GEC 16, mientras que el color verde de arriba representa el gálibo del pantógrafo.



*Ilustración 166. Conflicto en modelo 3D en hastial y bóveda izquierdo con la situación actual y el gálibo GEC16 a lo largo del túnel de La Anchada. (Elaboración propia)*

Como se puede apreciar arriba, en la situación actual, se obtiene conflicto entre el túnel con el gálibo GEC16 y el pantógrafo en todo el túnel (esto también lo indica el informe de conflictos). Por lo que sería necesario ampliar la sección en los 400 metros de túnel si se mantiene el trazado actual.

*Innovación en la determinación de gálidos ferroviarios mediante nube de puntos.*



*Ilustración 167. Conflicto detectado en el Informe de colisiones entre el túnel de La Anchada y el gálibo GEC16 junto con el gálibo del pantógrafo. (Elaboración propia)*

La imagen anterior ha sido recopilada del informe de colisiones realizado y que se puede consultar en los Anexos, donde en color rojo se establece el gálibo de implantación de obstáculo y el del pantógrafo, mientras que en color verde, se representa los hastiales y bóvedas del túnel, que en este caso han colisionado con el del lado izquierdo.

Asimismo, ocurre lo mismo para el resto de gálibos inferiores al GEC16, pues siguen presentando conflicto a lo largo del túnel de La Anchada.

Por otro lado, en el informe de colisiones se hace referencia a que existe un conflicto entre el gálibo del pantógrafo con el paso superior CV-601, del cual se corrobora en el modelo 3D, y del que también ha sido posible detectarlo en los planos.



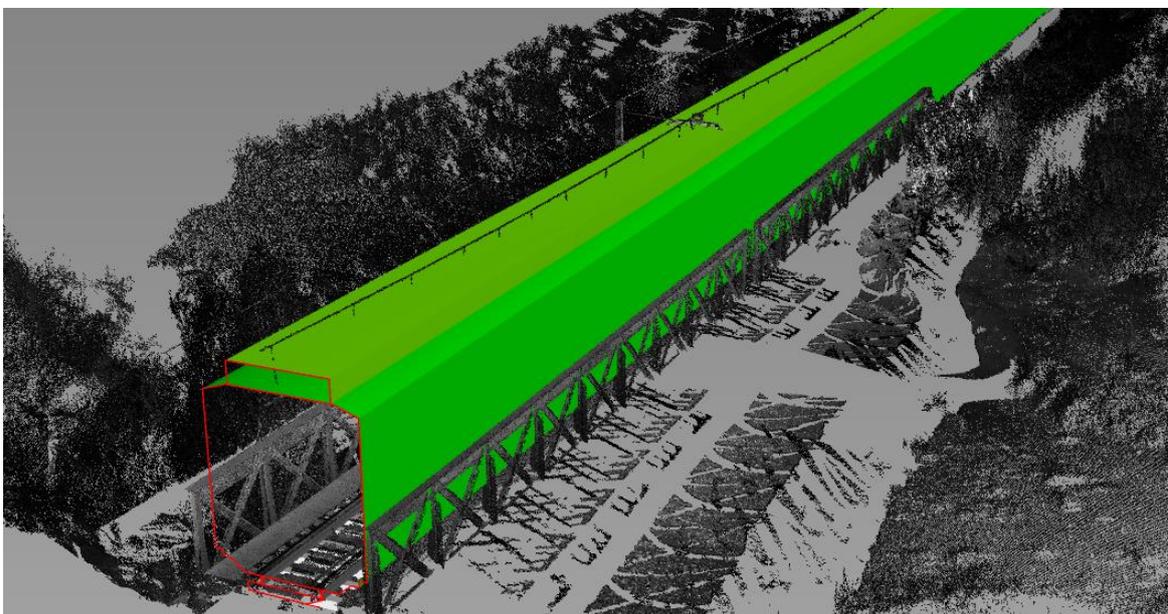
*Ilustración 168. Conflicto en modelo 3D con la situación actual y el gálibo GEC16 en Paso Superior CV-601. (Elaboración propia)*

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*



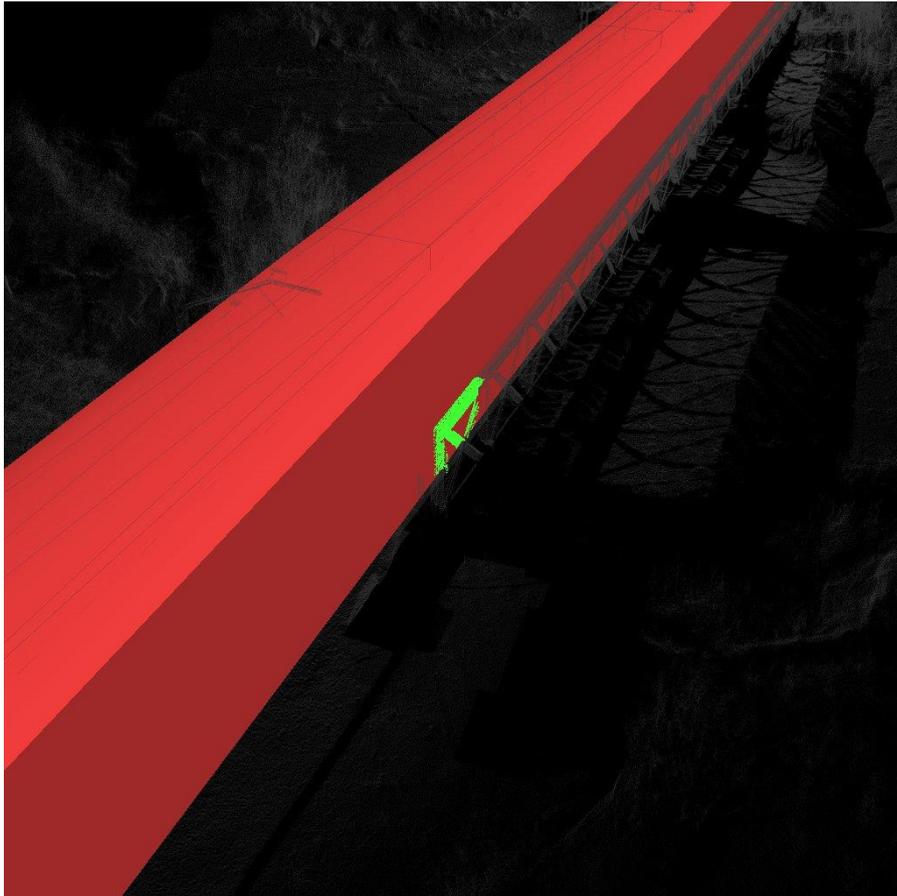
*Ilustración 169. Conflicto detectado en el Informe de colisiones entre el gálibo del pantógrafo del GEC16 y el Paso Superior CV-601. (Elaboración propia)*

Y por último, según el informe de colisiones, se presentan colisiones entre el GEC16 y todo el tramo metálico del lado derecho, como se muestra en el informe.



*Ilustración 170. Conflicto en modelo 3D con la situación actual y el gálibo GEC16 en Tramo Metálico lado derecho. (Elaboración propia)*

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*



*Ilustración 171. Conflicto detectado en el Informe de colisiones entre el gálibo GEC16 y el lado derecho del Tramo Metálico. (Elaboración propia)*

Como se pueden apreciar en las imágenes de arriba, se corrobora que existen colisiones en las zonas donde el informe de colisiones ha detectado, por lo tanto, se acometerán varias soluciones en Istram, para después comprobarlo en planos 2D y en el modelo 3D con el nuevo informe de conflictos, teniendo en cuenta que los estudios de gálibos del modelo 3D nos serán útiles para localizar las posibles nuevas colisiones, ya que esto no se podría ver en los perfiles transversales obtenidos.

### **7.3. Soluciones proyectadas**

El objetivo es generar las actuaciones necesarias para confirmar o verificar que no existen colisiones entre el gálibo y la infraestructura.

La solución que se ha considerado es primeramente centrar la vía, pues como se puede apreciar en los perfiles transversales incluidos en los planos 3.3 y 3.4 del presente TFM y sobre todo en el modelo 3D, el eje está posicionado en el margen izquierdo, por lo que es posible que ripando el eje hacia el centro del túnel se evite dicha colisión.

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Además, será necesario rebajes de la sección en ciertos tramos para evitar el conflicto con el gálibo del pantógrafo con la infraestructura, tanto en el paso superior CV-601 como en el túnel.

Destacar que a la hora de diseñar actuaciones en los túneles que requieren una modificación del trazado como rebajes de la sección o ripados de vías hacia el centro del túnel, es necesario tener en cuenta la presencia de viaductos u otras obras de fábrica que condicionen los desplazamientos, como es el caso del lado Zaragoza, con la presencia de un tramo metálico (P.K. 249+854 – P.K. 249+894) desviado hacia la izquierda del centro del túnel, lo que limita el encaje del trazado, a no ser que se proceda a su desmontaje y posterior montaje en otra ubicación que sea más conveniente, pero esto conllevaría a mayores costes y aumento del plazo, por lo que se descarta.

Por consiguiente, como el final del túnel de La Anchada (P.K. 249+809) se encuentra muy cerca del inicio del puente metálico (P.K. 249+854), apenas 45 metros de separación, al no estar centrado en el medio del túnel, el encaje del trazado se restringe, por lo que es necesario que el radio del trazado se empiece a ajustar antes del final del túnel, lo que provoca tener que ampliar la sección del mismo.

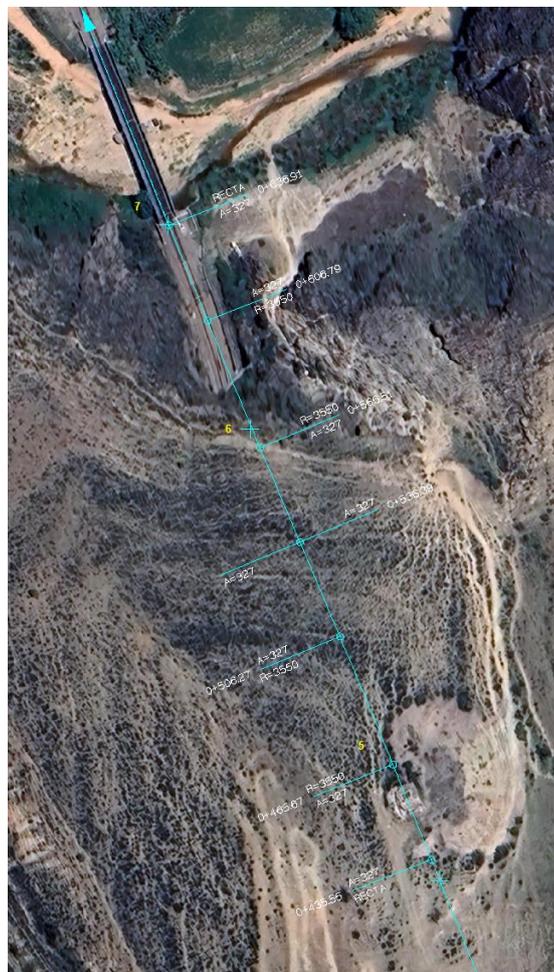


Ilustración 172. Trazado condicionado por el encaje con el tramo metálico. (Elaboración propia)

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Todo esto hace indicar que la solución será una combinación de actuaciones para poder evitar en la manera de lo posible el conflicto entre el gálibo y la infraestructura, con la excepción de la parte final del túnel, que hace inviable trasladar el trazado hacia el centro del mismo, por motivo del encuentro con el puente metálico.

Por lo tanto, las soluciones que se han considerado son las siguientes:

Tabla 22. Propuesta de soluciones. (Elaboración propia)

ESTRUCTURA	ACTUACIONES
<b>PASO SUPERIOR CV-601</b>	Rebaje de 15 cm para cumplir con el gálibo del pantógrafo.
<b>TÚNEL DE LA ANCHADA</b>	Centrado de la vía (desplazamiento 1,8 m de la vía hacia el hastial derecho) Rebaje de 20 cm para cumplir con el Gálibo de implantación de obstáculos y pantógrafo. Ampliación de la sección del túnel en la parte final.
<b>TRAMO METÁLICO</b>	Ripado 20 cm hacia la izquierda para cumplir con el Gálibo de implantación de obstáculos.

Asimismo, se estudiará con dos tipos de gálibos GEC16 y AF 4.2-IP para comprobar los conflictos con las estructuras, manteniendo la misma alineación y rasante proyectada que se ha mencionado en la tabla 22, de esta manera se verificará si a igualdad de condiciones en planta y cota se tienen más o menos conflictos entre el GEC16 y AF 4.2-IP.

Destacar, que existen multitud de soluciones y variantes, que cada una tiene sus ventajas e inconvenientes, siendo esta una de ellas y de la que optaremos por dos tipos de gálibos.

### 7.3.1. Solución con Gálibo GEC16

Como ya hemos indicado, se aplicará la propuesta de soluciones de la tabla 22 para un gálibo GEC16.

Realizado las correspondientes modificaciones en Istram, se extraen los planos que pueden apreciarse en los anexos 4.3.1 y 4.3.2, pero lo más interesante, es el modelo 3D, donde se comprueba sí las actuaciones ejecutadas siguen presentando conflictos con las estructuras o no, pues en tramos o en puntos particulares, es más útil verificarlo en un modelo continuo 3D, mientras que con los planos se deberán ir sacando con cierta equidistancia y comprobando uno a uno si hay colisiones, lo cual es tedioso y conlleva demasiado tiempo.

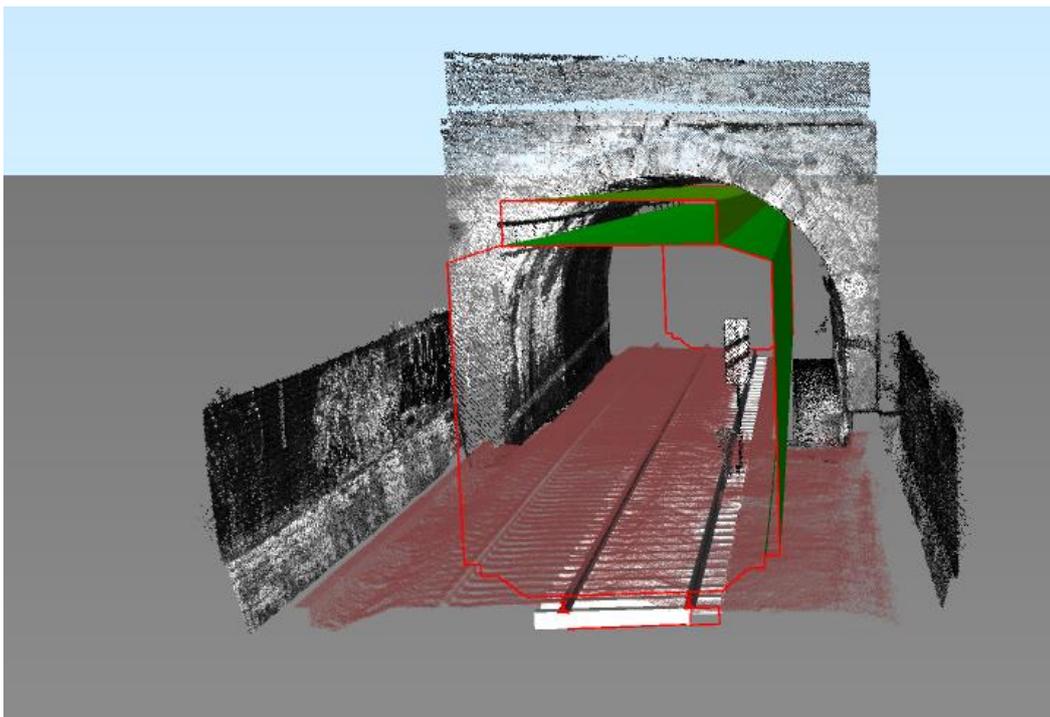


Ilustración 173. Centrado de vía en el emboquille lado Madrid del túnel de La Anchada con GEC16. (Elaboración propia)

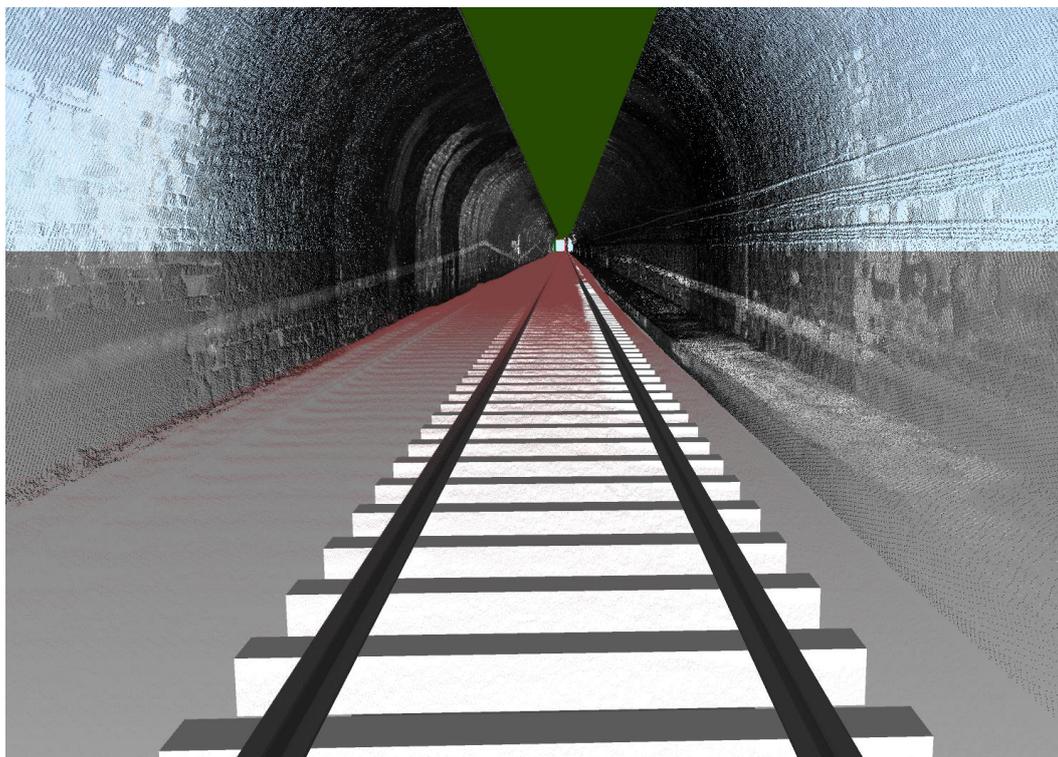


Ilustración 174. Centrado de la vía en el interior del túnel de La Anchada con un GEC16. (Elaboración propia)

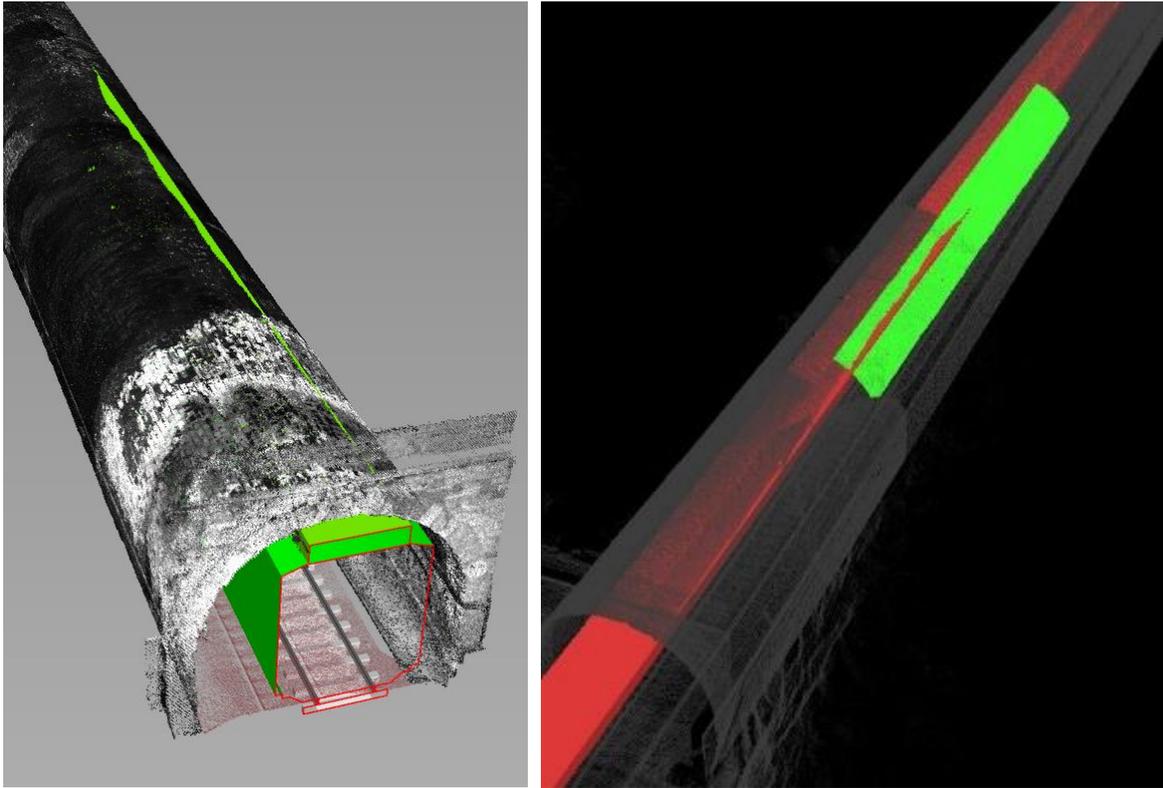
*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

A continuación, se expone una tabla donde se indican los elementos enfrentados y sus conflictos detectados.

Tabla 23. Solución Planteada: Conflictos con GEC16. (Elaboración propia)

ELEMENTO 1	ELEMENTO 2	CONFLICTOS
Gálibo GEC16	Túnel de La Anchada (Hastial y bóveda izquierda)	<b>8</b>
	Túnel de La Anchada (Hastial y bóveda derecha)	0
	Paso Superior CV-601	0
	Tramo Metálico izquierda	0
	Tramo Metálico derecha	0
	Objetos	<b>4</b>
	Vegetación	0
Gálibo Pantógrafo	Túnel de La Anchada (Hastial y bóveda izquierda)	<b>20</b>
	Túnel de La Anchada (Hastial y bóveda derecha)	<b>11</b>
	Paso Superior CV-601	0
	Tramo Metálico izquierda	0
	Tramo Metálico derecha	0
	Objetos	0
	Vegetación	0

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*



*Ilustración 175. Conflicto detectado en el Informe de colisiones entre el gálibo del pantógrafo GEC16 y el hastial y bóveda derecha. (Elaboración propia)*

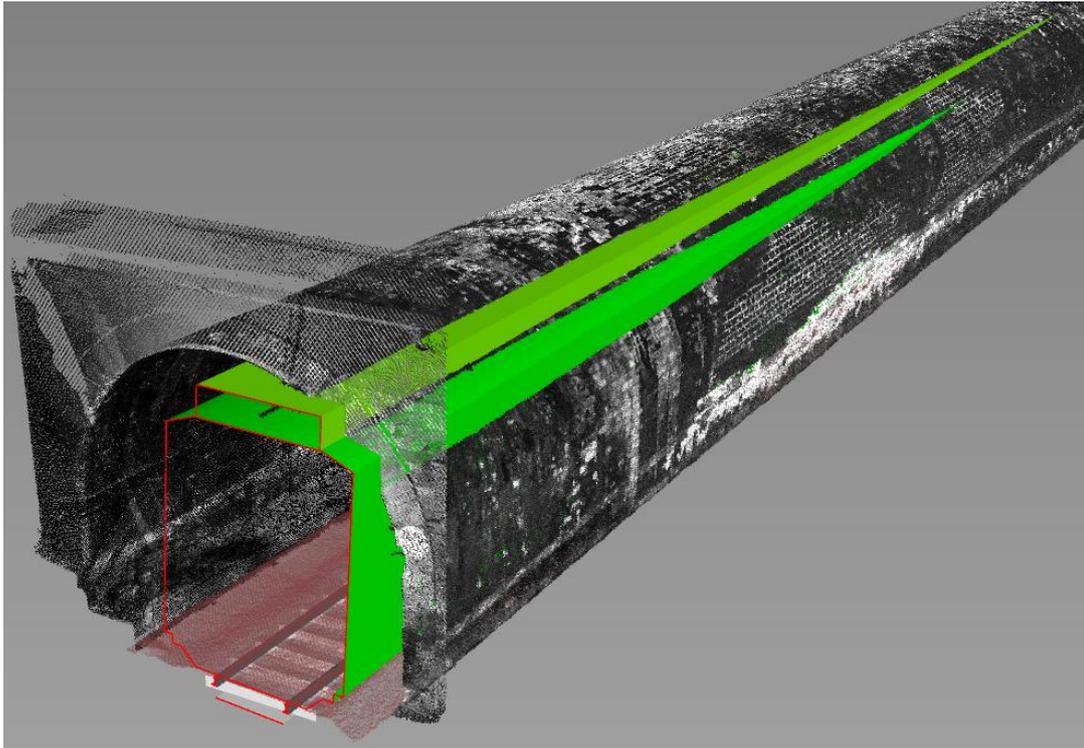
Según los datos del informe, se han eliminado bastantes conflictos, pero han aparecido otros donde antes no se tenían, como por ejemplo entre el gálibo del pantógrafo y los hastiales y bóveda del túnel del lado derecho, aunque se haya proyectado el centrado de la vía, el gálibo vertical GEC16 sigue siendo demasiado elevado y por eso colisiona, por lo que habría que rebajar más la rasante, para aumentar el espacio libre y cumplir con el gálibo.

Pero reducir más la rasante implicaría ajustar más los parámetros de acuerdos verticales (KV), tanto en P.K. ascendentes como descendentes, para conseguir la cota de terreno, la cual cumpla con el gálibo establecido dentro del túnel.

Además, como ya hemos mencionado, la presencia del tramo metálico limita rebajar más aún la rasante.

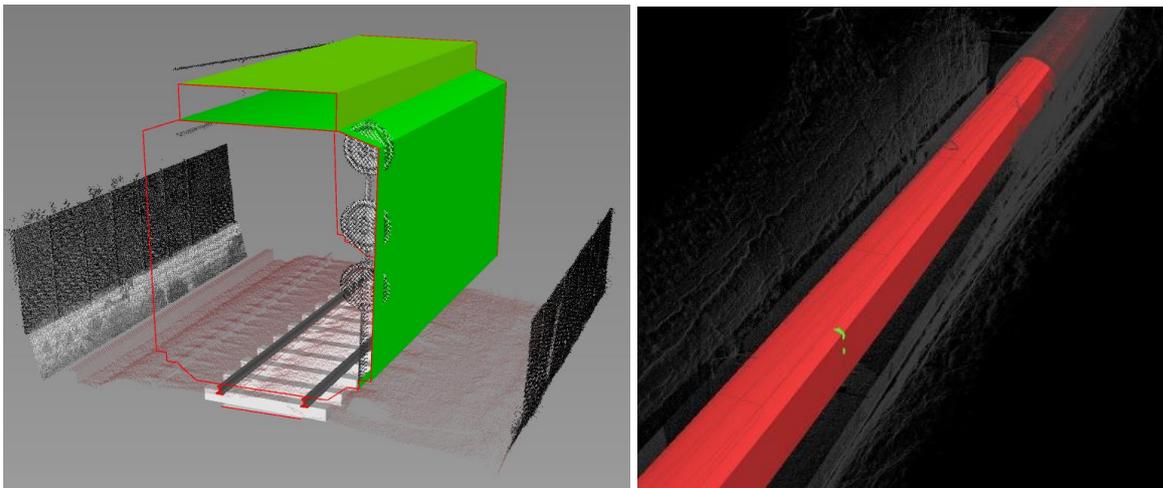
A su vez, señalar que rebajar en gran medida la rasante implicaría afectar a la estabilidad de los hastiales del túnel, pues pueden perder sostenibilidad y provocar deformaciones y grietas, siendo el peor de los casos el colapso del túnel.

Asimismo, se han solventado bastantes colisiones con el hastial y bóveda izquierda, pero todavía siguen existiendo conflictos, sobre todo en la parte final del túnel, donde ya hemos comentado la limitación por el tramo metálico.



*Ilustración 176. Conflicto en modelo 3D con la solución planteada entre el hastial y bóveda izquierdo con el gálibo GEC16 en el emboquille del túnel de La Anchada lado Zaragoza. (Elaboración propia)*

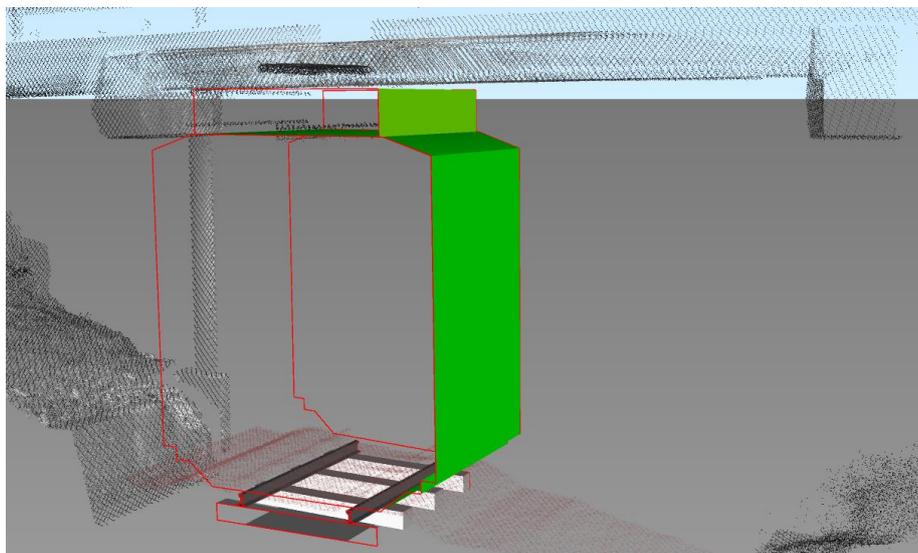
Otro conflicto que aparece nuevo, son los correspondientes a las colisiones entre el GEC16 y otros objetos (señales). Es lógico que al modificar el trazado y centrar la vía al paso del túnel, existan colisiones con ciertas señales, por lo que esta detección de conflictos en 8 elementos habría que tenerlos en cuenta para su reposición en otra ubicación.



*Ilustración 177. Conflicto detectado en el Informe de colisiones entre GEC16 y una señal por el centrado de la vía. (Elaboración propia)*

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

En cuanto al conflicto del paso superior CV-601 detectado en la situación existente, ya no existe, puesto que se ha solventado con el rebaje proyectado.



*Ilustración 178. Conflicto resuelto entre el gálibo del pantógrafo y el Paso Superior CV-601 detectado en la situación existente. (Elaboración propia)*

Lo mismo ocurre con el tramo metálico, que no presenta conflicto en el informe, pues a causa del desplazamiento del eje hacia el lado que no presentaba conflicto, se determina que con la solución planteada se ha resuelto.

Según lo expuesto en planos y los modelos con su informe de colisiones, se da como resultado que a igualdad de ripado y rebajes, el GEC16 habría que ampliar en ciertos tramos del túnel, tanto en el hastial izquierdo como en el derecho y sus respectivas bóvedas.

Asimismo, se considera que el GEC16 está muy ajustado y encajonado en el túnel, por lo que, aunque cumpla con dimensiones establecidas en la IFG, puede limitar el espacio para labores de mantenimiento, o incluso, incrementar el riesgo de colisiones debido a mínimas desviaciones.

Además, puede dificultar la modernización de la infraestructura para cumplir con normativas futuras y aumentar los costes de mantenimiento y renovación.

Todo esto hace pensar que, cambiando al siguiente gálibo más pequeño, se evitarían las colisiones entre ambos hastiales y bóvedas, sobre todo en el tramo inicial y medio del túnel, ya que el tramo final del mismo está condicionado por el puente metálico.

Como se puede apreciar en los planos 1 del anexo, el siguiente gálibo por debajo del GEC16, sería el gálibo de autopista ferroviaria AF 4.2-IP.

Por ello, se analizará la implantación del AF 4.2-IP con el mismo trazado y planta, y comprobar en planos y modelo si se han evitado las colisiones.

## 7.3.2. Solución con Gálibo AF 4.2-IP

Al tener ya las alineaciones en planta y la rasante proyectada de la anterior solución, bastará con sustituir el Gálibo GEC16 por el AF 4.2-IP y sacar los planos y el modelo 3D con su respectivo informe de colisiones conforme a la metodología.

A continuación, se muestra el resultado del informe de colisiones al incorporar el nuevo gálibo AF 4.2-IP.

Tabla 24. Solución Planteada: Conflictos con GEC16. (Elaboración propia)

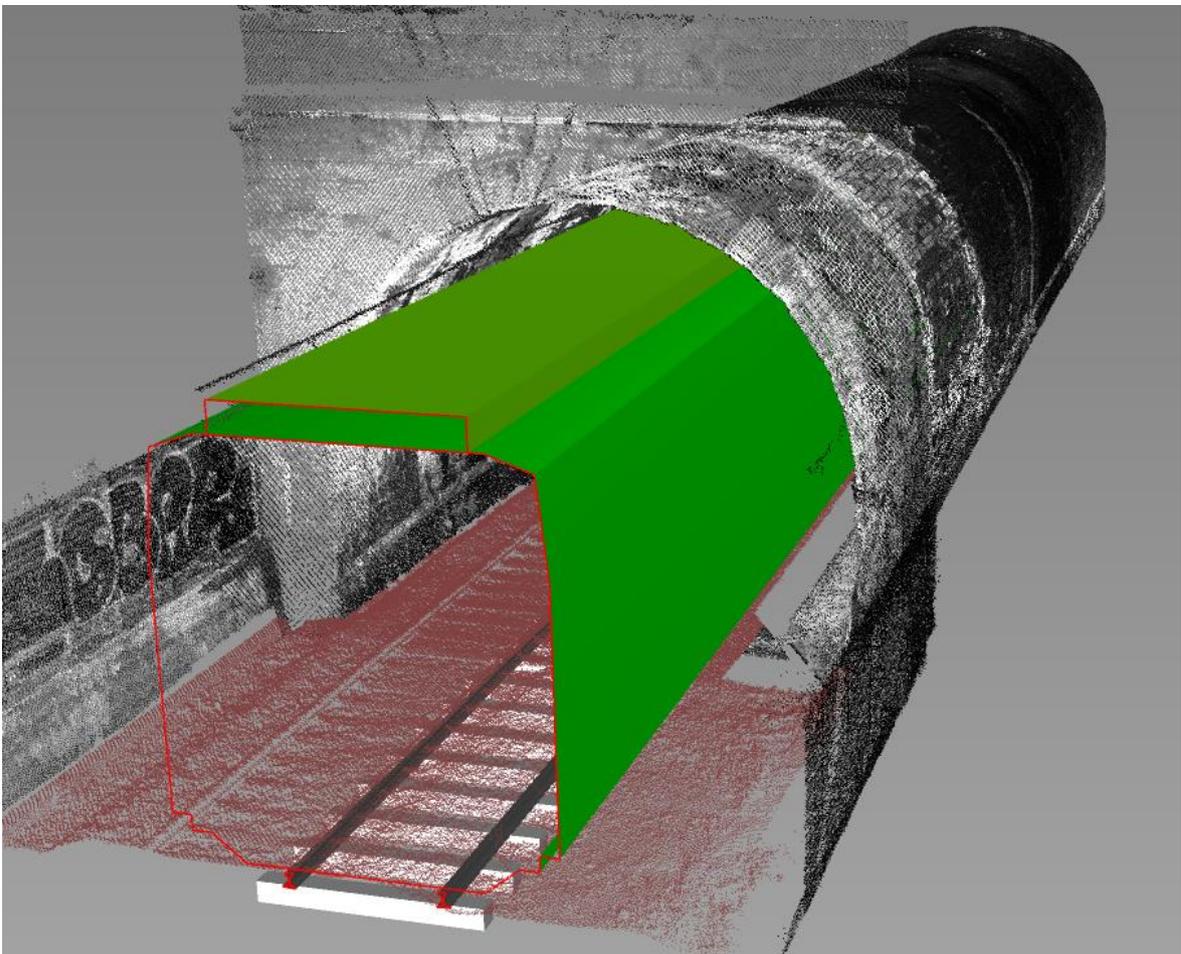
ELEMENTO 1	ELEMENTO 2	CONFLICTOS
Gálibo GEC16	Túnel de La Anchada (Hastial y bóveda izquierda)	6
	Túnel de La Anchada (Hastial y bóveda derecha)	0
	Paso Superior CV-601	0
	Tramo Metálico izquierda	0
	Tramo Metálico derecha	0
	Objetos	4
	Vegetación	0
Gálibo Pantógrafo	Túnel de La Anchada (Hastial y bóveda izquierda)	5
	Túnel de La Anchada (Hastial y bóveda derecha)	0
	Paso Superior CV-601	0
	Tramo Metálico izquierda	0
	Tramo Metálico derecha	0
	Objetos	0
	Vegetación	0

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Se demuestra que efectivamente, reducir el gálibo resulta ventajoso, pues no existen conflictos entre el gálibo del pantógrafo con el hastial y bóveda derecha, así como que se reduce en gran medida los conflictos con el hastial y bóveda izquierdo, con la excepción del último tramo del túnel que se sabe que habrá colisión.

Del mismo modo ocurre entre el gálibo de implantación de obstáculos, que se reducen las colisiones con el hastial y bóveda izquierdo, y como ya hemos dicho, no se podría evitar el conflicto con el tramo final del túnel, pero este será de menor medida, al ser un gálibo algo más pequeño (gálibo vertical menor).

Por otro lado, se detectan colisiones entre el gálibo AF 4.2-IP con los objetos (señales), al igual que en la anterior solución, siendo estos razonables al desplazar la vía. Por lo que habría que optar por su reposición en otra ubicación, para evitar su colisión.

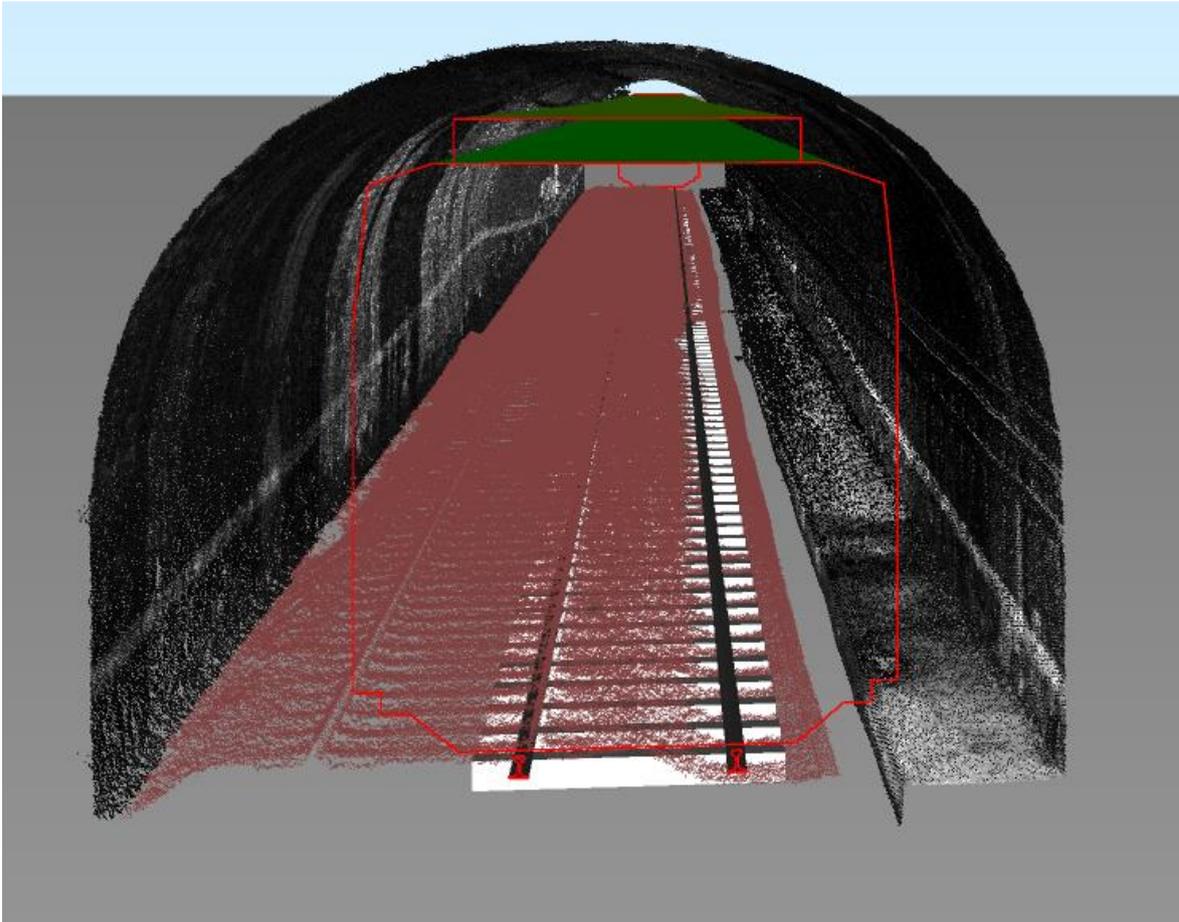


*Ilustración 179. Solucionado conflicto en el emboquille lado Madrid en el hastial y bóveda derecho tras incluir gálibo AF 4.2-IP. (Elaboración propia)*

Como se puede comprobar, en el modelo 3D, a lo largo del túnel se obtiene un espacio libre de obstáculos tras incluir este gálibo AF 4.2-IP, ya que la diferencia de altura vertical entre el GEC16 y el AF 4.2-IP contando con sus respectivos pantógrafos es de 0,435 metros.

Esto sumado al rebaje de 20 cm que se realiza en todo el túnel, evita los conflictos y genera una zona con un amplio margen de seguridad.

En la siguiente imagen se puede apreciar como claramente existe un área libre entre la bóveda y el gálibo del pantógrafo.



*Ilustración 180. Sección del túnel de La Anchada con un gálibo proyectado AF 4.2-IP libre de conflictos. (Elaboración propia)*

Sin embargo, en el tramo final del túnel de La Anchada, existen conflictos entre el gálibo AF 4.2-IP y el pantógrafo con el hastial y bóveda izquierda, en torno a unos 32 metros desde el emboquilles lado Zaragoza.

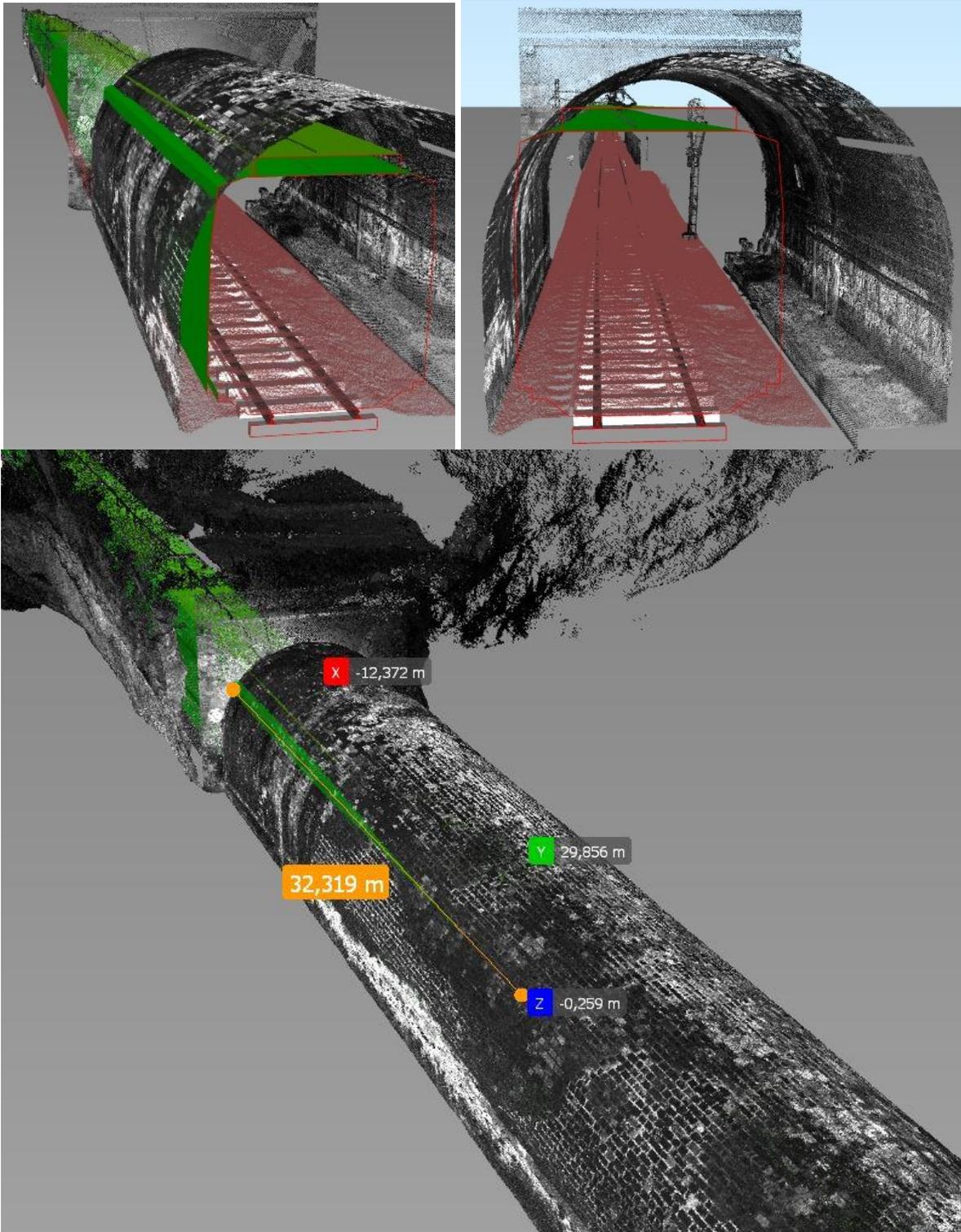
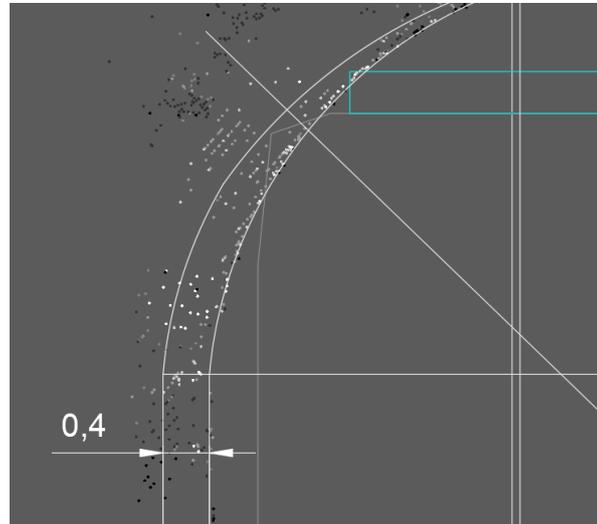


Ilustración 181. Conflicto en los últimos 32 metros del túnel de La Anchada (lado Zaragoza) con gálibo AF 4.2-IP. (Elaboración propia)

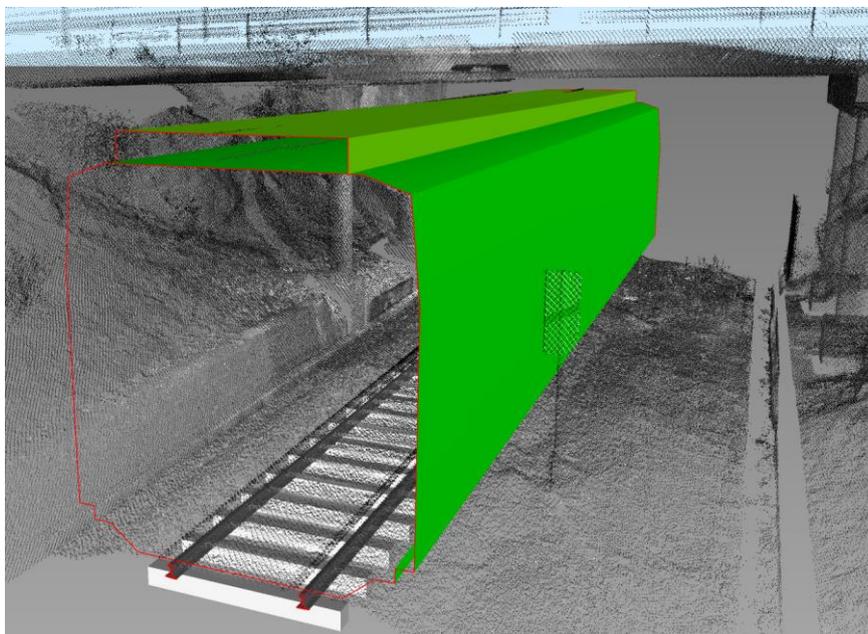
*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

Pero como ya se ha ido comentando, el puente metálico que se encuentra a escasos 40 metros del final del túnel de La Anchada, limita el trazado, por lo que se ha ajustado para que no colisione. De esta manera, con la ampliación del hastial izquierdo de 40 centímetros, será suficiente para solventar las colisiones.



*Ilustración 182. Ampliación del hastial izquierdo 40 cm en el tramo final del Túnel de La Anchada con la solución AF 4.2-IP. (Elaboración propia)*

Por otro lado, en la estructura del Paso Superior CV-601 se crea bastante espacio entre gálibo la infraestructura, por lo que no apura el perfil del mismo.

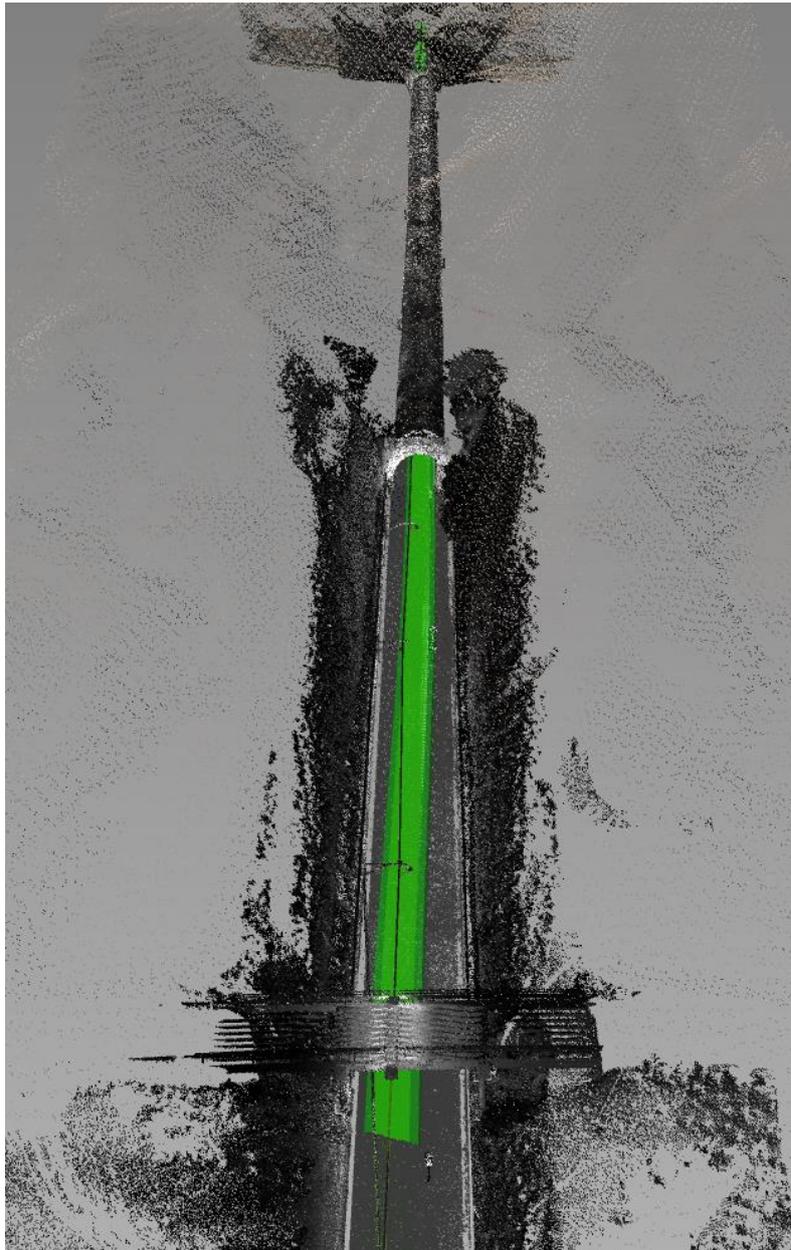


*Ilustración 183. Sección del Paso Superior CV-601 con un gálibo AF 4.2-IP libre de conflictos. (Elaboración propia)*

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

De igual modo sucede en el tramo metálico, pues en el informe de colisiones no presente ningún conflicto.

En consecuencia, la solución con AF4.2-IP, a igualdad de ripado y rasante, entre los dos gálidos objeto de estudio, y sumando al estudio del gálido AF 4.2-IP, la ampliación de la sección del hastial y bóveda izquierdo unos 40 cm a lo largo de 32 metros hasta el final del emboquille del túnel lado Zaragoza, por motivo del encuentro del trazado con el tramo metálico, se evitaría las colisiones entre gálido y túnel.



*Ilustración 184. Vista aérea de la solución AF 4.2-IP. (Elaboración propia)*

*Innovación en la determinación de gálidos ferroviarios mediante nube de puntos.*

## 7.4. RESULTADOS

Una ventaja que presenta el informe de colisiones y los modelos 3D en BIM, es la forma de gestionar los conflictos.

A continuación, se presenta los resultados de todas las pruebas de colisiones, con las soluciones definidas en el caso de estudio, de esta manera se podrá visualizar y evaluar los conflictos.

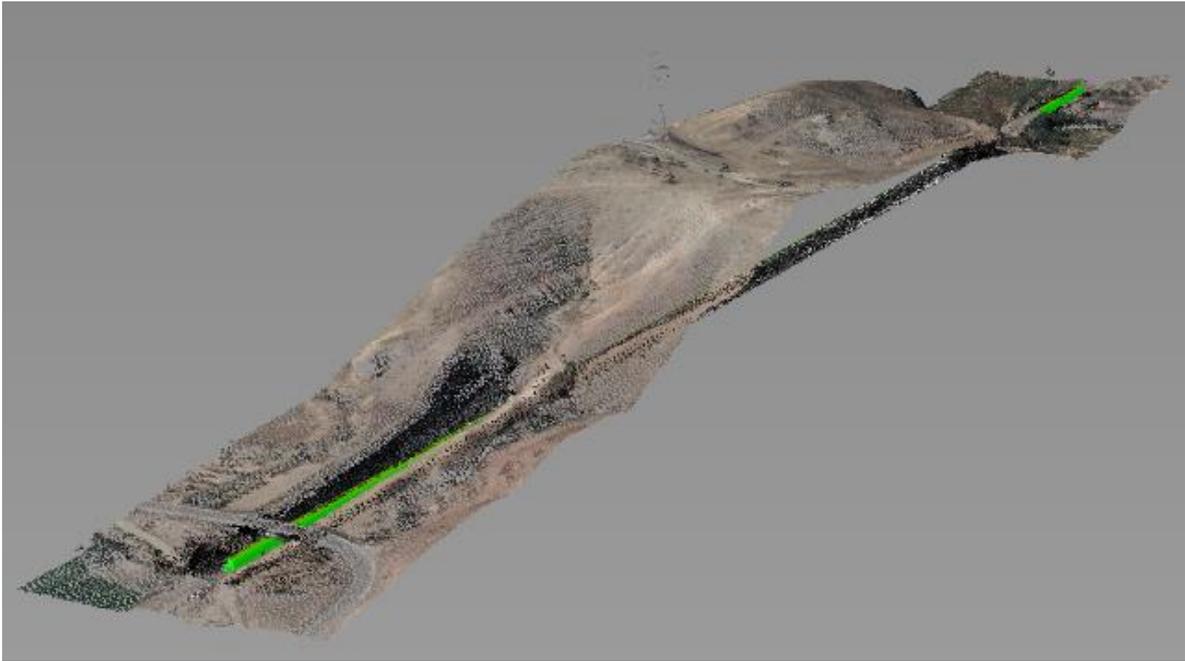
Tabla 25. Resumen de Informes de Conflictos. (Elaboración propia)

ELEMENTO 1	ELEMENTO 2	SITUACIÓN EXISTENTE + GEC16	SOLUCIONES		
			RIPADO Y REBAJE + GEC16	RIPADO Y REBAJE + AF 4.2	RIPADO, REBAJE Y AMPLIACIÓN TÚNEL + AF 4.2
Gálibo GEC16	Túnel de La Anchada (Hastial y bóveda izquierda)	73	8	6	0*
	Túnel de La Anchada (Hastial y bóveda derecha)	0	0	0	0
	Paso Superior CV-601	0	0	0	0
	Tramo Metálico izquierda	0	0	0	0
	Tramo Metálico derecha	25	0	0	0
	Objetos	0	4	4	0**
	Vegetación	0	0	0	0
Gálibo Pantógrafo	Túnel de La Anchada (Hastial y bóveda izquierda)	57	20	5	0*
	Túnel de La Anchada (Hastial y bóveda derecha)	0	11	0	0
	Paso Superior CV-601	6	0	0	0
	Tramo Metálico izquierda	0	0	0	0
	Tramo Metálico derecha	0	0	0	0
	Objetos	0	0	0	0
	Vegetación	0	0	0	0

\* Solucionado al ampliar la sección del hastial y bóveda izquierdo unos 40 cm a lo largo de los 32 metros finales del emboquille del túnel lado Zaragoza

\*\* Solucionado al reponerse en otra ubicación.

*Innovación en la determinación de gálbos ferroviarios mediante nube de puntos.*



*Ilustración 185. Resultado del Modelo 3D. (Elaboración propia)*

## 7.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Dentro del presente Trabajo Fin de Máster, se ha desarrollado una metodología capaz de detectar los conflictos entre los gálibos diseñados y la infraestructura ferroviaria mediante nube de puntos, previamente escaneada con un equipo de mobile mapping.

Dicha metodología se ha aplicado a un tramo de la línea 200 de la RFIG, que previamente ha sido escaneada con un equipo mobile mapping, consiguiendo una nube de puntos de la situación existente, entre los que se destacan el túnel de La Anchada con 400 metros de longitud, un paso superior y un tramo metálico.

El resultado del caso de estudio ha sido el esperado, puesto que se han cumplido los objetivos marcados.

En consecuencia, se ha conseguido perfiles transversales en 2D con diferentes equidistancias, visualizando en todo momento la nube de puntos escaneada.

Adicionalmente, se ha obtenido un modelo BIM en 3D y un modelo federado, donde se puede comprobar los conflictos y colisiones entre gálibos e infraestructura.

La situación actual del caso de estudio, presenta multitud de colisiones implantando un gálibo GEC16, destacando los conflictos en el hastial y bóveda izquierda a lo largo de los 400 metros del

túnel de La Anchada. No solo esto, sino que también genera conflictos entre el paso superior y el tramo metálico.

Por lo que se dan una serie de soluciones, como rebajes y ripados con un centrado de la vía en el centro del túnel, para poder solventar las colisiones, tanto con el mismo gálibo GEC16, como con un segundo gálibo AF 4.2-IP más pequeño que el anterior.

Concluyendo que, a igualdad de condiciones en planta y rasante, el gálibo AF 4.2-IP obtiene menos colisiones que el GEC16, debido claramente a la altura. Sin embargo, el trazado está condicionado por el tramo metálico del lado Zaragoza, lo que provoca una desviación hacia la izquierda del centro del túnel, lo que limita el encaje del trazado y ocasiona colisiones en el último tramo del túnel de La Anchada, manifestando menos conflicto el AF 4.2-IP por disponer de un gálibo vertical menor.

Por consiguiente, se determina que la mejor solución para el caso de estudio, siempre y cuando se aplique un gálibo AF 4.2-IP, una vez detectado las colisiones, es la combinación de actuaciones para poder solucionar la problemática de los gálibos.

Esto significa que la metodología establece un proceso iterativo y sencillo, agregando cualquier tipo de solución o gálibos que se deseen, de forma que se pueda diseñar multitud de opciones y comprobar en todo momento si cumple, o de lo contrario, se necesitan medidas adicionales.

---

## 8. CONCLUSIONES

Este Trabajo de Fin de Máster ha abordado la problemática en cuanto a la determinación y detección de las interferencias entre los gálidos ferroviarios y las infraestructuras existentes. Todo ello, a través de una metodología innovadora basada en la tecnología de nube de puntos, de manera efectiva y exitosa, como se ha comprobado con los resultados del caso de estudio.

En primer lugar, se ha desarrollado una metodología accesible y pública que permita identificar los conflictos entre los túneles existentes y el gálibo deseado que se pretenda hacer circular por una línea. Esta metodología, fundada en el escaneo del entorno, con equipos especializados en tecnología de nube de puntos, ha demostrado ser completamente eficaz en la generación de un modelo con millones de puntos que refleja con exactitud y precisión la realidad, y de la que nos apoyamos para diseñar y ejecutar el modelo OpenBIM en 3D.

Conjugando ambos modelos en la metodología, obtenemos un modelo federado en 3D, donde poder visualizar el gálibo proyectado con la infraestructura existente y lograr realizar novedosas pruebas de conflictos, enfrentando ambos elementos.

Asimismo, esta metodología se extiende a todas las infraestructuras existentes, como túneles, pasos superiores, puentes metálicos, muros, objetos, etc. Esto se verifica con el caso de estudio del presente TFM, donde se han llevado a cabo la identificación de colisiones con un túnel, un paso superior y un tramo metálico.

Dentro de la metodología, además de generar informes de colisiones, es posible obtener secciones transversales en 2D, con el mismo objetivo.

Además, se ha realizado un estudio detallado de los equipos de escaneo con tecnología de nube de puntos disponibles en la actualidad, analizando sus respectivas ventajas, desventajas y rendimientos.

En general, se han establecido comparativas de rendimientos entre diferentes equipos de escaneo, para comprender los beneficios que representa la nube de puntos, destacando el sistema mobile mapping (MLS) por su alta capacidad para proporcionar en tramos con longitudes considerables o líneas completas, grandes cantidades de datos en un tiempo ínfimo, siendo precisos y estando georreferenciados.

Por otro lado, se ha repasado el marco regulatorio, así como las normativas en cuanto a gálidos, definiendo los diferentes tipos de gálidos que pueden implantarse en la actualidad, tanto de la IFG como los de Autopista Ferroviaria, incluyéndose en la presente metodología.

Además, se concluye en los beneficios que se obtienen de los informes de colisiones en fase de proyecto, los cuales proporcionan la capacidad de detectar interferencias entre gálibo e infraestructura antes de que lleguen a obra.

Por consiguiente, con la presente metodología y la generación de informes de colisión, se pueden resolver con antelación los problemas entre gálibos e infraestructura, reduciéndose el tiempo y coste que conllevaría identificarlos y corregirlos una vez ejecutados.

En relación a esto, se considera que se facilita una planificación más eficaz y eficiente, detectando en todas las alternativas y soluciones en fase de planificación y diseño, cualquier tipo de conflicto, lo que resolvería la problemática de colisiones en gálibos.

Destacar que los equipos láser como el mobile mapping, pueden servir en las inspecciones y el mantenimiento de las infraestructuras ferroviarias, gracias al escaneado con nube de puntos del entorno ferroviario.

Por último, señalar lo complejo y arduo que es comprender las características y singularidades de todos los gálibos ferroviarios en su conjunto, así como en los cálculos para su determinación, más aún, en las pocas y minoritarias publicaciones que existen al respecto.

---

## 9. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En este apartado se tratará de definir una serie de investigaciones futuras que surgen del conocimiento del presente TFM.

- Avanzar en el estudio de una herramienta capaz de detectar el gálibo existente de manera automática.
- Creación de un inventario de infraestructura que complete el RINF, mediante la aplicación de nube de puntos con equipos como el mobile mapping y herramientas capaces de detectar automáticamente los diferentes elementos de la infraestructura.
- Estudiar el beneficio y el coste estimado del monitoreo continuo con nube de puntos en la RFIG, para labores de mantenimiento predictivo e inspección.
- Investigar las herramientas de detección automática de las patologías de la infraestructura por medio de la nube de puntos.
- Estudiar las funciones y herramientas del software iTwin Capture de Bentley para reconocer patologías de la infraestructura.
- Conocer y analizar el software Global Mapper para el empleo de nube de puntos.
- Estudiar nuevas tecnologías y softwares que complementen a la nube de puntos y que sirvan en el ámbito de la ingeniería civil.
- Analizar la implantación de la inteligencia artificial en la nube de puntos.

Destacar que se puede utilizar como punto de partida la información establecida en el presente TFM para ampliar la información y mejorar o añadir funciones a las nubes de puntos, con nuevos softwares y herramientas.

---

**10. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS**

ADIF. (2021). *NAG 5-1-0.0. Norma Adif General. Gálivos Autopista Ferroviaria. 1ª Edición.*

[https://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf/v0/F990DC9D90D5600FC1258717003AA176/\\$FILE/NAG%205100%20Galibo%20Autopista%20ferroviaria.pdf?OpenElement](https://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf/v0/F990DC9D90D5600FC1258717003AA176/$FILE/NAG%205100%20Galibo%20Autopista%20ferroviaria.pdf?OpenElement)

ADIF. (2023a). *Proyecto de Construcción. Autopista Ferroviaria Algeciras – Zaragoza. Túneles Del Castillo, El Rincón, Portillejo, Bubierca, La Romera, La Toba y Ateca*”. [Proyecto de Construcción].

<https://ssweb.seap.minhap.es/almacen/descarga/envio/c8c797dcb62946fd352534834cd064168074b34c>

ADIF. (2023b). *NAP 2-0-1.4 Metodología para la evaluación del riesgo de colapso de estructuras por impactos de vehículos ferroviarios descarrilados. 1ª Edición.*

[https://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf/v0/12EFC4699A061BF5C12589DC003169B1/\\$FILE/NAP2014\\_ED1.pdf](https://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf/v0/12EFC4699A061BF5C12589DC003169B1/$FILE/NAP2014_ED1.pdf)

ADIF. (2024a). *Declaración sobre la Red*. <https://www.adif.es/sobre-adif/conoce-adif/declaracion-sobre-la-red>

ADIF. (2024b). *NAP 2-0-0.4 Pasos Superiores. 3ª Edición + M1.*

[https://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf/v0/27B289AD96C6B118C1258AAF006821B8/\\$FILE/NAP2004\\_ED3M1.pdf](https://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf/v0/27B289AD96C6B118C1258AAF006821B8/$FILE/NAP2004_ED3M1.pdf)

---

*Innovación en la determinación de gálivos ferroviarios mediante nube de puntos.*

- 
- ADIF AV. (2024). *Declaración sobre la Red*.  
[https://www.adifaltavelocidad.es/documents/34745/0/20240223\\_01\\_DR\\_AV\\_Libro\\_2024\\_V1.pdf/210ffaa3-5795-351c-ff80-f572cecb1619?t=1710358282147](https://www.adifaltavelocidad.es/documents/34745/0/20240223_01_DR_AV_Libro_2024_V1.pdf/210ffaa3-5795-351c-ff80-f572cecb1619?t=1710358282147)
- Amberg Group. (Director). (2024). *Soluciones Ferroviarias Amberg. Aplicaciones y sistemas de medición disponibles*. <https://ambergtechnologies.com/solutions-services/amberg-rail>
- Asociación Española de Normalización. (2021). *Aplicaciones ferroviarias. Instalaciones fijas. Líneas aéreas de contacto para tracción eléctrica*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0065342>
- Bentley (Director). (2023). *Bentley Capture—Tutorial: Crack detection*.  
<https://www.youtube.com/watch?v=2lMzki6heCA>
- Boston Dynamics. (2024). *Boston Dynamics*. <https://bostondynamics.com/case-studies/critical-infrastructure-spot-inspects-hamburg-bridge/>
- Comisión Europea. (2011). *Libro Blanco: Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: Por una política de transportes*.  
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/docs\\_autres\\_institutions/commission\\_europeenne/com/2011/0144/COM\\_COM\(2011\)0144\(COR1\)\\_ES.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/docs_autres_institutions/commission_europeenne/com/2011/0144/COM_COM(2011)0144(COR1)_ES.pdf)
- Comisión Europea. (2014). *Reglamento UE) N° 1299/2014 de la Comisión de 18 de noviembre de 2014 relativo a las especificaciones técnicas de interoperabilidad del subsistema «infraestructura» en el sistema ferroviario de la Unión Europea*.  
<https://www.boe.es/doue/2014/356/L00001-00109.pdf>
- 

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

---

Comisión Europea. (2019). *Reglamento de Ejecución (UE) 2019/777 de la Comisión, de 16 de mayo de 2019, sobre las especificaciones comunes del registro de la infraestructura ferroviaria y por el que se deroga la Decisión de Ejecución 2014/880/UE*.  
<https://www.boe.es/doue/2019/139/L01312-01355.pdf>

Comisión Europea. (2023). *Reglamento de ejecución (UE) 2023/1694 de la Comisión de 10 de agosto de 2023 por el que se modifican los Reglamentos (UE) n.o 321/2013, (UE) n.o 1299/2014, (UE) n.o 1300/2014, (UE) n.o 1301/2014, (UE) n.o 1302/2014 y (UE) n.o 1304/2014 y (UE) 2019/777*. <https://www.boe.es/doue/2023/222/L00088-00379.pdf>

Cruz Villalón, Josefina. (2017). *La política ferroviaria en España. Balance de su planificación y ejecución en los últimos años*.  
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,sso&db=asn&AN=124984290&lang=es&site=ehost-live&scope=site&authtype=sso&custid=s1136447>

Cruz-Ramírez, L. C., Alejo-García, V. H., Camargo-Suárez, E. Á. E., & Zárata-Martínez, J. F. (2023). Variaciones en los tiempos de captura en la elaboración de modelos de nubes de puntos con Escáner Láser Terrestre por condiciones de campo. *Revista Arquitectura +*, 8(16), Article 16. <https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i16.17153>

CTN 25 - CETREN. (2017). *UNE-EN 15273-2:2013+A1:2017. Aplicaciones ferroviarias. Gálibos. Parte 1: Generalidades. Reglas comunes para infraestructuras y material rodante*.  
<https://tienda.aenor.com/norma-une-en-15273-2-2013-a1-2017-n0058352>

---

Díaz, R. (2018). AVE Cantábrico, plan «estrella» en el limbo. *La Nueva España*.  
<https://www.lne.es/asturias/2018/01/13/ave-cantabrico-plan-estrella-limbo-19121390.html>

Eugenia Polo García, María & Sánchez Ríos, Alonso. (2022). Comprobación de un Escáner Láser Terrestre (TLS) mediante la norma ISO 17123-9. *Revista del Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, N° 179 (ISSN 0212-9280, N° 179 ed., Vol. N° 179)*.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=906935>

European Union Agency for Railways (ERA). (2023). *Guide on the application of the common specifications. According to art 7 of Commission Implementing regulation (EU) 2019/777 of 16 May 2019 on the common specifications for the register of railway infrastructure*. ERA 1.6.1.  
<https://www.era.europa.eu/system/files/2023-02/RINF%20Application%20guide%20V1.6.1.pdf?t=1712590711>

García Utrera, Jorge Luís. (2005). *El AVE Madrid-Lisboa por Extremadura*.  
<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/6281>

Gavira Narváez, Antonio & Ventura Fernández, Jesús. (2017). *Evolución y panorama actual de la red ferroviaria en Andalucía*.  
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,sso&db=asn&AN=124569241&lang=es&site=ehost-live&scope=site&authtype=sso&custid=s1136447>

Geotren. (2024). *Otra forma de ver el ferrocarril*. <https://www.geotren.es/blog/las-autopistas-ferroviarias-y-el-transporte-ferroportuario/>

- 
- González, Manuela Caballero. (2016). Primera aplicación de hormigón armado sobre vía férrea en España: El paso de Los Prados de Cieza. *Revista C.E.H. Fray Pasqual Salmerón*.  
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,sso&db=asn&AN=126085937&lang=es&site=ehost-live&scope=site&authtype=sso&custid=s1136447>
- Ingeniería INSITU. (Director). (2017). *Mobile Mapping System en líneas ferroviarias*.  
<https://www.youtube.com/watch?v=ZKnHwOFw9Ys>
- Juan. (2013). *Evolución del ferrocarril en el Siglo XIX (1848-1900)*.  
<https://histogeomapas.blogspot.com/2013/09/blog-post.html>
- Leica Geosystems. (2015). *Información Comercial. SiRail Suite*.
- Leica Geosystems. (2018a). *Información Comercial. La solución para la captura de realidad 3D Leica RTC360*. <https://leica-geosystems.com/es-es/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360>
- Leica Geosystems. (2018b). *Información Comercial. Leica FlexLine TS03/TS07/TS10. Estaciones totales manuales*. <https://leica-geosystems.com/es-es/products/total-stations/manual-total-stations>
- Leica Geosystems. (2019). *Información Comercial. Mobile Mapping Reality Capture: Solutions Review*. <https://leica-geosystems.com/es-es/products/mobile-mapping-systems/world-of-mobile-mapping>
- Leica Geosystems. (2023). *Información Comercial. Leica CityMapper-2*. <https://leica-geosystems.com/es-es/products/airborne-systems/hybrid-sensors/leica-citymapper-2>
- 

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

- 
- Liang, X., Kukko, A., Kaartinen, H., Hyyppä, J., Yu, X., Jaakkola, A., & Wang, Y. (2014). Possibilities of a Personal Laser Scanning System for Forest Mapping and Ecosystem Services. *Sensors*, 14(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/s140101228>
- LOHR. (2024). *Les wagons Lohr UIC*. <https://www.lohr.fr/fr/catalogue/les-wagons-lohr-uic/>
- López, Miki. (2023, febrero). Un grupo de vecinos de Cudillero protagoniza una «medición irónica» para «informar» a Renfe y Adif de las dimensiones «reales» de un túnel de Feve. *La Nueva España*. <https://www.lne.es/asturias/2023/02/06/culebron-trenes-feve-renfe-adif-82536429.html>
- Lucio Iglesias, Daniel, Rodríguez Serrano, Marcos, Rufo Blázquez, Sergio, & Fernández, Miguel. (2019). Ayuda a la toma de decisiones a través de modelos digitales de infraestructuras lineales. *n B. Fuentes Giner, & I. Oliver Faubel, EUBIM 2019. Congreso internacional BIM/ 8º Encuentro de usuarios BIM. (págs. 165-176).*, 165-176. <https://doi.org/9788490488058>
- Maristany & Gibert, Eduard. (1891). *El Túnel de Argentera: Tratado de construcción de túneles*. <http://hdl.handle.net/2099.4/936>
- Mat Zam, P. M., Fuad, N. A., Yusoff, A. R., & Majid, Z. (2018). Evaluating the performance of terrestrial laser scanning for landslide monitoring. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W9, 35-55. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W9-35-2018>

- 
- Ministerio de Fomento. (2015a). *Orden FOM/1630/2015, de 14 de julio, por la que se aprueba la «Instrucción ferroviaria de gálibos»*. <https://www.boe.es/boe/dias/2015/08/04/pdfs/BOE-A-2015-8765.pdf>
- Ministerio de Fomento. (2015b). *Orden FOM/710/2015, de 30 de enero, por la que se aprueba el Catálogo de líneas y tramos de la Red Ferroviaria de Interés General*. <https://www.boe.es/boe/dias/2015/04/23/pdfs/BOE-A-2015-4382.pdf>
- Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas. (2013). *Real Decreto 1044/2013, de 27 de diciembre, por el que se aprueba el Estatuto de la Entidad Pública Empresarial ADIF-Alta Velocidad*. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2013/12/27/1044>
- Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible. (2021). *Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030*. [https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/esmovilidad/ejes/211223\\_es.movilidad\\_accesibilidad\\_ALTA\\_vf.pdf](https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/esmovilidad/ejes/211223_es.movilidad_accesibilidad_ALTA_vf.pdf)
- Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible. (2023). *Orden TMA/135/2023, de 15 de febrero, por la que se aprueban la instrucción ferroviaria para el proyecto y construcción del subsistema de infraestructura (IFI) y la instrucción ferroviaria para el proyecto y construcción del subsistema de energía (IFE)*. <https://www.boe.es/boe/dias/2023/02/18/pdfs/BOE-A-2023-4324.pdf>
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2022). *Estrategia Indicativa del desarrollo, mantenimiento y Renovación de la infraestructura ferroviaria*. [https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/paginabasica/recursos/estrategia\\_indicativa\\_finalv2.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/paginabasica/recursos/estrategia_indicativa_finalv2.pdf)
- 

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

---

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2023). *Informe de Actuación Extraordinaria. Auditoria Contrato 4500035049 «Suministro de 31 Trenes de ancho métrico» suscrito por Renfe Viajeros S.M.E., S.A.*  
[https://www.transportes.gob.es/recursos\\_mfom/comodin/recursos/informe\\_auditoria\\_contrato\\_4500035049\\_renfe\\_viajeros\\_-\\_copia.pdf](https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/comodin/recursos/informe_auditoria_contrato_4500035049_renfe_viajeros_-_copia.pdf)

Mostafa Abdel-Bary Ebrahim. (2011, octubre). 3D Laser Scanners: History, applications, and future. *Civil Engineering Department, Faculty of Engineering Assiut University*, 99.

Parlamento Europeo y del Consejo. (2012). *Directiva 2012/34/EU del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de noviembre de 2012, por la que se establece un espacio ferroviario europeo único (texto refundido)*. <https://www.boe.es/doue/2012/343/L00032-00077.pdf>

Parlamento Europeo y del Consejo. (2013a). *Reglamento (UE) n ° 1316/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2013, por el que se crea el Mecanismo «Conectar Europa»*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32013R1316>

Parlamento Europeo y del Consejo. (2013b). *Reglamento (UE) n ° 1315/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2013, sobre las orientaciones de la Unión para el desarrollo de la Red Transeuropea de Transporte, y por el que se deroga la Decisión n ° 661/2010/UE*. <https://www.boe.es/doue/2013/348/L00001-00128.pdf>

Parlamento Europeo y del Consejo. (2016a). *Directiva (UE) 2016/796 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de mayo de 2016, relativo a la Agencia Ferroviaria de la Unión Europea*. <https://doi.org/DOUE-L-2016-80893>

---

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

---

Parlamento Europeo y del Consejo. (2016b). *Directiva (UE) 2016/797 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de mayo de 2016 sobre la interoperabilidad del sistema ferroviario dentro de la Unión Europea*. <https://doi.org/DOUE-L-2016-80893>

Pinkerton, M. (2010). *Terrestrial Laser Scanning for Mainstream Land Surveying*. [https://fig.net/resources/monthly\\_articles/2010/august\\_2010/august\\_2010\\_pinkerton.pdf](https://fig.net/resources/monthly_articles/2010/august_2010/august_2010_pinkerton.pdf)

Puente Hoyos, Pedro. (2023, febrero). *Un tren de Renfe*. <https://www.deia.eus/economia/2023/02/08/crisis-trenes-cantabria-asturias-caben-6421020.html>

Railway Innovation Hub. (2018). *Ingeniería INSITU y ADIF usan tecnología Mobile Mapping para el control de gálidos de la línea C9 de Cercanías*. <https://www.railwayinnovationhub.com/ingenieria-insitu-y-adif-utilizan-tecnologia-mobile-mapping-para-el-control-de-galibos-de-la-linea-c9-de-cercanias/>

Railway Innovation Hub. (2020). *Sistema de Clasificación Ferroviario BIM SCFclass*. <https://www.railwayinnovationhub.com/bim/>

RENFE. (2024). *Tren de Cercanías S2700*. <https://www.renfe.com/es/es/grupo-renfe/grupo-renfe/flota-de-trenes/utde-2700>

Ryding, J., Williams, E., Smith, M., & Eichhorn, M. (2015). Assessing Handheld Mobile Laser Scanners for Forest Surveys. *Remote Sensing*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/rs70101095>

---

*Innovación en la determinación de gálidos ferroviarios mediante nube de puntos.*

---

Sánchez Rodríguez, Ana. (2021). *Automated structural inspection of facilities associated to terrestrial infrastructure networks from geometric and radiometric data acquired by laser scanning systems*. [Ingeniería de control/Ingeniería civil, Universidad de Vigo]. <http://hdl.handle.net/11093/1685>

SNCF Réseau. (2023a). *SNCF Réseau. Toutes les cartes*. <https://www.sncf-reseau.com/fr/car>

SNCF Réseau. (2023b). *The national rail Network Statement*. [https://www.sncf-reseau.com/medias-publics/2024-02/ns2024m\\_eng.pdf](https://www.sncf-reseau.com/medias-publics/2024-02/ns2024m_eng.pdf)

Suárez de la Riera, Í. (2017). *Sistema de ampliación de gálibos en túneles (TES)*. *Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente*. (258). 258, Article 258. [https://www.interempresas.net/Flipbooks/IG/258/pdf/IG258\\_libro.pdf](https://www.interempresas.net/Flipbooks/IG/258/pdf/IG258_libro.pdf)

Tecnología Ferroviaria. (2022). *Tecnología Ferroviaria*. <https://tecnologiaferroviaria.com/news/61379-vtg-presenta-su-prototipo-de-vag%C3%B3n-pocket-para-servicios-de-autopista-ferroviaria-para-la-pen%C3%ADnsula-ib%C3%A9rica>

Wu, C., Yuan, Y., Tang, Y., & Tian, B. (2021). Application of Terrestrial Laser Scanning (TLS) in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry. *Sensors*, 22(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/s22010265>

## **11. ANEXOS**

**I. Índice de Ilustraciones**

**II. Índice de tablas**

**III. Gálidos uniformes de Implantación de Obstáculos**

**IV. Planos 2D**

**V. Informe de Colisiones**

# I. Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Evolución del ferrocarril en el siglo XIX. (Juan, 2013).....	13
Ilustración 2. Excavación del stross. Túnel de Argentera. (Maristany & Gibert, Eduard, 1891) .....	14
Ilustración 3. Carro soporte de la perforadora Ferroux usada en la Argentera. (Maristany & Gibert, Eduard, 1891) .....	14
Ilustración 4. Cimbra de madera para la ejecución de la bóveda de un túnel. (ADIF, 2023a).....	15
Ilustración 5. Hueco del trasdós relleno con “piedra seca” (Túnel de Cárdenas). (ADIF, 2023a) .....	16
Ilustración 6. Red de ancho métrico (RAM) en España. (Díaz, R., 2018).....	18
Ilustración 7. Tren de Renfe circulando por las antiguas vías de FEVE. (Puente Hoyos, Pedro, 2023) .....	19
Ilustración 8. Un grupo de paisanos realizando una medición in situ de un túnel de Feve debido a la problemática de los gálibos en Asturias y Cantabria. (López, Miki, 2023) .....	20
Ilustración 9. Tren de ancho métrico modelo S/2700. (RENFE, 2024) .....	21
Ilustración 10. Planes ferroviarios en España. (Elaboración propia) .....	26
Ilustración 11. Estrategia Indicativa del desarrollo, mantenimiento y renovación de la infraestructura ferroviaria.(Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2022) .....	29
Ilustración 12. Los 9 ejes estratégicos de la “Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030”. (Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible., 2021).....	30
Ilustración 13. Los 9 Ejes de la "Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030". (Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible., 2021) .....	31
Ilustración 14. Red Transeuropea de Transporte (TEN-T). Reglamento UE 1315/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo Red básica. Vías férreas (transporte de pasajeros) y aeropuertos. (Parlamento Europeo y del Consejo, 2013b) .....	33
Ilustración 15. Comparativa Ancho vía en ADIF y ADIF AV. (Elaboración propia).....	36
Ilustración 16. Mapa RFIG. (ADIF, 2024a).....	37
Ilustración 17. Porcentaje de anchos de vías en la RFIG. (Elaboración propia).....	38
Ilustración 18. Sistema RINF. (European Union Agency for Railways (ERA), 2023) .....	40

Ilustración 19. Mapa de gálibo límite para obstáculos elevados (viajeros). (SNCF Réseau., 2023a)	41
Ilustración 20. Mapa de gálibo límite para obstáculos elevados (mercancías). (SNCF Réseau., 2023a)	42
Ilustración 21. Sección ejemplo de Gálibo Ferroviario. (Elaboración propia)	43
Ilustración 22. Gálivos considerados. (Ministerio de Fomento, 2015a)	45
Ilustración 23. Esquema de Gálivos que establece "Instrucción de Gálivos Ferroviarios" Orden FOM 1630/2015. (Elaboración propia)	48
Ilustración 24. Diferencia entre partes altas y partes bajas. (Ministerio de Fomento, 2015a)	50
Ilustración 25. Contornos de referencia de gálibo cinemático de ancho ibérico: GHE16, GEA16, GEB16 y GEC16. (ADIF, 2021)	51
Ilustración 26. Contornos de referencia de gálibo cinemático ancho estándar: GA, GB y GC. (ADIF, 2021)	52
Ilustración 27. Sección ejemplo de gálivos de implantación de obstáculos. (Elaboración propia)	53
Ilustración 28. Gálivos de menor a mayor según la Instrucción Ferroviaria de Gálivos. (Elaboración propia)	54
Ilustración 29. Gálibo Uniforme de Implantación de Obstáculos de partes altas: GEC16 vs GEB16. (Elaboración propia)	56
Ilustración 30. Gálibo Uniforme de Implantación de Obstáculos de partes altas: GC vs GB. (Elaboración propia)	56
Ilustración 31. Sección tipo de gálibo uniforme de implantación de obstáculos con gálibo del pantógrafo. (Elaboración propia)	58
Ilustración 32. Ejemplo de Gálibo del pantógrafo mecánico y eléctrico para G.I.O. uniforme GC. (Ministerio de Fomento, 2015a)	59
Ilustración 33. Hilo de contacto y gálibo del pantógrafo. (Elaboración propia)	60
Ilustración 34. Salientes de Gálibo del Material Rodante. (Ministerio de Fomento, 2015a)	61
Ilustración 35. Diferencia entre Gálibo del Material Rodante y Gálibo Uniforme de Implantación de Obstáculos, correspondiente a un GEC16. (Elaboración propia)	61

Ilustración 36. Contornos de referencia del gálibo estático GEC16. Partes altas. (Ministerio de Fomento, 2015a) .....	62
Ilustración 37. Gálibo de Cargamento: Vagones LOHR UIC utilizados en Francia. (LOHR, 2024) .....	63
Ilustración 38. Vagón LOHR UIC transportando semirremolques de carretera estándar de 4 m de altura en las principales líneas europeas. (LOHR, 2024) .....	63
Ilustración 39. NAG 5-1-0.0 Gálibos Autopista Ferroviaria. (ADIF, 2021) .....	64
Ilustración 40. Vagón Pocket T4000 destinado a la autopista ferroviaria, de la empresa VTG. (Tecnología Ferroviaria., 2022) .....	65
Ilustración 41. Carga de semirremolque con grúa reachstacker. (Geotren., 2024).....	66
Ilustración 42. Gálibo Uniforme de Implantación de Obstáculos de partes altas de ancho ibérico: GEC16 vs GEB16 vs AF-4.2-IP vs AF-4.1-IP vs AF-4.0-IP. (Elaboración propia).....	67
Ilustración 43. Gálibo Uniforme de Implantación de Obstáculos de partes altas de ancho estándar: GC vs GB vs AF-4.2-EP vs AF-4.1-EP vs AF-4.0-EP. (Elaboración propia).....	67
Ilustración 44. Ejemplo de conflicto entre infraestructura y G.I.O. (Elaboración propia) .....	68
Ilustración 45. Croquis de medición con estación total. (Elaboración propia).....	70
Ilustración 46. Ejemplo de medición con estación total de elevación de la altura de la catenaria de un cable de alta tensión, altura de un puente, edificio, etc. (Elaboración propia) .....	71
Ilustración 47. Medición con Estación Total. (Leica Geosystems., 2019) .....	71
Ilustración 48. Funcionamiento de un Laser Scanner. (Wu et al., 2021).....	73
Ilustración 49. Equipo Terrestrial Laser Scanner (TLS) escaneando un túnel. (Pinkerton, M., 2010)75	
Ilustración 50. Toma de datos del sistema Aerial Laser Scanners (ALS). (Leica Geosystems., 2023) 76	
Ilustración 51. A izquierda la nube de puntos obtenida del levantamiento con Escáner Láser Terrestre y a derecha la nube de puntos obtenida mediante fotogramas aérea. (Eugenia Polo García, María & Sánchez Ríos, Alonso, 2022).....	77
Ilustración 52. Comparativa radial de las especificaciones entre equipos de topografía clásica y Laser Scanner. (Elaboración propia) .....	78
Ilustración 53. Sistemas que componen un Mobile Laser Scanner (MLS). (Elaboración propia) .....	79

Ilustración 54. Diferencias entre sistemas tradicionales y el mobile mapping en un recorrido de 10 km. (Leica Geosystems., 2019) .....	80
Ilustración 55. Tabla estándar para clasificar elementos BIM según la función que desempeñan desarrollado por SCFClass V2. (Railway Innovation Hub, 2020).....	81
Ilustración 56. Clases BIM de Istram, identificadas con las funciones de la Clasificación RIH SCFCLASS V2. (Elaboración propia).....	82
Ilustración 57. Modelo BIM con las funciones de clasificación RIH SCFClass V2 seleccionando una traviesa. (Elaboración propia) .....	82
Ilustración 58. Vehículo equipado con mobile mapping. (Leica Geosystems., 2019) .....	83
Ilustración 59. Entorno urbano capturado con Mobile mapping. (Leica Geosystems., 2019) .....	84
Ilustración 60. Líneas de alta tensión eléctricas capturadas con Mobile mapping. (Leica Geosystems., 2019) .....	84
Ilustración 61. Tipos de equipos de mobile mapping de la empresa Leica Geosystems. (Leica Geosystems., 2019) .....	85
Ilustración 62. Leica Pegasus: Backpack. (Leica Geosystems., 2019) .....	86
Ilustración 63. Perro Robot "Spot" de Boston Dynamics. (Boston Dynamics, 2024) .....	87
Ilustración 64. Leica SiTrack: One. (Leica Geosystems., 2019) .....	87
Ilustración 65. Captura de datos con Leica SiTrack: One. (Leica Geosystems., 2019) .....	88
Ilustración 66. Pegasus: Two/Ultimate acoplado en diferentes vehículos. (Leica Geosystems., 2019) .....	88
Ilustración 67. Vehículo de mobile mapping montado en un vagón para el escaneo de la línea 200. (ADIF, 2023a) .....	89
Ilustración 68. Dresina equipada con sistema mobile mapping. (Ingeniería INSITU., 2017) .....	91
Ilustración 69. Equipo de mobile mapping atado en la parte trasera de una dresina. (Leica Geosystems., 2019) .....	91
Ilustración 70. Flujo de trabajo del software de Leica. (Elaboración propia) .....	93
Ilustración 71. Módulo SiRailScan identificando carriles, entreeje y LAC en una nube de puntos. (Leica Geosystems., 2019).....	94

Ilustración 72. Módulo Atrack reconociendo parámetros de vía.(Leica Geosystems., 2019) .....	94
Ilustración 73. Identificación de hastiales y bóveda actual de un túnel con el software SiRail con nube de puntos. (Leica Geosystems., 2019).....	95
Ilustración 74. Colisiones entre infraestructura existente y gálibo con el software SiRail con nube de puntos. (Leica Geosystems., 2019).....	95
Ilustración 75. Componentes y sistemas que componen un equipo de mobile mapping apto para generar nube de puntos. (Leica Geosystems., 2019) .....	96
Ilustración 76. Nube de puntos del caso de estudio. (Elaboración propia).....	97
Ilustración 77. Nube de puntos en línea C9 de Cercanías Madrid (Los Cotos-Cercedilla). (Railway Innovation Hub, 2018).....	98
Ilustración 78. El escáner GRP-5000 de Amberg Group. (Amberg Group., 2024) .....	99
Ilustración 79. ITwin Capture con la herramienta Crack Detection en un paso superior.(Bentley, 2023) .....	100
Ilustración 80. Ampliación de túnel con demolición de revestimiento y aplicación posterior de sostenimiento. (ADIF, 2023a) .....	104
Ilustración 81. Excavación con rozadora (izquierda) y con explosivos (derecha). (ADIF, 2023a)....	104
Ilustración 82. Secuencia cíclica de avances entre 1,5-3 m y posterior colocación de sostenimiento en el avance realizado. (ADIF, 2023a).....	105
Ilustración 83. Máquina TES Herrenknecht D-835 utilizada en túneles del tramo Irún-Astigarraga. (Suárez de la Riera, Í., 2017).....	106
Ilustración 84. Fases de ejecución de Herrenknecht D-835. (Suárez de la Riera, Í., 2017) .....	107
Ilustración 85. Estructura del TES. (Suárez de la Riera, Í., 2017) .....	107
Ilustración 86. Unidad de sostenimiento del TES. (Suárez de la Riera, Í., 2017) .....	108
Ilustración 87. Vehículo para desescombrado tras la excavación. (Suárez de la Riera, Í., 2017)....	109
Ilustración 88. Sección longitudinal de perforación con sobreexcavación. (Suárez de la Riera, Í., 2017) .....	109
Ilustración 89. Importar un archivo .las en Cloud Compare. (Elaboración propia) .....	112

Ilustración 90. Desplazamiento y traslación en Cloud Compare. (Elaboración propia) .....	112
Ilustración 91. Nube de puntos en Cloud Compare desde una vista superior. (Elaboración propia) .....	113
Ilustración 92. Nube de puntos en Cloud Compare desde una vista más cercana. (Elaboración propia) .....	114
Ilustración 93. Nube de puntos en Cloud Compare desde una vista en tercera persona. (Elaboración propia) .....	114
Ilustración 94. Elementos detectados con la nube de puntos. (Elaboración propia).....	116
Ilustración 95. Importar nube de puntos en el software Recap. (Elaboración propia) .....	117
Ilustración 96. Modo elevación en software Recap (Elaboración propia).....	117
Ilustración 97. Modo intensidades en el Túnel de La Anchada con el software Recap (Elaboración propia) .....	118
Ilustración 98. Crear cuadro para agrupar los puntos en Recap. (Elaboración propia).....	118
Ilustración 99. Designar cuadro para categorizar los puntos con mayor facilidad. (Elaboración propia) .....	119
Ilustración 100. Seleccionar puntos y crear grupo en Recap. (Elaboración propia).....	119
Ilustración 101. Selección de grupo vía con el software Recap. (Elaboración propia).....	120
Ilustración 102. Selección de grupo túnel con el software Recap. (Elaboración propia) .....	120
Ilustración 103. Selección de diferentes grupos con el software Recap. (Elaboración propia).....	121
Ilustración 104. Selección de coordenadas UTM en el software Istram. (Elaboración propia).....	122
Ilustración 105. Pestaña Nubes densas de puntos Istram. (Elaboración propia) .....	122
Ilustración 106. Importar dwg en Istram. (elaboración propia) .....	123
Ilustración 107. Importar nube de puntos y polilínea en Istram. (Elaboración propia) .....	123
Ilustración 108. Pestaña Transversales para generar la superficie con la nube de puntos anteriormente importada. (Elaboración propia).....	124

Ilustración 109. Menú de diseño rasantes al generar la superficie con la nube de puntos. (Elaboración propia).....	125
Ilustración 110. Selección tipo de sección del eje. (Elaboración propia) .....	125
Ilustración 111. Sección tipo de la vía diseñada con la superficie generada con nube de puntos. (Elaboración propia).....	125
Ilustración 112. Cabeza de carril que coincide con la nube de puntos. (Elaboración propia).....	126
Ilustración 113. Creación de símbolo cerrado para establecer el gálibo. (Elaboración propia) .....	126
Ilustración 114. Gálibo de implantación de obstáculos importado en Istram a través de Autocad. (Elaboración propia).....	127
Ilustración 115. Generar símbolo de gálibo a través del editor gráfico de símbolos. (Elaboración propia) .....	128
Ilustración 116. Verificación de gálivos en librería de símbolos. (Elaboración propia).....	128
Ilustración 117. Menú símbolos en perfil para incluir el contorno de los gálivos. (Elaboración propia) .....	129
Ilustración 118. Sección tipo diseña con el contorno de los gálivos. (Elaboración propia) .....	129
Ilustración 119. Selección de Banda por PK. (Elaboración propia).....	130
Ilustración 120. Generar planos 2D con la herramienta de Banda por PK. (Elaboración propia) ..	131
Ilustración 121. Sección transversal para la comprobación de conflicto entre el gálibo y la nube de puntos del túnel. (Elaboración propia).....	131
Ilustración 122. Sección transversal para la comprobación de conflicto entre el gálibo y la nube de puntos de un Paso Superior. (Elaboración propia) .....	132
Ilustración 123. Planos de secciones transversales de un puente metálico. (Elaboración propia) 133	
Ilustración 124. Seleccionar las tablas de cubicación dentro del menú de editor de perfiles. (Elaboración propia).....	134
Ilustración 125. Tabla de cubicación para generar el volumen 3D del gálibo. (Elaboración propia) .....	134
Ilustración 126. Visualización del modelo con BIMvision. (Elaboración propia).....	135

Ilustración 127. Modificación del método de conversión en Navisworks. (Elaboración propia) ...	136
Ilustración 128. Comprobación de la clasificación RIH SCFclass V2 en Navisworks. (Elaboración propia).....	136
Ilustración 129. Modelo 3D con la inclusión de la nube de puntos del túnel (.rcp) en Navisworks. (Elaboración propia).....	137
Ilustración 130. Añadir pruebas de conflictos entre elementos. (Elaboración propia).....	138
Ilustración 131. Herramienta Clash Detective para gestionar conflictos. (Elaboración propia).....	139
Ilustración 132. Estado de los conflictos en Navisworks con la herramienta Clash Detective. (Elaboración propia).....	139
Ilustración 133. Configuración del Informe de Colisiones de Navisworks. (Elaboración propia) ...	140
Ilustración 134. Informe de Colisiones HTML. (Elaboración propia).....	140
Ilustración 135. Captura fotográfica de la infraestructura cada 10 metros en el escaneado de la línea 200 con mobile mapping en el software QGIS. (Elaboración propia) .....	142
Ilustración 136. Plano Situación del caso de estudio. (Elaboración propia).....	143
Ilustración 137. Inicio (P.K. 249+409) y final (P.K. 249+809) del Túnel de la Anchada. (Elaboración propia).....	144
Ilustración 138. Tramo metálico (P.K. 249+854 - 249+894). (Elaboración propia) .....	144
Ilustración 139. Nube de puntos del túnel de “La Anchada” lado Madrid. (Elaboración propia)..	145
Ilustración 140. Número de puntos del tramo objeto de estudio. (Elaboración propia) .....	145
Ilustración 141. Recortando el área de estudio. (Elaboración propia).....	146
Ilustración 142. Número de puntos una vez segmentado. (Elaboración propia).....	147
Ilustración 143. Desplazamiento y traslación en Cloud Compare para el caso de estudio. (Elaboración propia).....	147
Ilustración 144. Grupos de nube de puntos desde una vista superior. (Elaboración propia) .....	148
Ilustración 145. Categorización de la nube de puntos desde una vista en primera persona. (Elaboración propia).....	148

Ilustración 146. Encaje del trazado existente en planta del caso estudio. (Elaboración propia) ...	149
Ilustración 147. Encaje de la rasante existente del caso estudio. (Elaboración propia).....	150
Ilustración 148. Sección tipo GEC16 del caso de estudio. (elaboración propia) .....	150
Ilustración 149. Nubes de puntos utilizados en Istram para obtener planos. (Elaboración propia) .....	151
Ilustración 150. Colisión entre Gálibo GEC16 y el túnel de La Anchada. (Elaboración propia).....	151
Ilustración 151. Generación del eje transversal con equidistancia de 1 metro para verificar los conflictos con el Paso Superior CV-601. (Elaboración propia) .....	152
Ilustración 152. Colisión entre Gálibo GEC16 y el Paso Superior CV-601 P.K. 249+260. (Elaboración propia) .....	153
Ilustración 153. Incumplimiento distancia mínima horizontal entre el eje de la vía y la pila del Paso Superior CV-601. (Elaboración propia).....	154
Ilustración 154. Colisión entre Gálibo GEC16 y el Puente Metálico P.K. 249+854 - P.K. 249+894. (Elaboración propia).....	155
Ilustración 155. Planos de perfiles transversales en el túnel de La Anchada con gálibo GEC16. (Elaboración propia).....	155
Ilustración 156. Plano de sección transversal corroborando el conflicto entre túnel y gálibo de implantación de obstáculos GEC16 con la situación actual. (Elaboración propia).....	156
Ilustración 157. Clasificación RIH SCFCLASS V2 incluida en Istram para el caso de estudio. (Elaboración propia).....	157
Ilustración 158. Excel con la Clasificación RIH SCFCLASS V2 incluida en Istram. (Elaboración propia) .....	157
Ilustración 159. Clasificación RIH SCFclass V02 del carril en Navisworks sobre el caso de estudio. (Elaboración propia).....	158
Ilustración 160. Clasificación RIH SCFclass V02 del carril en BIMvision sobre el caso de estudio. (Elaboración propia).....	158
Ilustración 161. Voxel agrupando puntos en hastial izquierdo y derecho, en túnel de La Anchada. (Elaboración propia).....	159

Ilustración 162. División de la nube de puntos del hastial y bóveda a ambos lados en Recap. (Elaboración propia).....	160
Ilustración 163. Árbol de selección del caso de estudio en Navisworks. (Elaboración propia).....	160
Ilustración 164. Modelo 3D en Navisworks del caso de estudio. (Elaboración propia) .....	161
Ilustración 165. Conflicto en modelo 3D con la situación actual y el gálibo GEC16 en el emboquille del túnel de La Anchada lado Madrid. (Elaboración propia).....	163
Ilustración 166. Conflicto en modelo 3D en hastial y bóveda izquierdo con la situación actual y el gálibo GEC16 a lo largo del túnel de La Anchada. (Elaboración propia) .....	163
Ilustración 167. Conflicto detectado en el Informe de colisiones entre el túnel de La Anchada y el gálibo GEC16 junto con el gálibo del pantógrafo. (Elaboración propia).....	164
Ilustración 168. Conflicto en modelo 3D con la situación actual y el gálibo GEC16 en Paso Superior CV-601. (Elaboración propia).....	164
Ilustración 169. Conflicto detectado en el Informe de colisiones entre el gálibo del pantógrafo del GEC16 y el Paso Superior CV-601. (Elaboración propia) .....	165
Ilustración 170. Conflicto en modelo 3D con la situación actual y el gálibo GEC16 en Tramo Metálico lado derecho. (Elaboración propia).....	165
Ilustración 171. Conflicto detectado en el Informe de colisiones entre el gálibo GEC16 y el lado derecho del Tramo Metálico. (Elaboración propia).....	166
Ilustración 172. Trazado condicionado por el encaje con el tramo metálico. (Elaboración propia) .....	167
Ilustración 173. Centrado de vía en el emboquille lado Madrid del túnel de La Anchada con GEC16. (Elaboración propia).....	169
Ilustración 174. Centrado de la vía en el interior del túnel de La Anchada con un GEC16. (Elaboración propia) .....	169
Ilustración 175. Conflicto detectado en el Informe de colisiones entre el gálibo del pantógrafo GEC16 y el hastial y bóveda derecha. (Elaboración propia) .....	171
Ilustración 176. Conflicto en modelo 3D con la solución planteada entre el hastial y bóveda izquierdo con el gálibo GEC16 en el emboquille del túnel de La Anchada lado Zaragoza. (Elaboración propia) .....	172

Ilustración 177. Conflicto detectado en el Informe de colisiones entre GEC16 y una señal por el centrado de la vía. (Elaboración propia) .....	172
Ilustración 178. Conflicto resuelto entre el gálibo del pantógrafo y el Paso Superior CV-601 detectado en la situación existente. (Elaboración propia) .....	173
Ilustración 179. Solucionado conflicto en el emboquille lado Madrid en el hastial y bóveda derecho tras incluir gálibo AF 4.2-IP. (Elaboración propia).....	175
Ilustración 180. Sección del túnel de La Anchada con un gálibo proyectado AF 4.2-IP libre de conflictos. (Elaboración propia).....	176
Ilustración 181. Conflicto en los últimos 32 metros del túnel de La Anchada (lado Zaragoza) con gálibo AF 4.2-IP. (Elaboración propia).....	177
Ilustración 182. Ampliación del hastial izquierdo 40 cm en el tramo final del Túnel de La Anchada con la solución AF 4.2-IP. (Elaboración propia) .....	178
Ilustración 183. Sección del Paso Superior CV-601 con un gálibo AF 4.2-IP libre de conflictos. (Elaboración propia).....	178
Ilustración 184. Vista aérea de la solución AF 4.2-IP. (Elaboración propia).....	179
Ilustración 185. Resultado del Modelo 3D. (Elaboración propia).....	181

## II. Índice de tablas

Tabla 1. Red Transeuropea de Transporte (TEN-T). Reglamento UE 1315/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo Artículo 39. Requisitos técnicos (Elaboración propia).....	32
Tabla 2. Red Transeuropea de Transporte (TEN-T). Reglamento UE 1315/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo Artículo 12. Requisitos de las infraestructuras de transporte. (Elaboración propia).....	34
Tabla 3. Estaciones de Viajeros. (ADIF, 2024a; ADIF AV, 2024).....	35
Tabla 4. Terminales de Mercancías. (ADIF, 2024a; ADIF AV, 2024).....	35
Tabla 5. Longitud de la Infraestructura. (ADIF, 2024a; ADIF AV, 2024).....	35
Tabla 6. Longitud de la Señalización. (ADIF, 2024a; ADIF AV, 2024).....	37
Tabla 7. Longitud línea electrificada y circulaciones. (ADIF, 2024a; ADIF AV, 2024) .....	37
Tabla 8. Gálidos según la “Instrucción de gálidos ferroviarios”.(Ministerio de Fomento, 2015a)....	44
Tabla 9. Normativa de Gálidos Ferroviarios. (Elaboración propia).....	46
Tabla 10. Contornos de Referencia. (Ministerio de Fomento, 2015a).....	49
Tabla 11. Nomenclatura de gálidos y su significado. (Ministerio de Fomento, 2015a).....	50
Tabla 12. Gálidos uniformes de implantación de obstáculos en partes altas a considerar en cada tipo de línea. (Ministerio de Fomento, 2015a).....	55
Tabla 13. Gálido uniforme de implantación de obstáculos para partes bajas. (Ministerio de Fomento, 2015a) .....	57
Tabla 14. Tipos de semirremolques. (Elaboración propia) .....	66
Tabla 15. Gálido uniforme de implantación de obstáculos para autopista ferroviaria. (ADIF, 2021).....	66
Tabla 16. Equipos de medición topográficos para infraestructura ferroviaria. (Elaboración propia) .....	69
Tabla 17. Rendimientos Estaciones Totales.(Leica Geosystems., 2018b) .....	72
Tabla 18. Rendimientos TLS. (Leica Geosystems., 2018a) .....	76
Tabla 19. Comparativa de rendimientos topografía clásica y laser Scanner. (Elaboración propia) ..	78

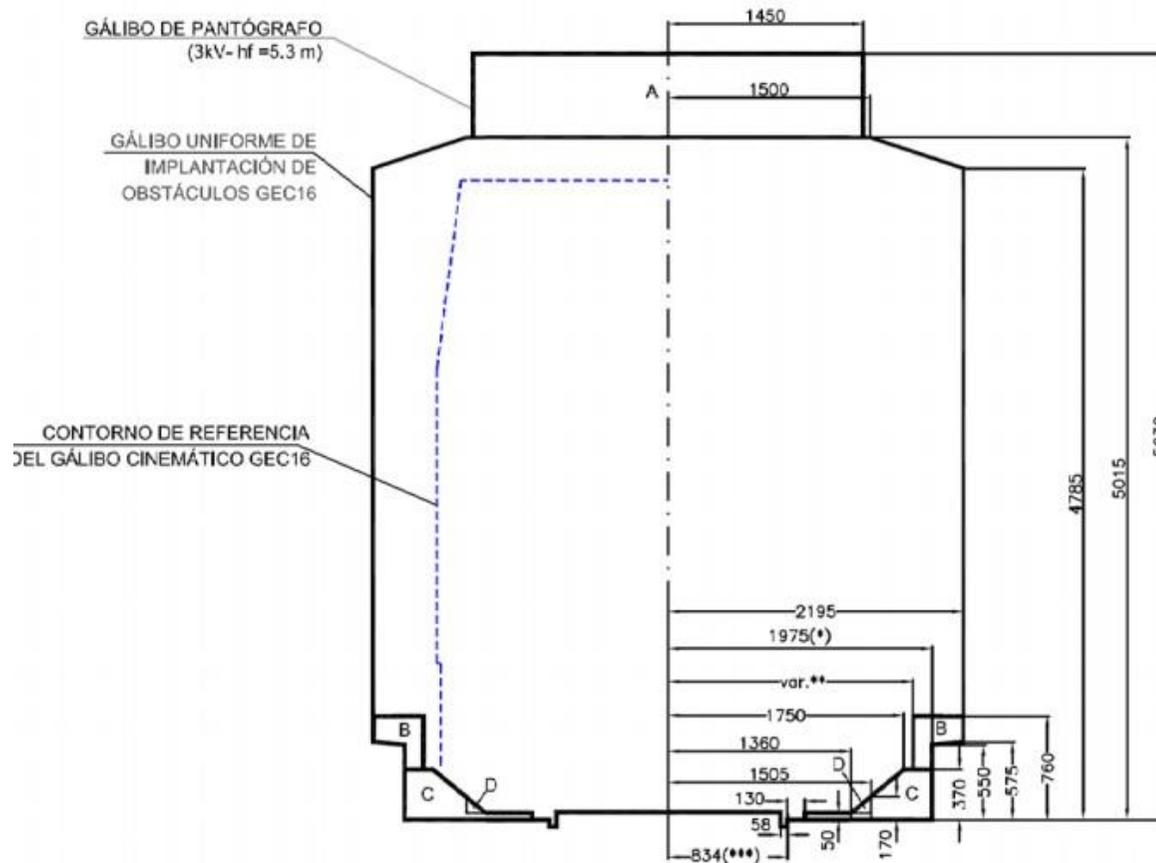
Tabla 20. Resumen de las especificaciones más destacadas de los equipos Mobile Mapping.(Leica Geosystems., 2019) .....	90
Tabla 21. Situación Actual: Conflictos con GEC16. (Elaboración propia).....	162
Tabla 22. Propuesta de soluciones. (Elaboración propia) .....	168
Tabla 23. Solución Planteada: Conflictos con GEC16. (Elaboración propia).....	170
Tabla 24. Solución Planteada: Conflictos con GEC16. (Elaboración propia).....	174
Tabla 25. Resumen de Informes de Conflictos. (Elaboración propia).....	180

### **III. Gálidos uniformes de Implantación de Obstáculos**

---

*Innovación en la determinación de gálidos ferroviarios mediante nube de puntos.*

## a) GEC16



Criterios de aplicación para este gálibo uniforme:

- . Radio mínimo en planta (R<sub>min</sub>): 250 m
- . Radio mínimo de acuerdo vertical (R<sub>v</sub>): 2000 m
- . Sobreancho máximo: 30 mm
- . Peralte máximo: 160 mm
- . Insuficiencia de peralte máxima (I<sub>max</sub>): 175 mm
- . Vía en balasto, en mal estado
- . Catenaria CA-160, altura de hilo de contacto (hf): 5,3 m
- . Pantógrafo de ancho 1950 mm y trocadores no aislados

Notas al dibujo:

(\*): Borde de acera de evacuación en túneles

(\*\*): Borde de andén en estaciones: consultar cuadro (3.15)

(\*\*\*): Cota nominal, sin sobreancho

Zonas especiales:

A: Zona para paso del pantógrafo

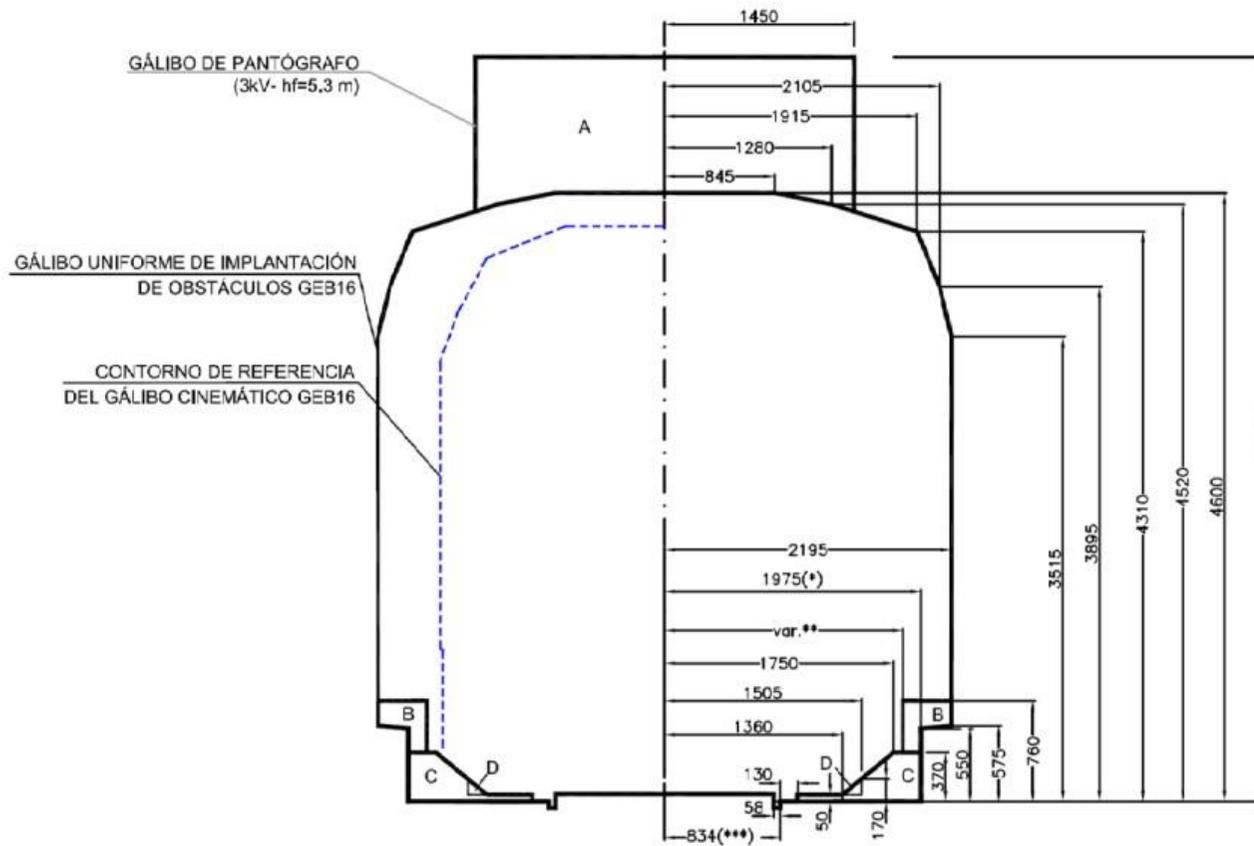
B: Zona para andén en estaciones

C: Zona para equipos de vía. Gálibos GEI1, GEI2 y GEI3

D: Zona para equipos de vía. Gálibos GEI1 y GEI2

C+D: En el caso de elementos no asociados a la vía se rebajará la cota del gálibo uniforme 15 mm.

## b) GEB16



Criterios de aplicación para este gálibo uniforme:

- . Radio mínimo en planta (Rmin): 250 m
- . Radio mínimo de acuerdo vertical (Rv): 2000 m
- . Sobreancho máximo: 30 mm
- . Peralte máximo: 160 mm
- . Insuficiencia de peralte máxima (Imax): 175 mm
- . Via en balasto, en mal estado
- . Catenaria CA-160, altura de hilo de contacto (hf): 5,3 m
- . Pantógrafo de ancho 1950 mm y trocadores no aislados

Notas al dibujo:

(\*): Borde de acera de evacuación en túneles

(\*\*): Borde de andén en estaciones: consultar cuadro (3.15)

(\*\*\*): Cota nominal, sin sobreancho

Zonas especiales:

A: Zona para paso del pantógrafo

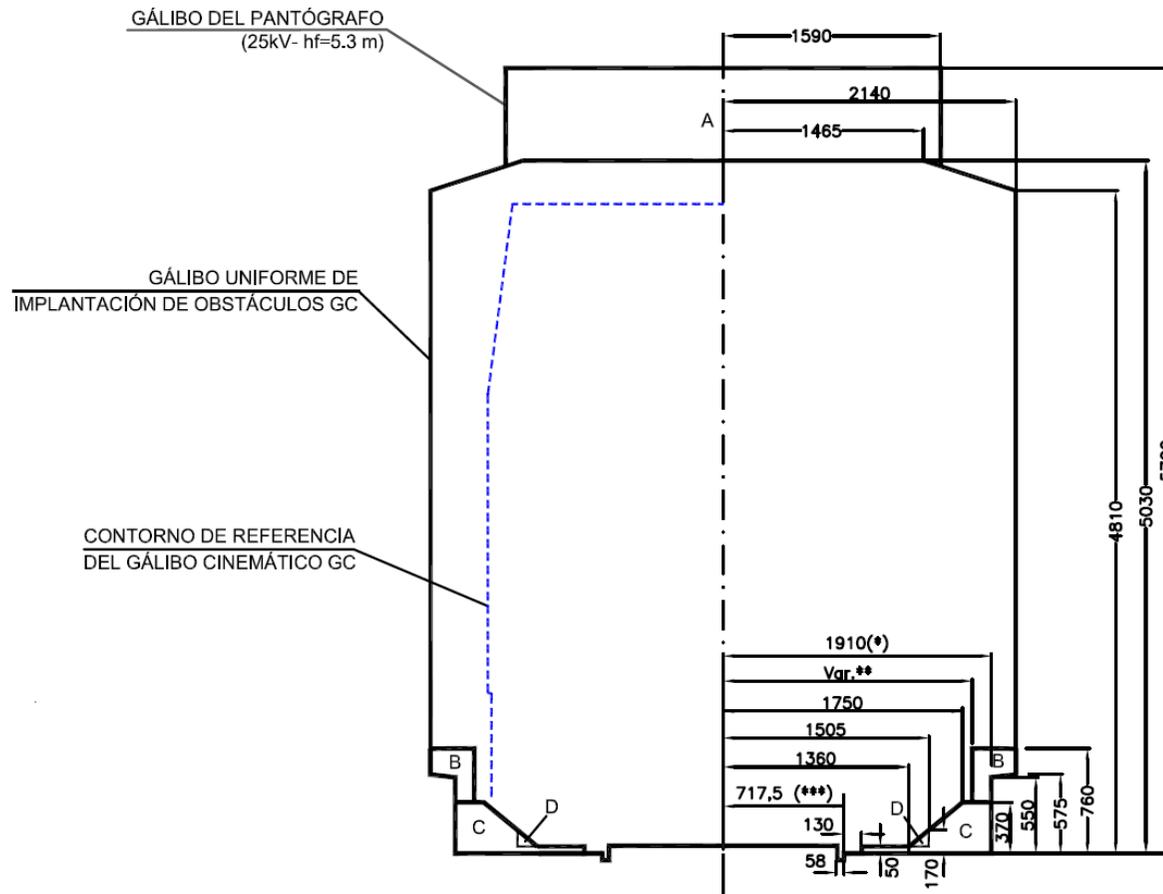
B: Zona para andén en estaciones

C: Zona para equipos de vía. Gálibos GEI1, GEI2 y GEI3

D: Zona para equipos de vía. Gálibos GEI1 y GEI2

C+D: En el caso de elementos no asociados a la vía se rebajará la cota del gálibo uniforme 15 mm.

### c) GC



Crterios de aplicacin para este gálibo uniforme:

- . Radio mnimo en planta (Rmin): 250 m
  - . Radio mnimo de acuerdo vertical (Rv): 2000 m
  - . Sobreancho mximo: 30 mm
  - . Peralte mximo: 160 mm
  - . Insuficiencia de peralte mxima (Imax): 150 mm
  - . Vía en balasto, en mal estado
  - . Catenaria EAC-350, altura de hilo de contacto (hf): 5,3 m
  - . Pantógrafo de ancho 1950 mm y trocadores no aislados
- Notas al dibujo:

(\*): Borde de acera de evacuacin en tneles

(\*\*): Borde de andn en estaciones: consultar cuadro (3.22)

(\*\*\*): Cota nominal, sin sobreancho

Zonas especiales:

A: Zona para paso del pantógrafo

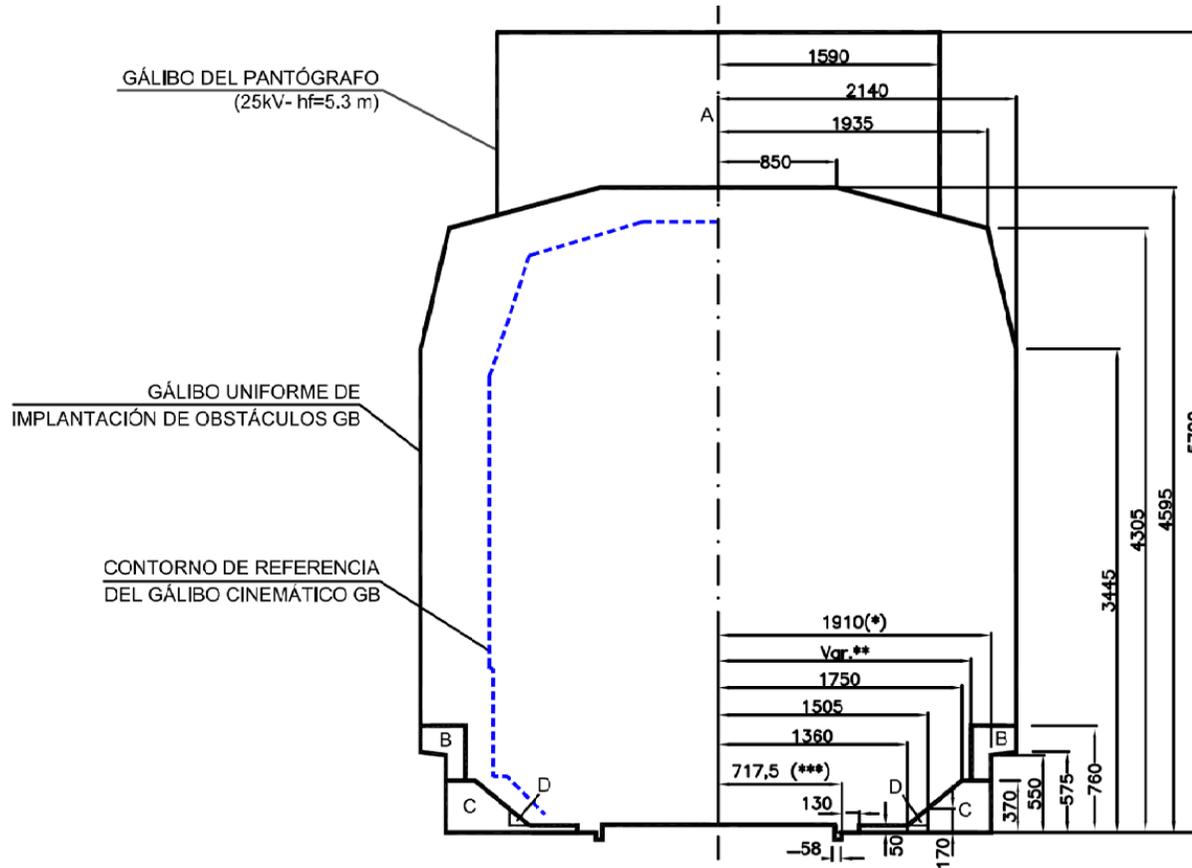
B: Zona para andn en estaciones

C: Zona para equipos de vía. Gálbos GI1, GI2 y GI3

D: Zona para equipos de vía. Gálbos GI1 y GI2

C+D: En el caso de elementos no asociados a la vía se rebajará la cota del gálibo uniforme 15 mm.

## d) GB



Criterios de aplicación para este gálibo uniforme:

- . Radio mínimo en planta (Rmin): 250 m.
- . Radio mínimo de acuerdo vertical (Rv): 2000 m.
- . Sobrancho máximo: 30 mm.
- . Peralte máximo: 160 mm.
- . Insuficiencia de peralte máxima (Imax): 150 mm.
- . Vía en balasto, en mal estado
- . Catenaria EAC-350, altura de hilo de contacto (hf): 5,3 m.
- . Pantógrafo de ancho 1950 mm y trocadores no aislados

Notas al dibujo:

(\*): Borde de acera de evacuación en túneles

(\*\*): Borde de andén en estaciones: consultar cuadro (3.22)

(\*\*\*): Cota nominal, sin sobrancho

Zonas especiales:

A: Zona para paso del pantógrafo

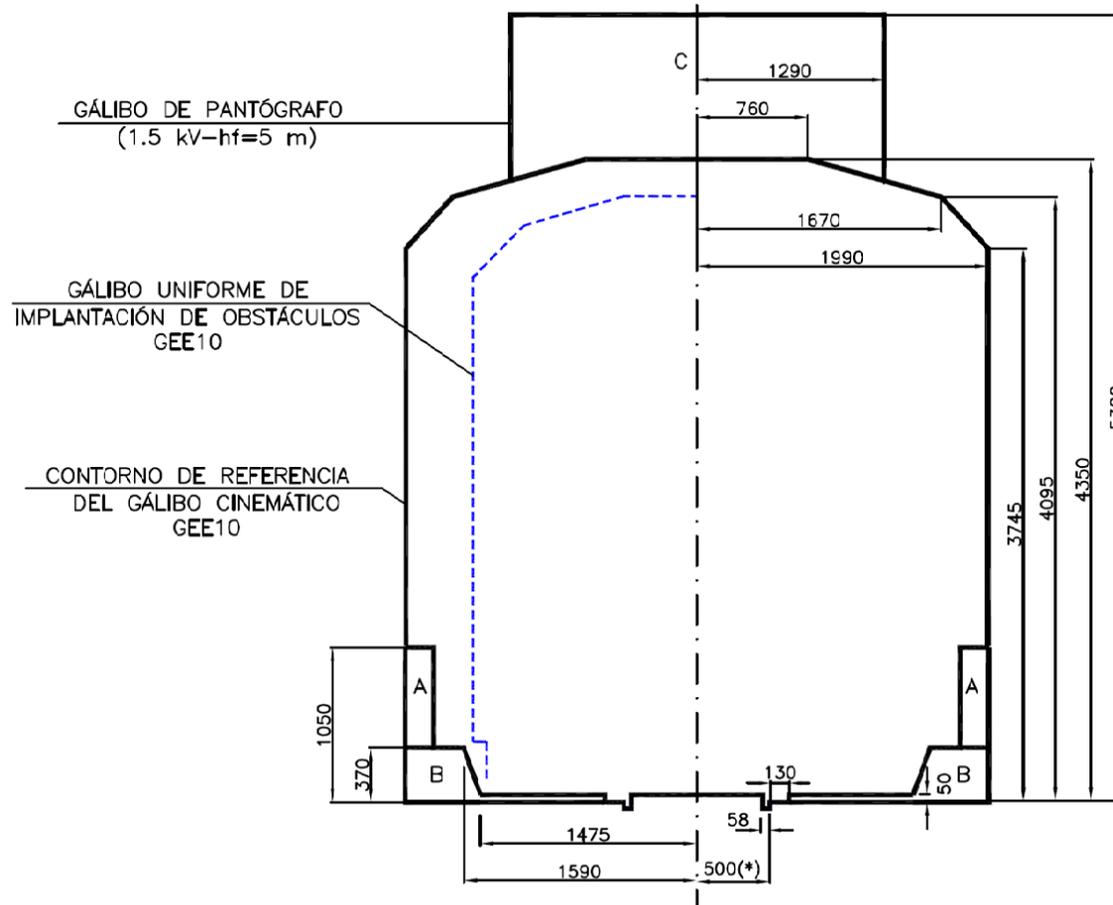
B: Zona para andén en estaciones

C: Zona para equipos de vía. Gálibos GI1, GI2 y GI3

D: Zona para equipos de vía. Gálibos GI1 y GI2

C+D: En el caso de elementos no asociados a la vía se rebajará la cota del gálibo uniforme 15 mm.

## e) GEE10



Criterios de aplicación para este gálibo uniforme:

- Radio mínimo en planta: 100 m
- Radio mínimo de acuerdo vertical: 2.000 m.
- Sobreancho máximo: 30 mm.
- Peralte máximo: 0,110 m.
- Insuficiencia de peralte máxima ( $I_{max}$ ): 0,070 m.
- Vía en balasto
- Catenaria CA-160
- Pantógrafo con ancho  $bw=850$  mm.
- Trocadores no aislados  $cw=0$
- A: Zona para andén en estaciones
- B: Zona para equipos de vía. En el caso de elementos no asociados a la vía se rebajará la cota del gálibo uniforme 15 mm.
- C: Zona para paso de pantógrafo

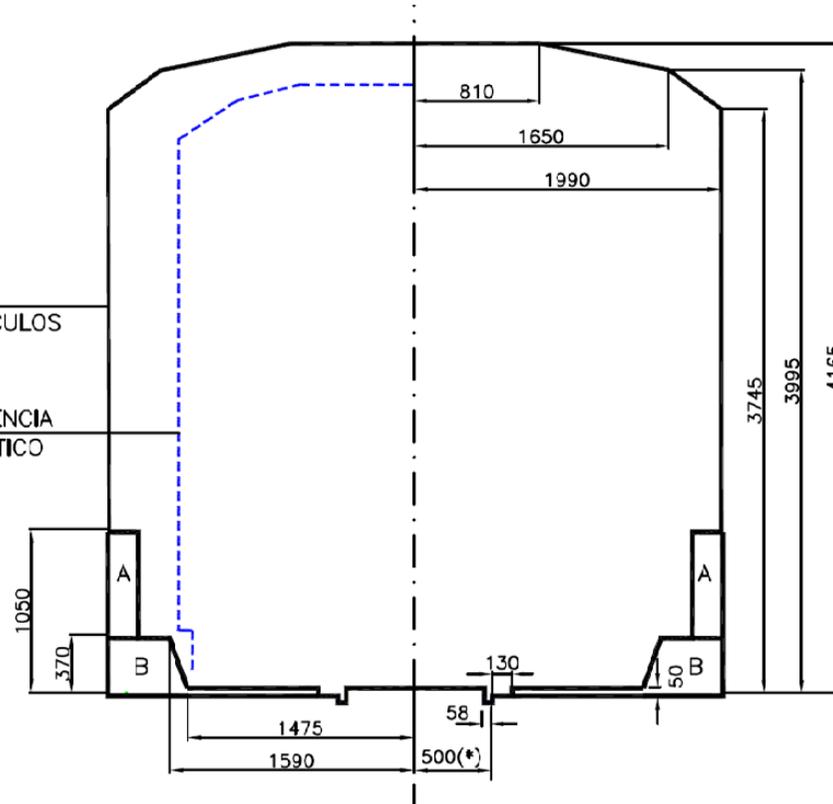
Nota al dibujo:

(\*): Cota nominal, sin sobreancho

## f) GED10

GÁLIBO UNIFORME DE  
IMPLANTACIÓN DE OBSTÁCULOS  
GED10

CONTORNO DE REFERENCIA  
DEL GÁLIBO CINEMÁTICO  
GED10



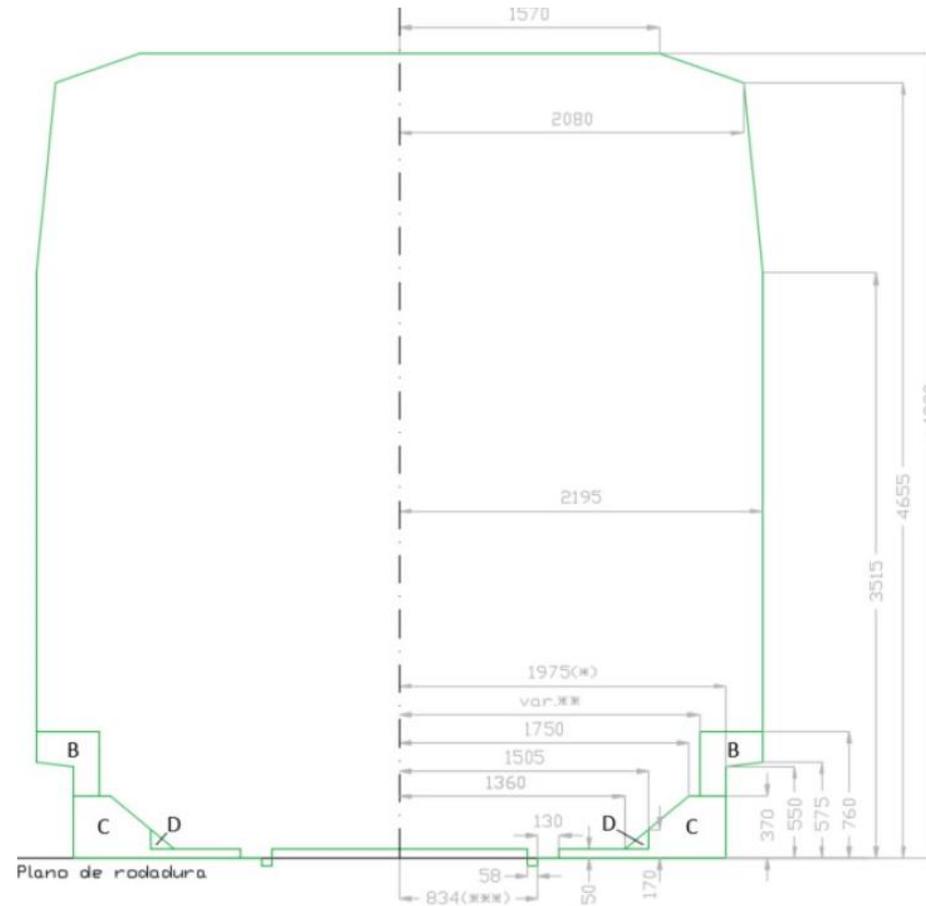
Criterios de aplicación para este gálibo uniforme:

- Radio mínimo en planta: 100 m.
- Radio mínimo de acuerdo vertical: 2.000 m.
- Sobrancho máximo: 30 mm.
- Peralte máximo: 0,110 m.
- Insuficiencia de peralte máxima ( $l_{max}$ ): 0,070 m.
- Vía en balasto
- A: Zona para andén en estaciones
- B: Zona para equipos de vía. En el caso de elementos no asociados a la vía se rebajará la cota del gálibo uniforme 15 mm.

Nota al dibujo:

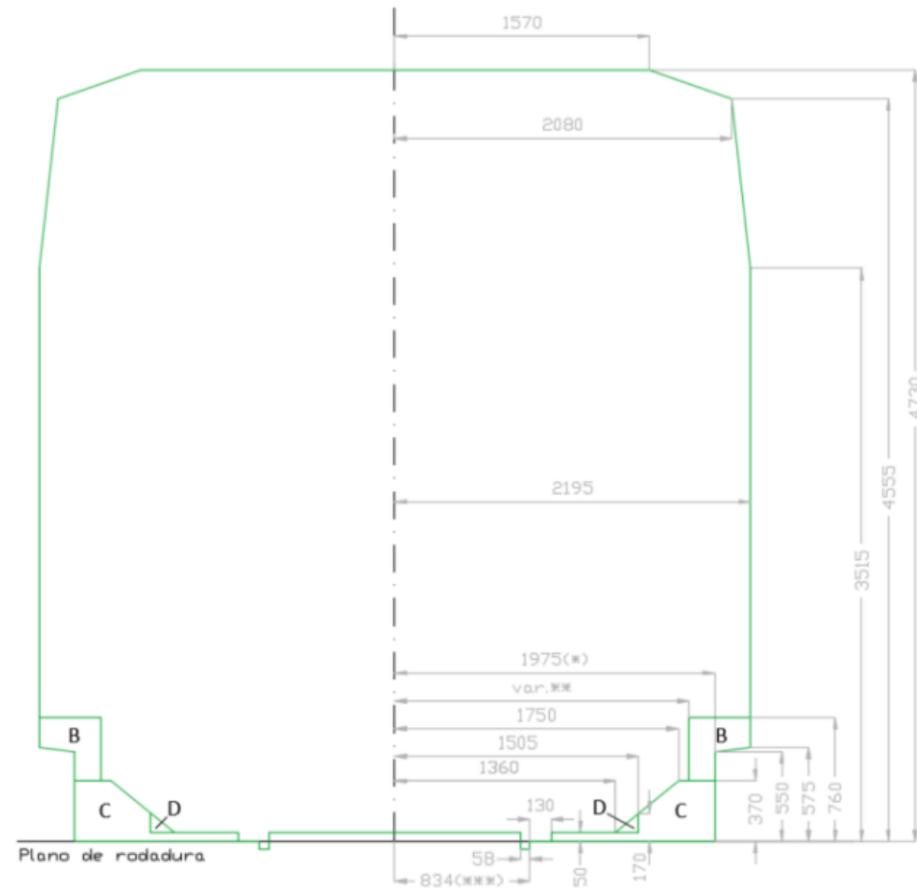
(\*): Cota nominal, sin sobrancho

**g) AF4.2 IP**



*Innovación en la determinación de gálibros ferroviarios mediante nube de puntos.*

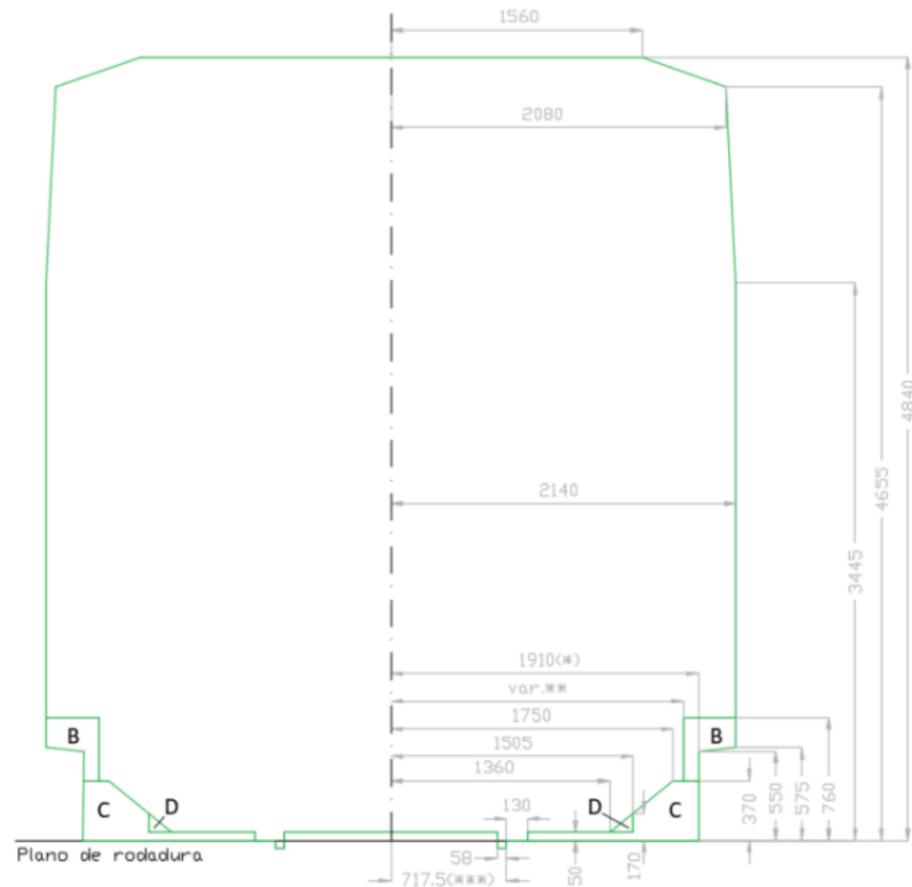
## h) AF4.1 IP



*Innovación en la determinación de gálibros ferroviarios mediante nube de puntos.*

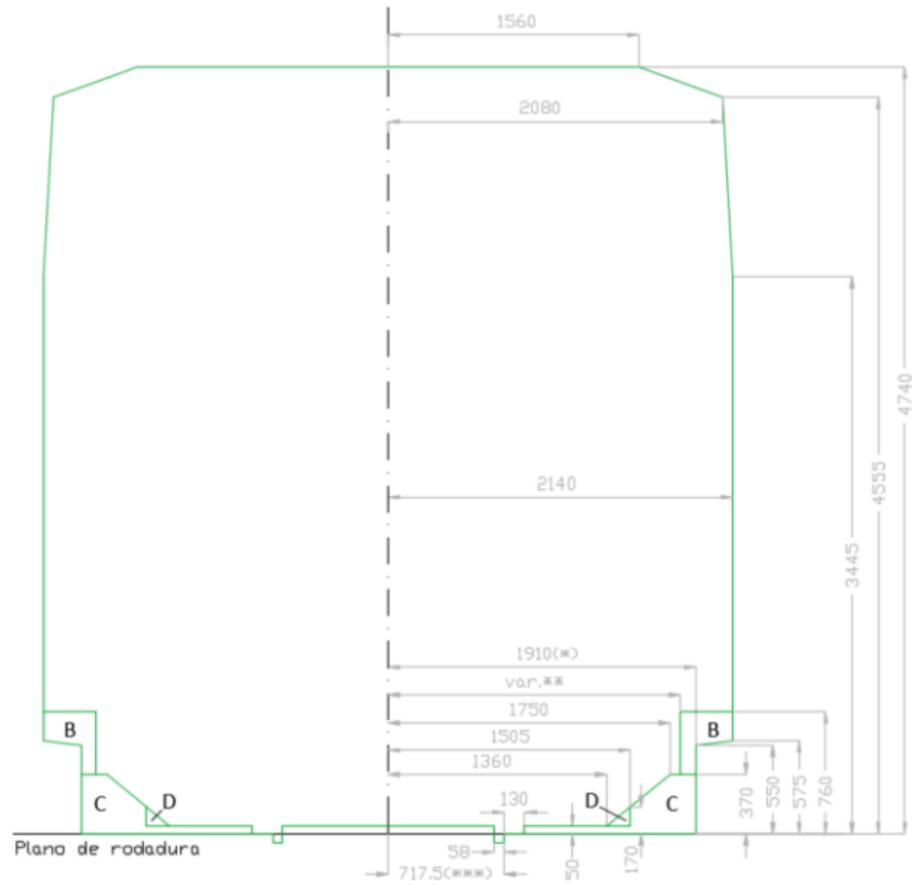


j) AF4.2 EP



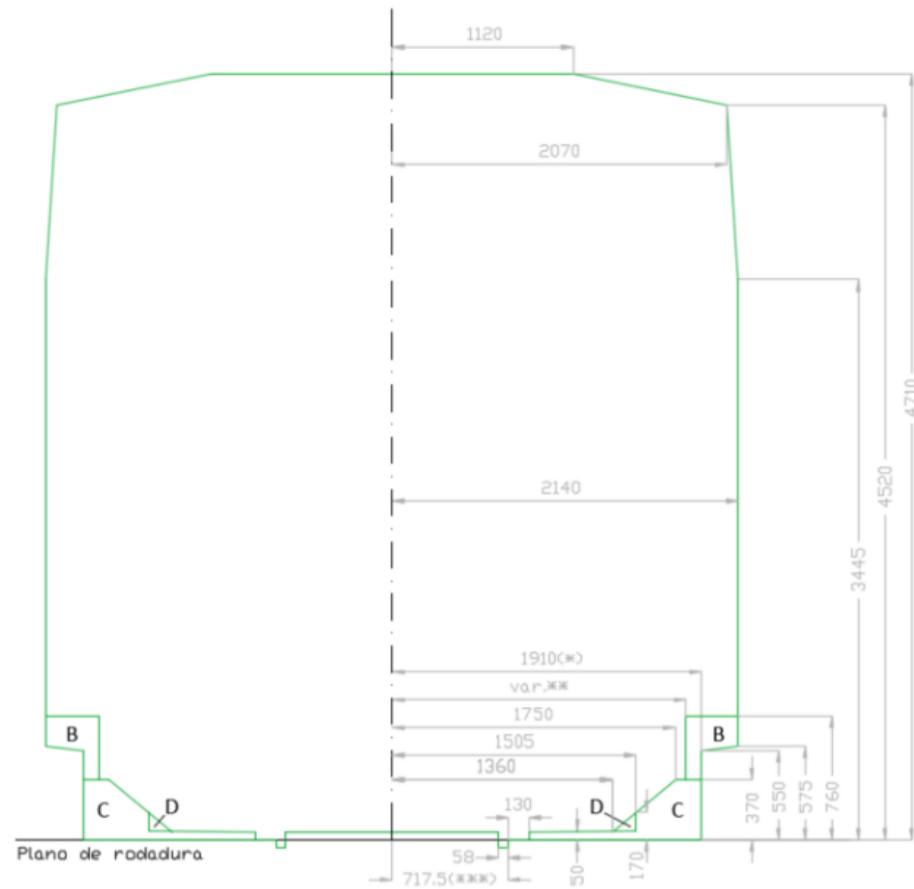
*Innovación en la determinación de gálbos ferroviarios mediante nube de puntos.*

**k) AF4.1 EP**



*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

# I) AF4.0 EP



*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

## **IV. Planos 2D**

---

*Innovación en la determinación de gálidos ferroviarios mediante nube de puntos.*

## ÍNDICE DE PLANOS

### **1. INSTRUCCIÓN FERROVIARIA DE GÁLIBOS Y AUTOPISTA FERROVIARIA**

- 1.1. GEC16 VS GEB16
- 1.2. GEC16 VS GEB16 VS AF 4.2-IP
- 1.3. GC VS GB
- 1.4. G.I.O UNIFORME VS GÁLIBO PANTÓGRAFO
- 1.5. GEC16 VS GEB1 6VS AF 4.2-IP VS AF 4.1-IP VS AF 4.0-IP
- 1.6. GC VS GB VS AF 4.2-EP VS AF 4.1-EP VS AF 4.0-EP

### **CASO DE ESTUDIO**

#### **2. PLANOS SITUACIÓN**

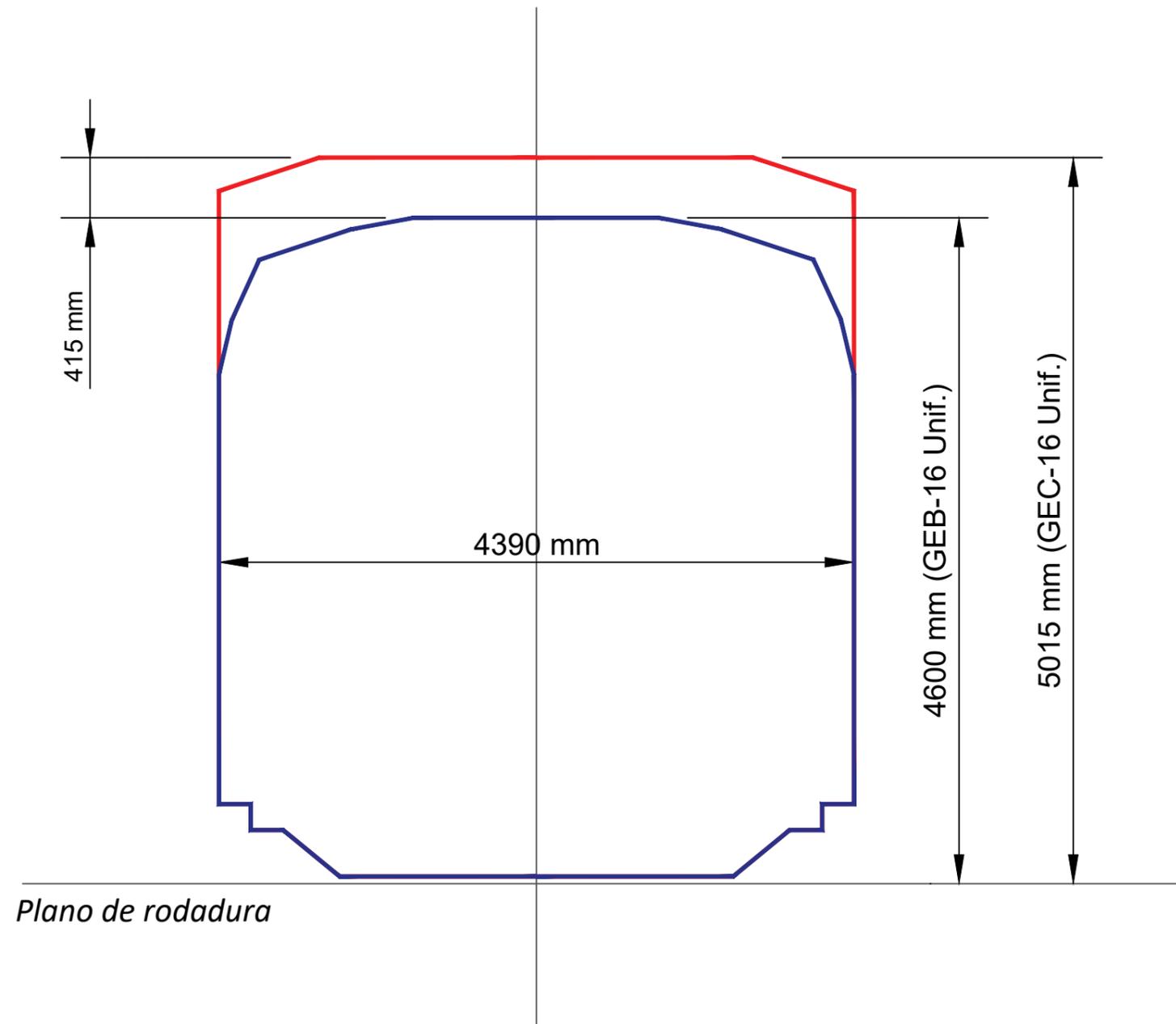
#### **3. SITUACIÓN EXISTENTE CON GÁLIBO GEC16**

- 3.1. ALINEACIÓN EXISTENTE
- 3.2. PERFIL LONGITUDINAL EXISTENTE
- 3.3. PERFILES TRANSVERSALES EXISTENTES
  - 3.3.1 TÚNEL DE LA ANCHADA CON GEC16
  - 3.3.2 PASO SUPERIOR CV-601 CON GEC16
  - 3.3.3 TRAMO METÁLICO PK CON GEC16
- 3.4. SECCIONES TIPO EXISTENTES
  - 3.4.1 CONFLICTO GEC16 VS TÚNEL DE LA ANCHADA
  - 3.4.2 CONFLICTO GEC16 VS PASO SUPERIOR CV-601

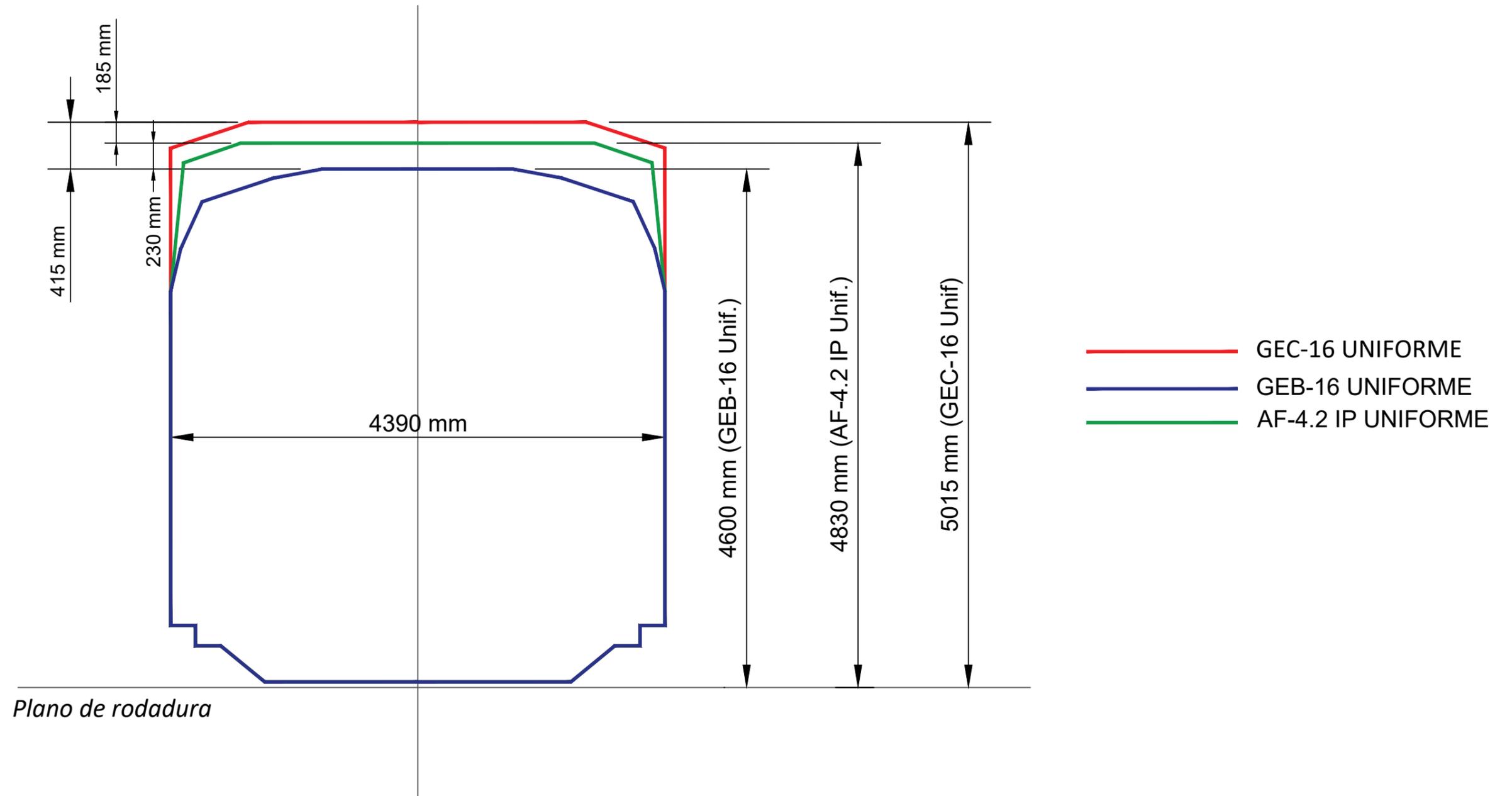
- 3.4.3 CONFLICTO GEC16 VS TRAMO METÁLICO

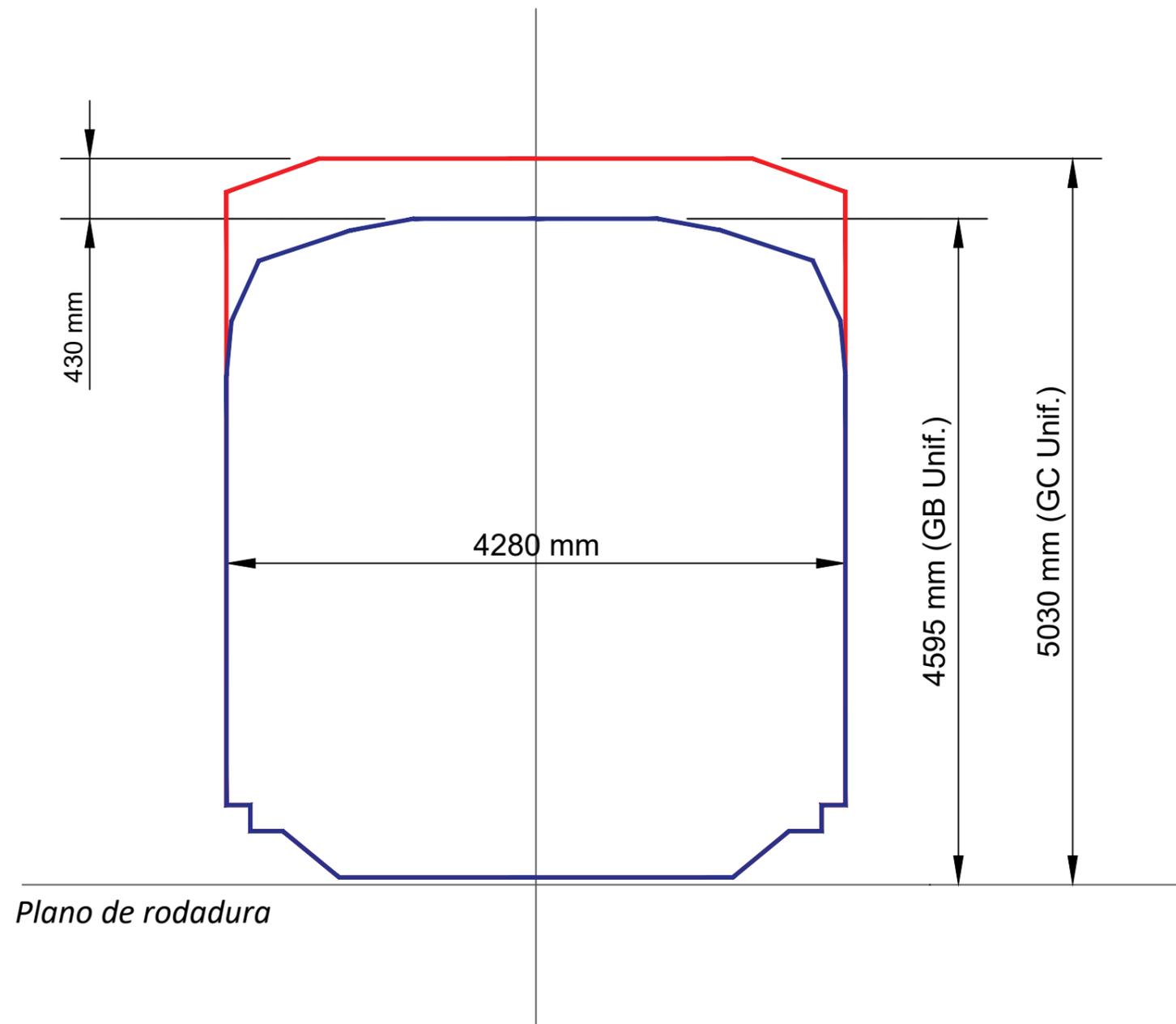
#### **4. SOLUCIONES PROYECTADAS**

- 4.1 ALINEACIÓN PROYECTADA
- 4.2 PERFIL LONGITUDINAL PROYECTADA
- 4.3 SOLUCIÓN CON GEC16
  - 4.3.1 PERFILES TRANSVERSALES PROYECTADA CON GEC16
  - 4.3.2 SECCIÓN TIPO PROYECTADA CON GEC16
- 4.4 SOLUCIÓN CON AF4.2-IP
  - 4.4.1 PERFILES TRANSVERSALES PROYECTADA CON AF4.2-IP
  - 4.4.2 SECCIÓN TIPO PROYECTADA CON AF4.2-IP

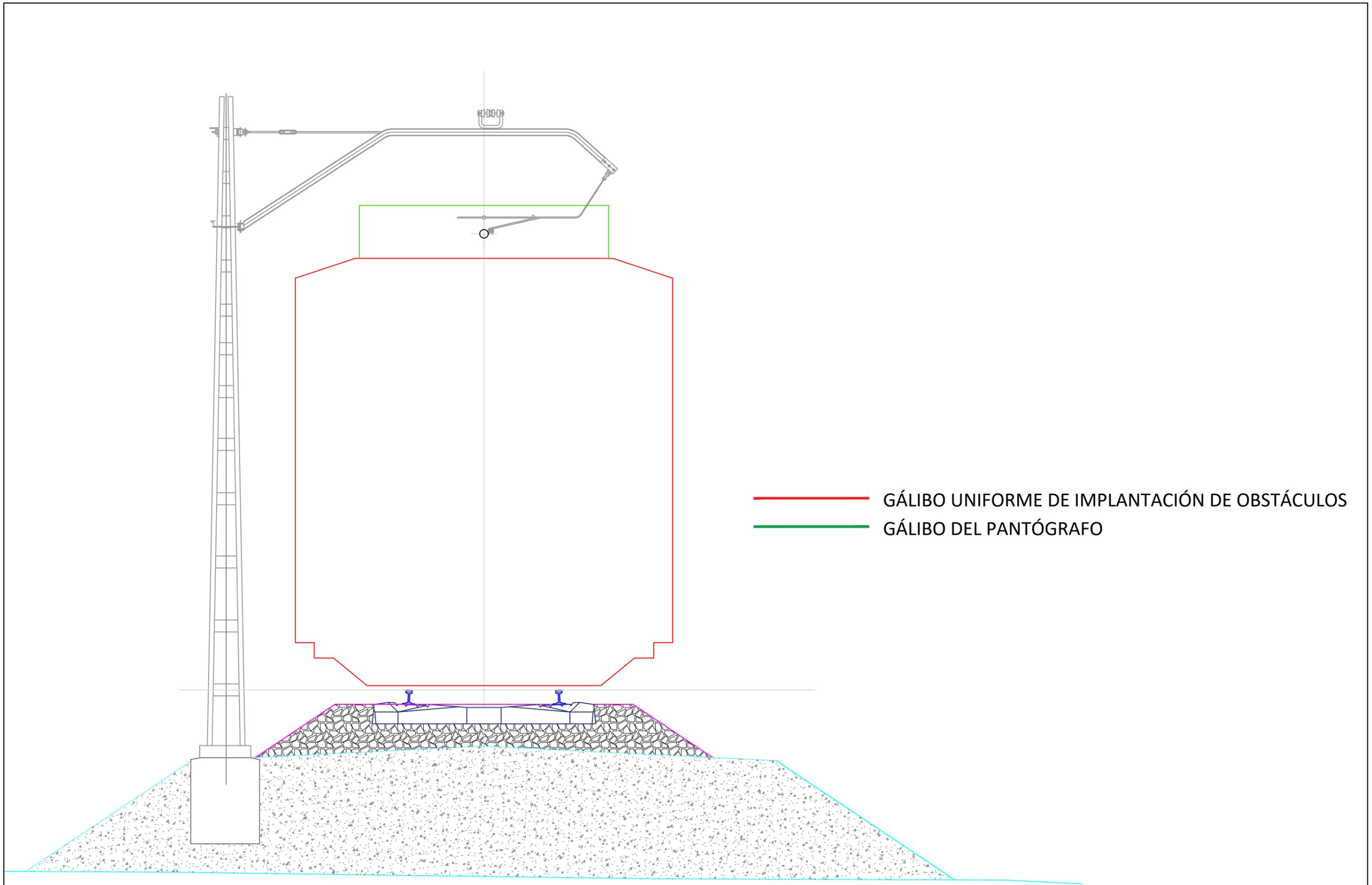


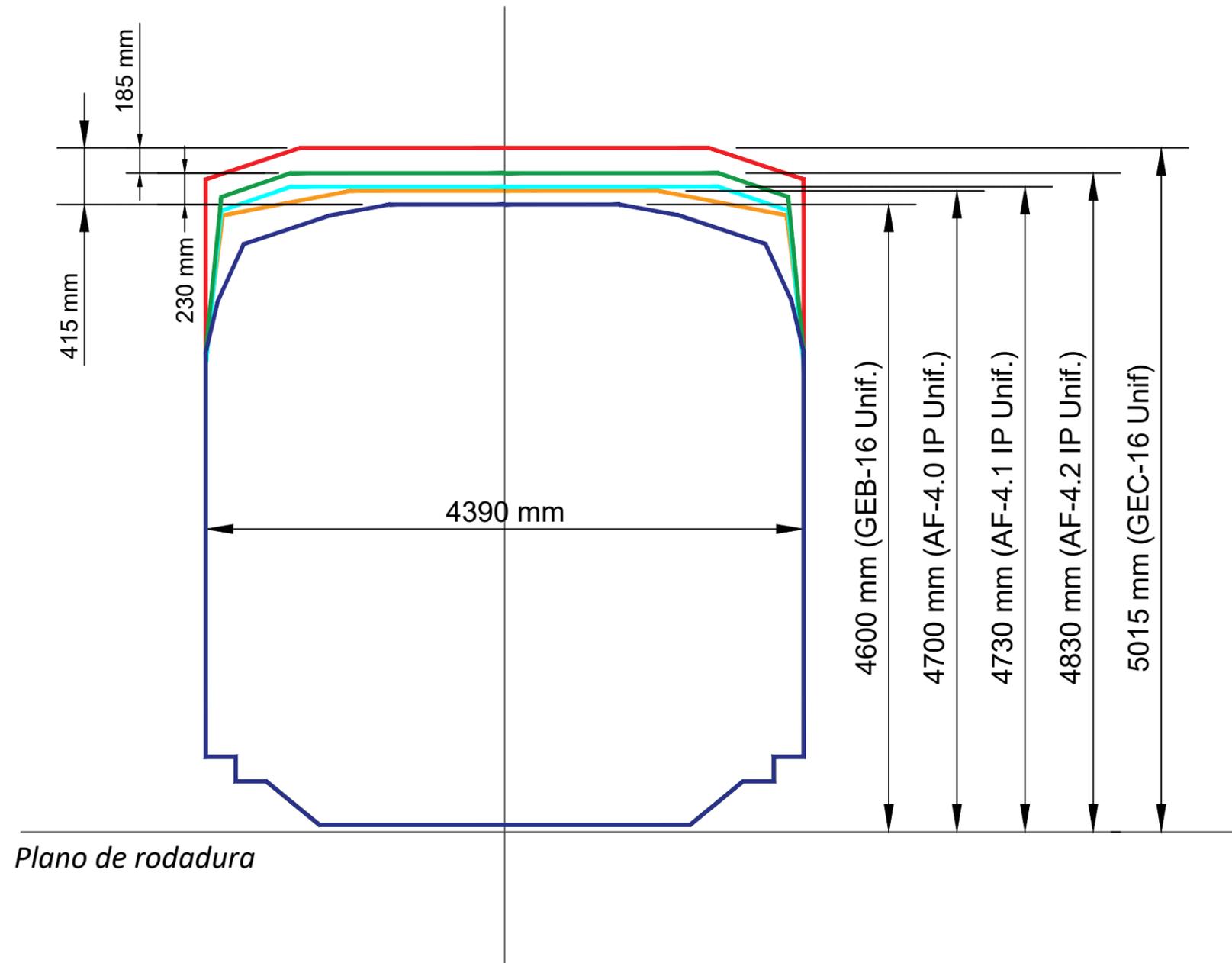
— GEC-16 UNIFORME  
 — GEB-16 UNIFORME



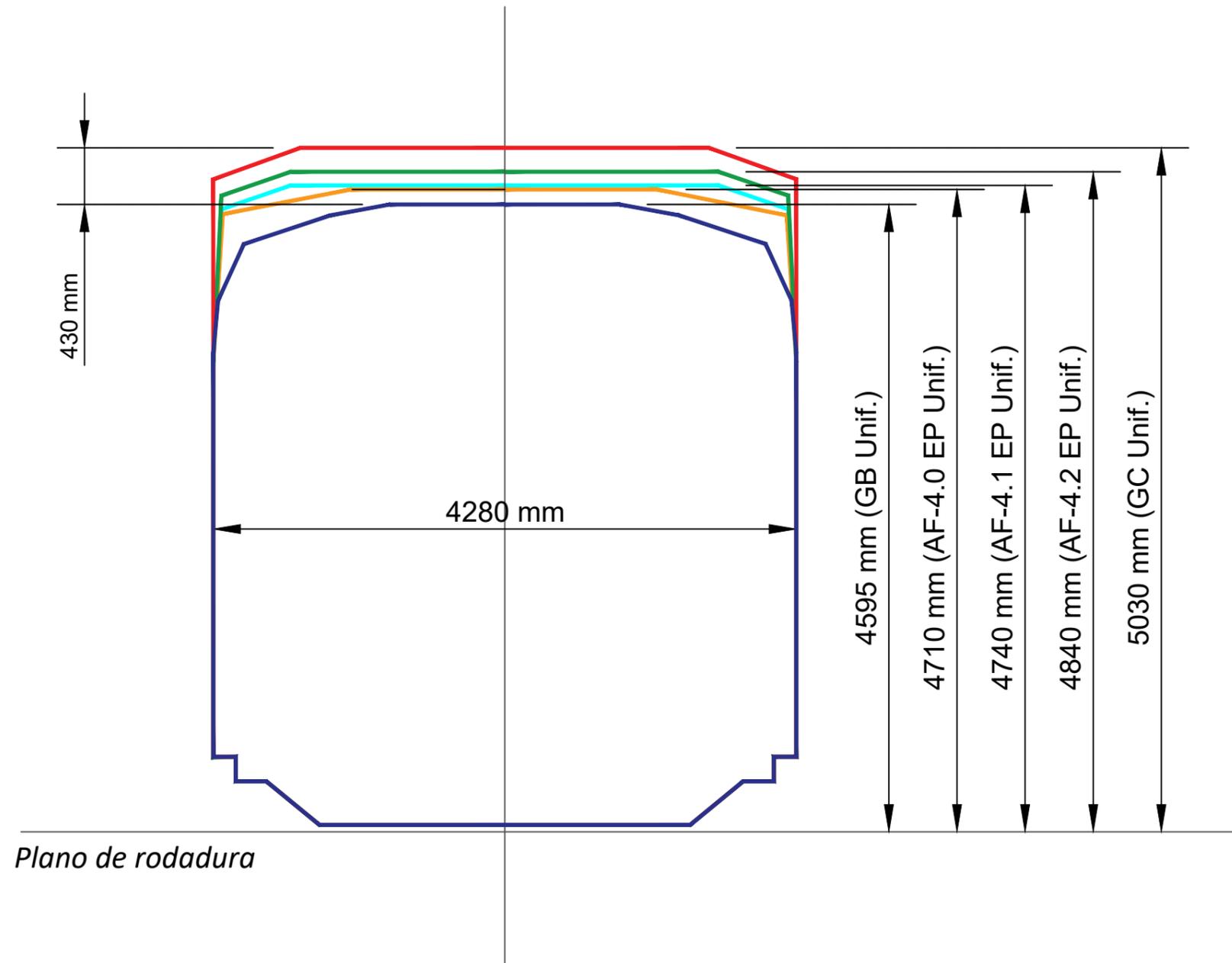


— GC UNIFORME  
 — GB UNIFORME

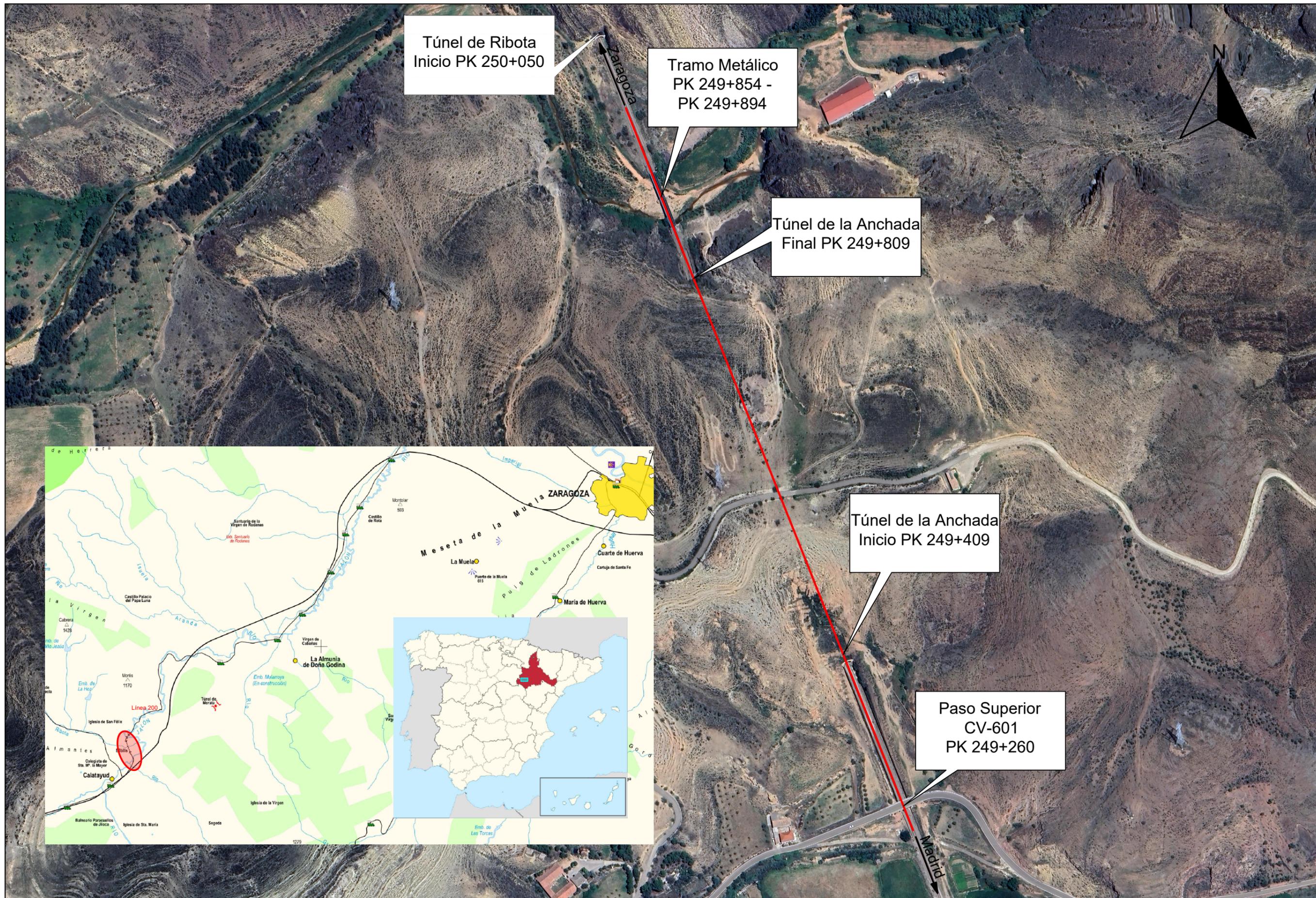




- GEC-16 UNIFORME
- GEB-16 UNIFORME
- AF-4.2 IP UNIFORME
- AF-4.1 IP UNIFORME
- AF-4.0 IP UNIFORME



- GC UNIFORME
- GB UNIFORME
- AF-4.2 EP UNIFORME
- AF-4.1 EP UNIFORME
- AF-4.0 EP UNIFORME



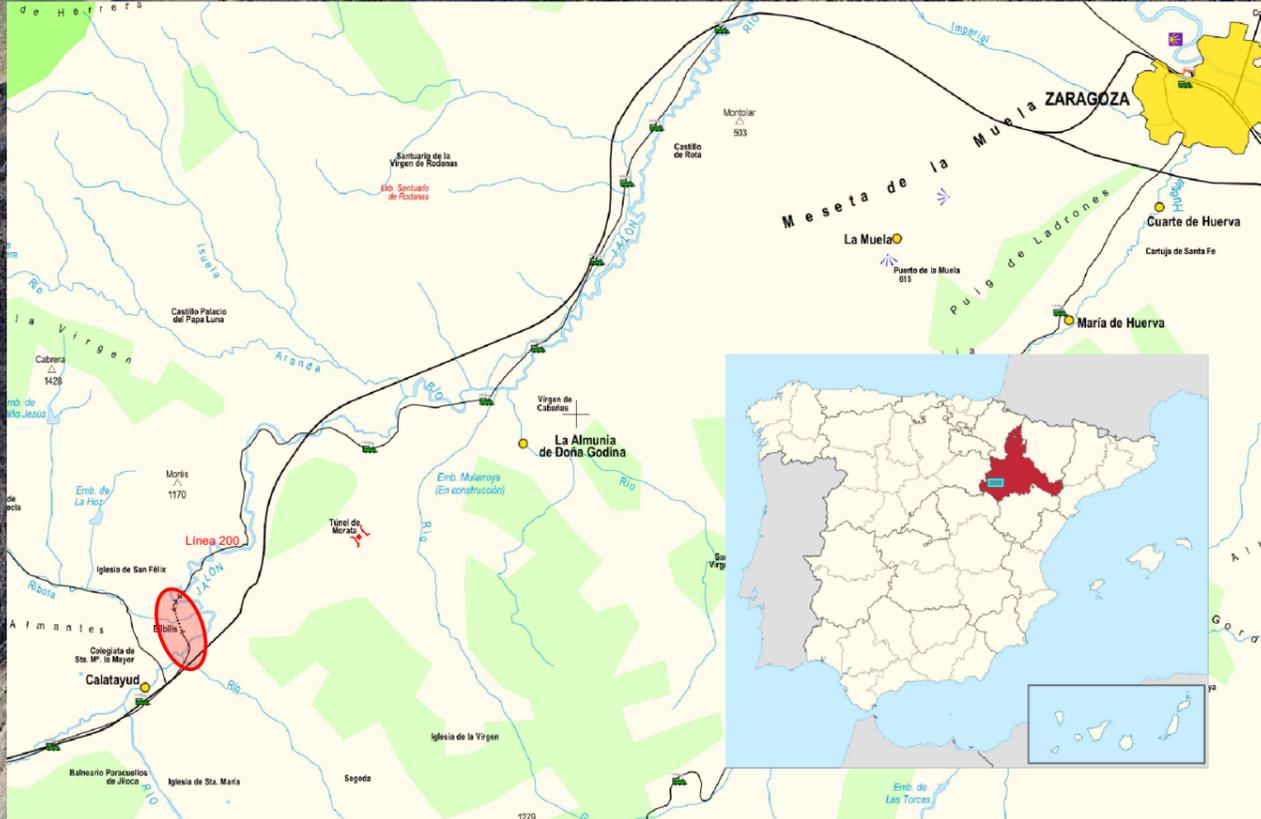
Túnel de Ribota  
Inicio PK 250+050

Tramo Metálico  
PK 249+854 -  
PK 249+894

Túnel de la Anchada  
Final PK 249+809

Túnel de la Anchada  
Inicio PK 249+409

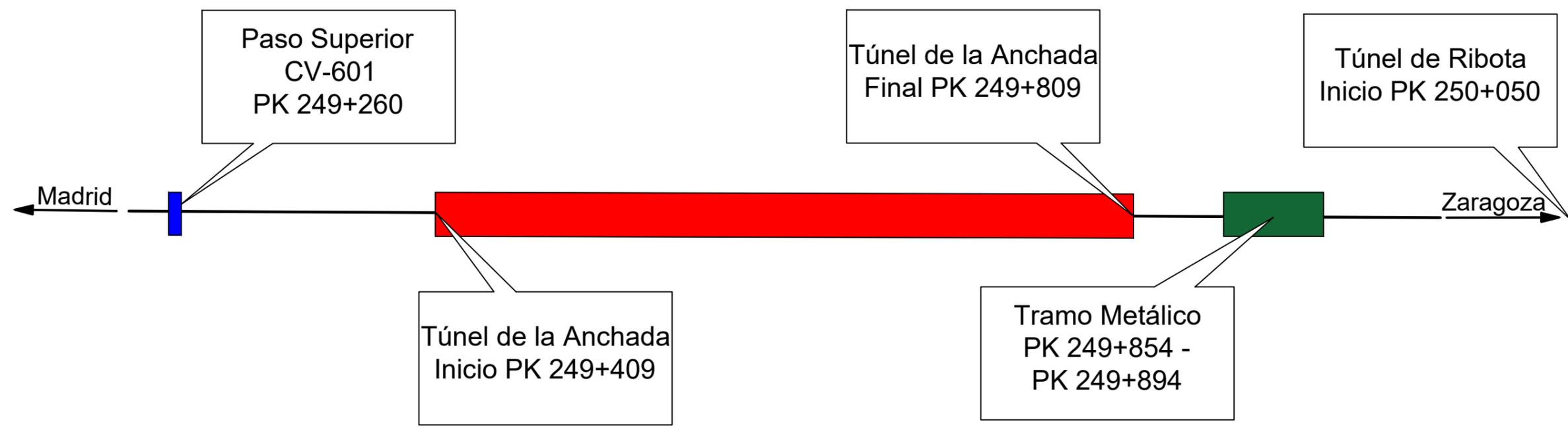
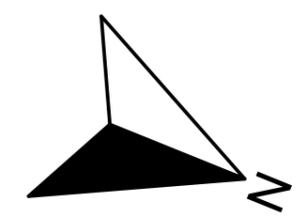
Paso Superior  
CV-601  
PK 249+260



		UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID  MÁSTER DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	AUTOR DEL ESTUDIO: <b>JORGE ESPADA HERNÁNDEZ</b>	TÍTULO DEL ESTUDIO: <b>INNOVACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE GÁLIBOS          FERROVIARIOS MEDIANTE NUBE DE PUNTOS</b>	FECHA: <b>JUNIO 2024</b>	ESCALA: <b>N/D</b>	TÍTULO DEL PLANO: <b>PLANO DE SITUACIÓN</b>	Nº PLANO: <b>2</b>	HOJA PLANO: <b>1 DE 3</b>
--	--	--	---	---	-----------------------------	-----------------------	--	-----------------------	------------------------------

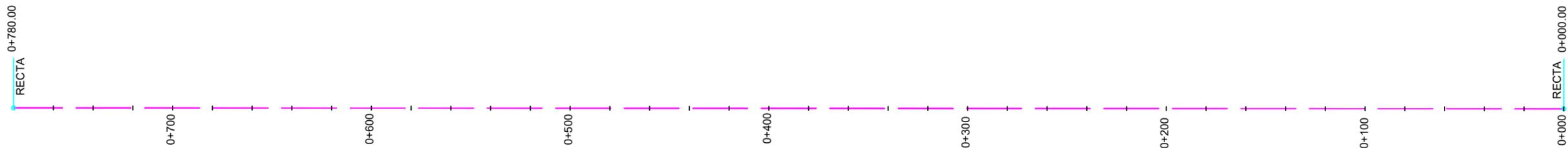


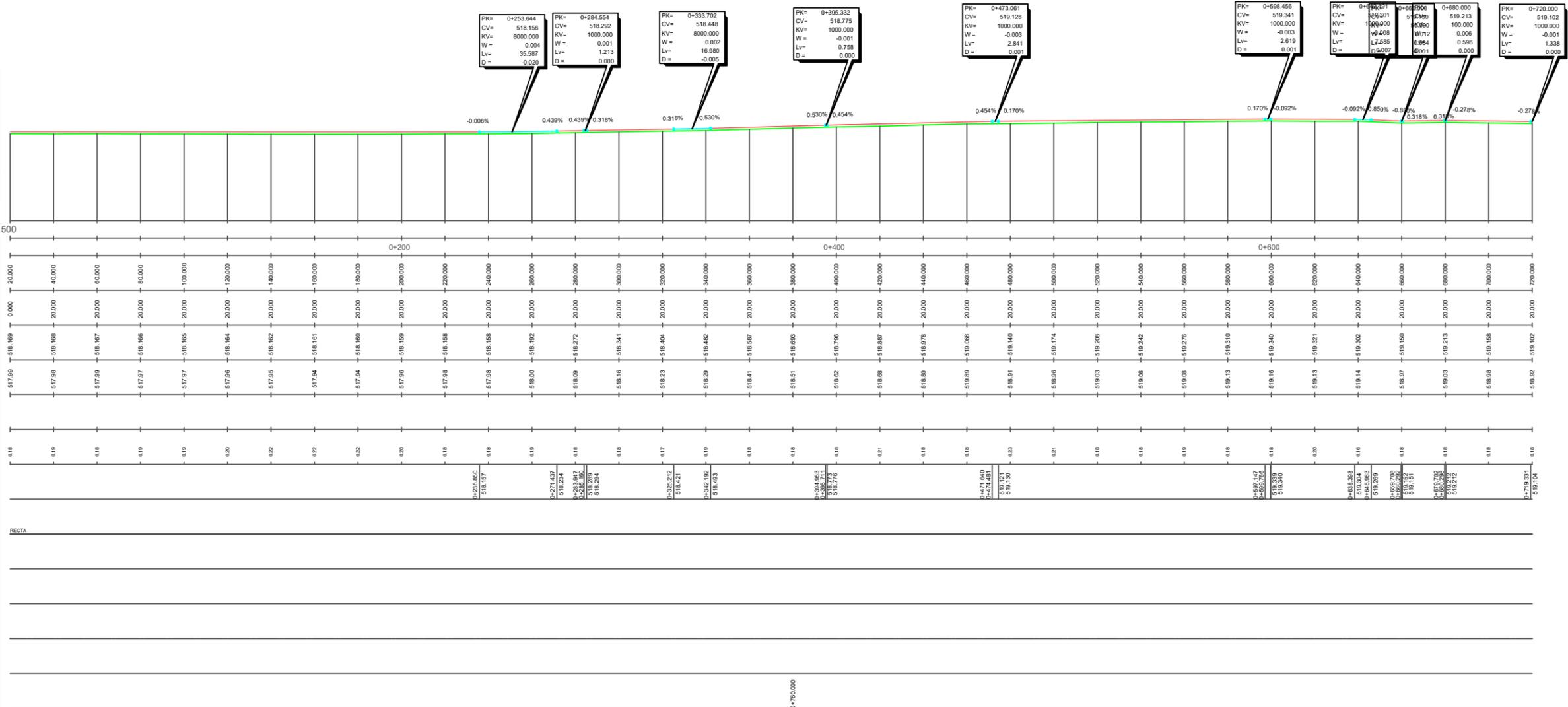
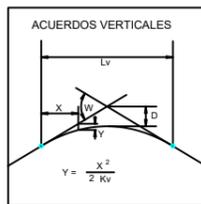
		UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID MÁSTER DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	AUTOR DEL ESTUDIO: JORGE ESPADA HERNÁNDEZ	TÍTULO DEL ESTUDIO: INNOVACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE GÁLIBOS FERROVIARIOS MEDIANTE NUBE DE PUNTOS	FECHA: JUNIO 2024	ESCALA: N/D	TÍTULO DEL PLANO: PLANO DE SITUACIÓN	Nº PLANO: 2	HOJA PLANO: 2 DE 3
--	--	--	--	--	----------------------	----------------	---	----------------	-----------------------





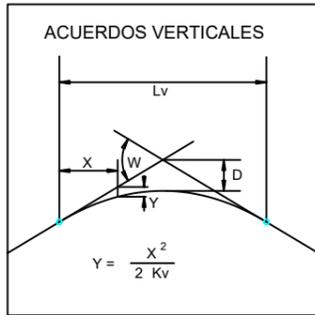
		UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID MÁSTER DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	AUTOR DEL ESTUDIO: <b>JORGE ESPADA HERNÁNDEZ</b>	TÍTULO DEL ESTUDIO: <b>INNOVACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE GÁLIBOS          FERROVIARIOS MEDIANTE NUBE DE PUNTOS</b>	FECHA: <b>JUNIO 2024</b>	ESCALA: <b>N/D</b>	TÍTULO DEL PLANO: <b>SITUACIÓN EXISTENTE CON GÁLIBO GEC16          ALINEACIÓN EXISTENTE</b>	Nº PLANO: <b>3.1</b>	HOJA PLANO: <b>1 DE 2</b>
--	--	--	---	---	-----------------------------	-----------------------	--	-------------------------	------------------------------



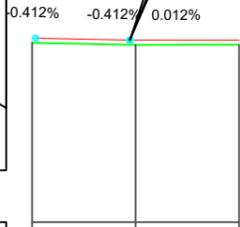


PLANO DE COMPARACION

P.K.		500	
DISTANCIAS	AL ORIGEN	0+000	0+200
	PARCIALES	0.000	20.000
ORDENADAS	RASANTE	517.99	518.169
	TERRENO	517.98	518.168
COTAS ROJAS	DESMONTE	0.18	0.19
	TERRAPLEN	0.19	0.18
ACUERDOS VERTICALES		RECTA	
DIAGRAMA DE CURVATURAS			
DIAGRAMA DE PERALTES	BORDE DERECHO	---	
	BORDE IZQUIERDO	---	



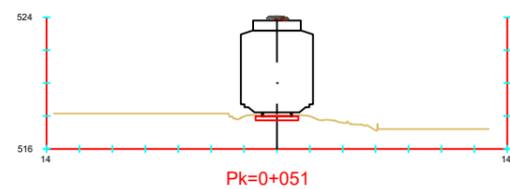
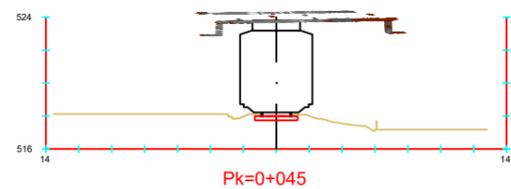
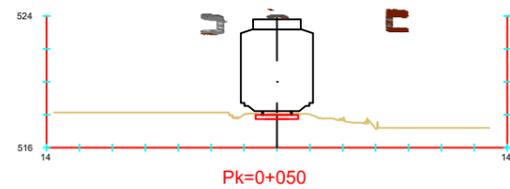
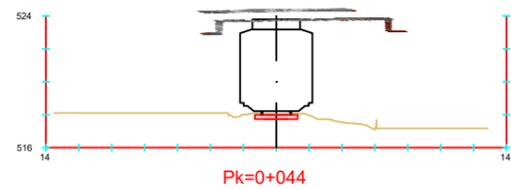
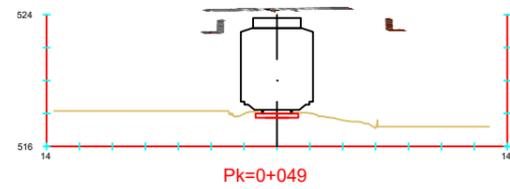
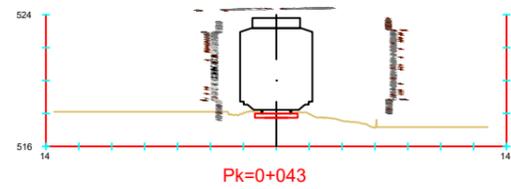
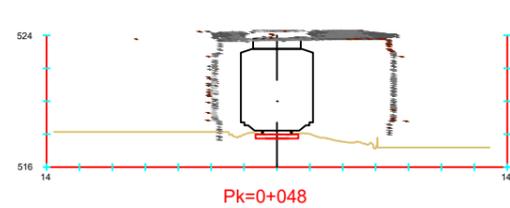
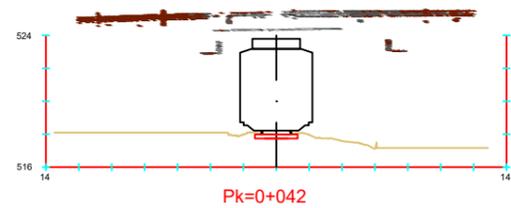
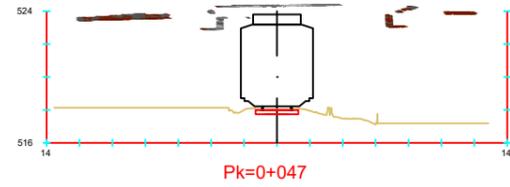
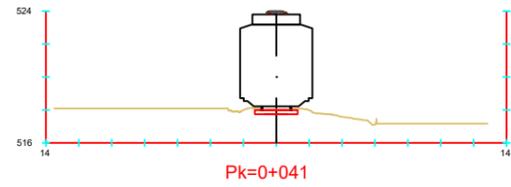
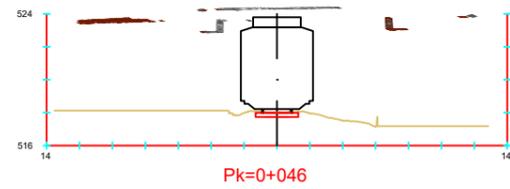
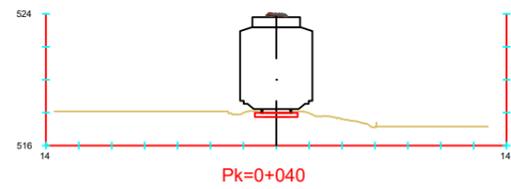
PK= 0+738.896  
 CV= 519.024  
 KV= 50.000  
 W = 0.004  
 Lv= 0.212  
 D = -0.000



PLANO DE COMPARACION		512		
P.K.				
DISTANCIAS	AL ORIGEN	720.000	740.000	760.000
	PARCIALES	20.000	20.000	20.000
ORDENADAS	RASANTE	519.102	519.024	519.027
	TERRENO	518.92	518.84	518.85
COTAS ROJAS	DESMONTE			
	TERRAPLEN	0.85	0.85	0.85
ACUERDOS VERTICALES		0+720.689 519.089	0+738.790 0+739.002 519.025 519.024	
DIAGRAMA DE CURVATURAS		RECTA		
DIAGRAMA DE PERALTES	BORDE DERECHO	—		
	BORDE IZQUIERDO	- - -		

0+779.999  
RECTA









Área del conflicto: 2,1 m<sup>2</sup>

Perímetro del túnel La Anchada

GEC16

Base de balasto existente

Pasillo existente

Traviesa existente

Plataforma existente



UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID  
MÁSTER DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

AUTOR DEL ESTUDIO:

JORGE ESPADA HERNÁNDEZ

TÍTULO DEL ESTUDIO:

INNOVACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE GÁLIBOS  
FERROVIARIOS MEDIANTE NUBE DE PUNTOS

FECHA:

JUNIO 2024

ESCALA:

N/D

TÍTULO DEL PLANO:

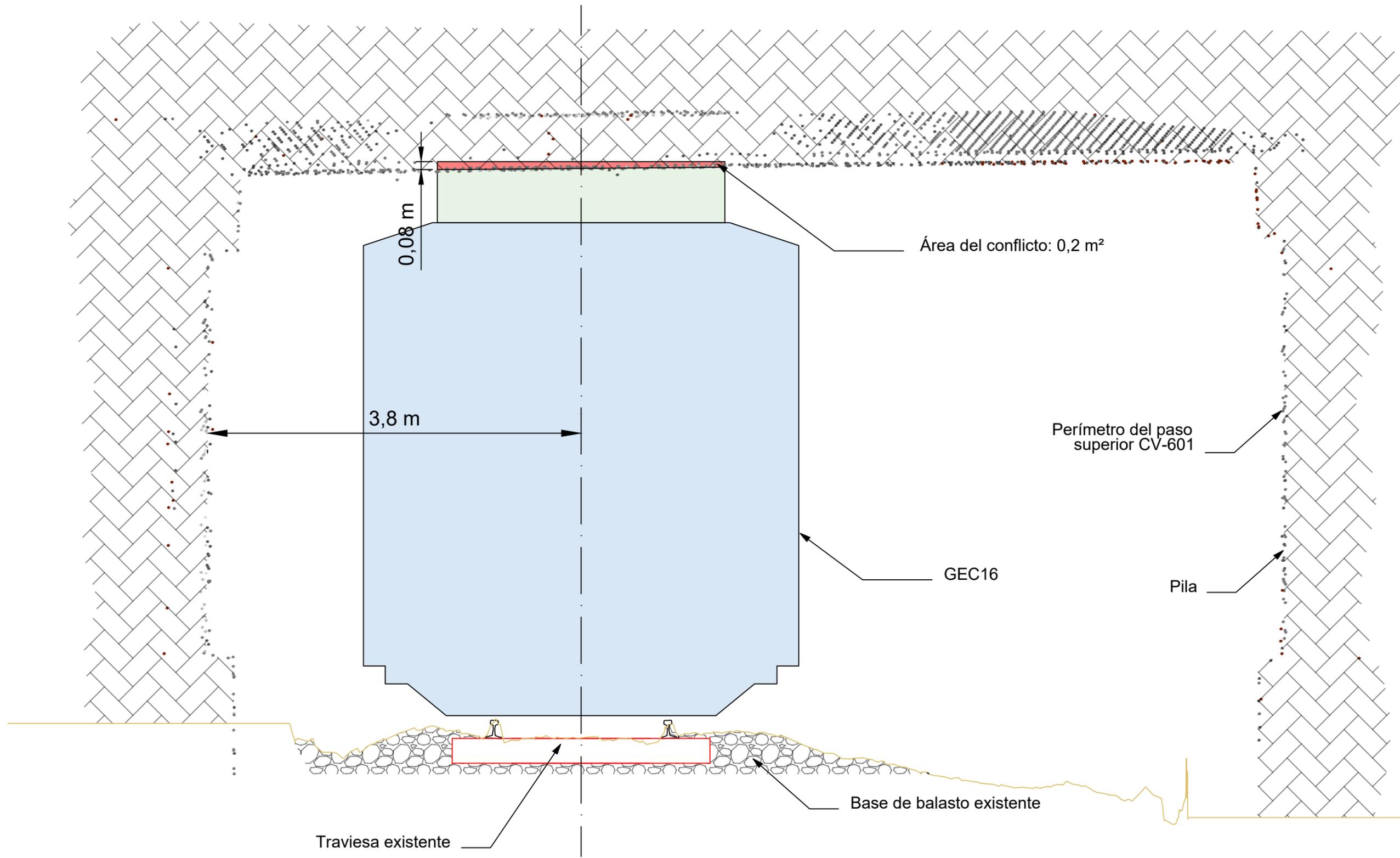
SECCIONES TIPO EXISTENTES  
CONFLICTO GEC16 VS TÚNEL DE LA ANCHADA

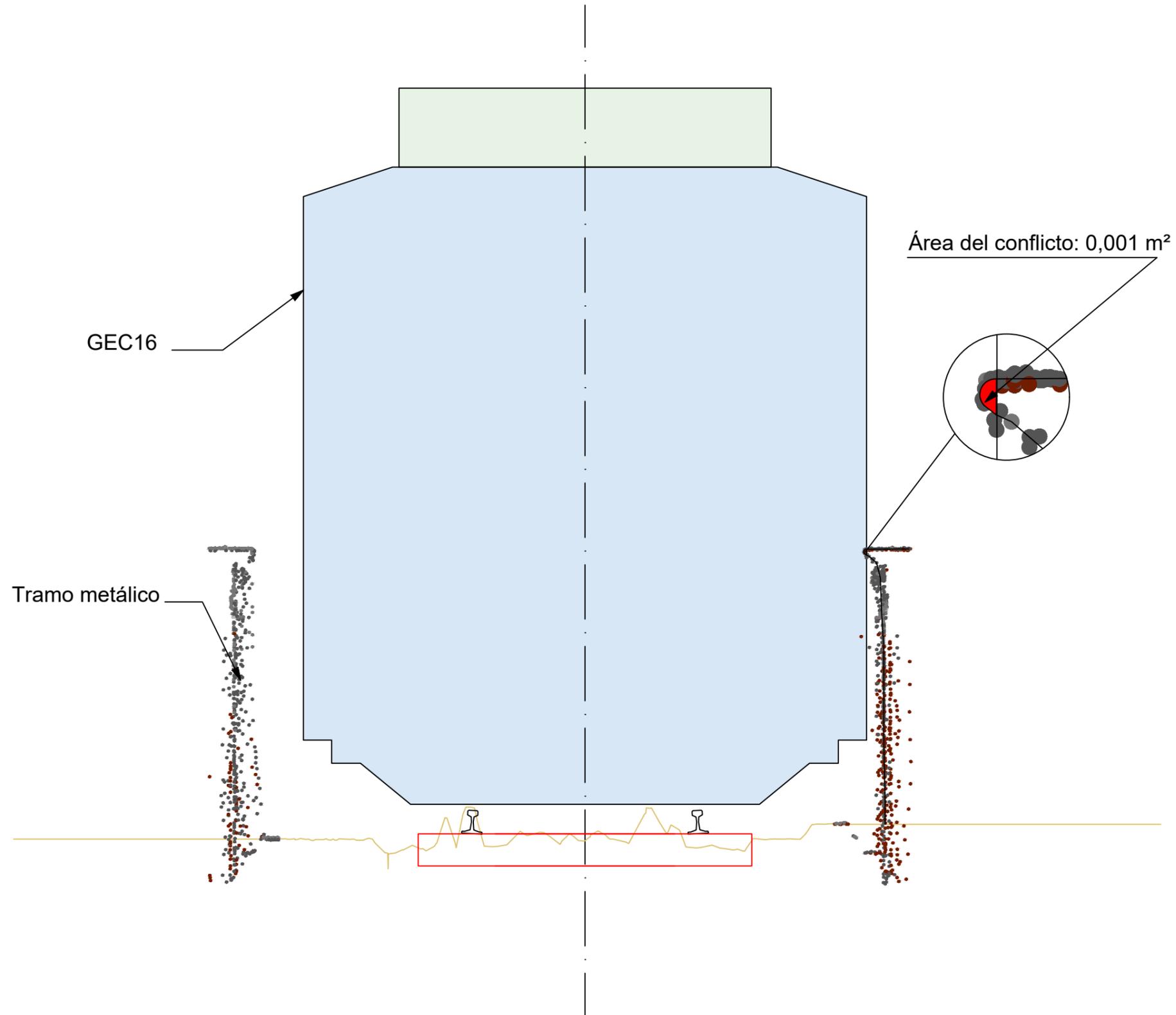
Nº PLANO:

3.4.1

HOJA PLANO:

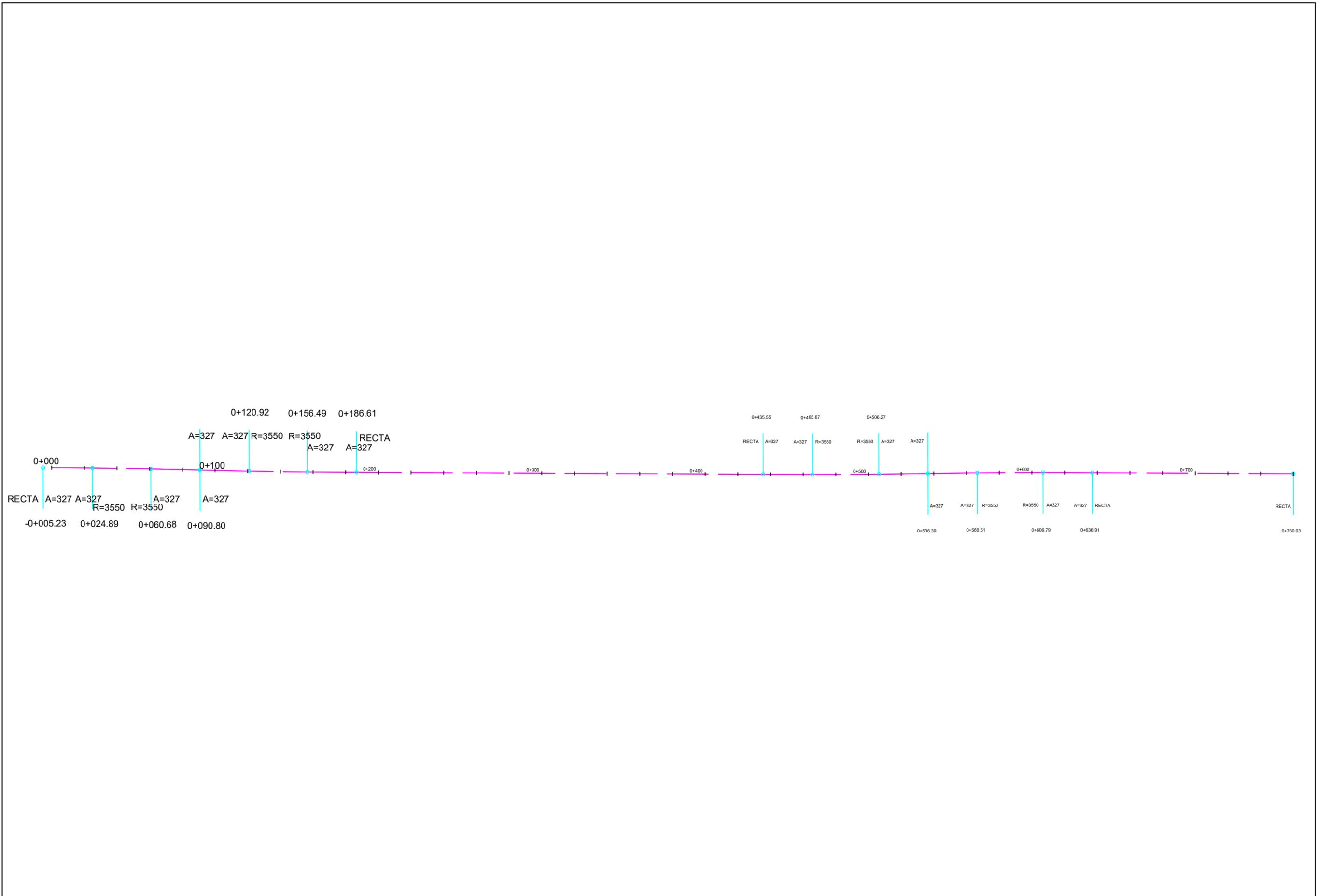
1 DE 1

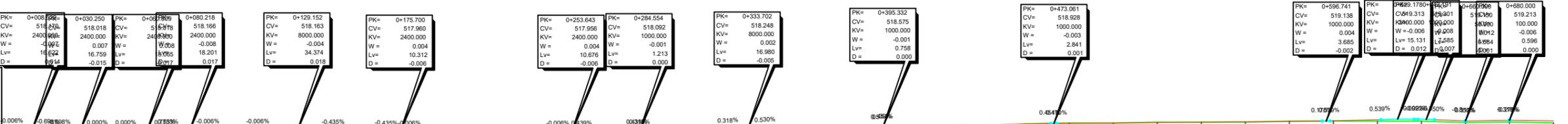
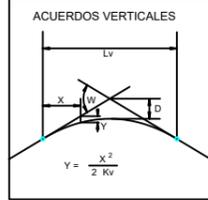






	<p>UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID</p> <p>MÁSTER DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS</p>	<p>AUTOR DEL ESTUDIO:</p> <p>JORGE ESPADA HERNÁNDEZ</p>	<p>TÍTULO DEL ESTUDIO:</p> <p>INNOVACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE GÁLIBOS FERROVIARIOS MEDIANTE NUBE DE PUNTOS</p>	<p>FECHA:</p> <p>JUNIO 2024</p>	<p>ESCALA:</p> <p>N/D</p>	<p>TÍTULO DEL PLANO:</p> <p>SOLUCIONES PROYECTADAS ALINEACIÓN PROYECTADA</p>	<p>Nº PLANO:</p> <p>4.1</p>	<p>HOJA PLANO:</p> <p>1 DE 2</p>
--	--	---	--	---------------------------------	---------------------------	--	-----------------------------	----------------------------------





PLANO DE COMPARACION	
P.K.	
DISTANCIAS	AL ORIGEN
	PARCIALES
ORDENADAS	RASANTE
	TERRENO
COTAS ROJAS	DESMONTE
	TERRAPLEN
ACUERDOS VERTICALES	
DIAGRAMA DE CURVATURAS	
DIAGRAMA DE PERALTES	BORDE DERECHO
	BORDE IZQUIERDO

0+000	0+200	0+400	0+600	0+800	0+1000	0+1200	0+1400	0+1600	0+1800	0+2000	0+2200	0+2400	0+2600	0+2800	0+3000	0+3200	0+3400	0+3600	0+3800	0+4000	0+4200	0+4400	0+4600	0+4800	0+5000	0+5200	0+5400	0+5600	0+5800	0+6000	0+6200	0+6400	0+6600	0+6800	0+7000		
20.00	40.00	60.00	80.00	100.00	120.00	140.00	160.00	180.00	200.00	220.00	240.00	260.00	280.00	300.00	320.00	340.00	360.00	380.00	400.00	420.00	440.00	460.00	480.00	500.00	520.00	540.00	560.00	580.00	600.00	620.00	640.00	660.00	680.00	700.00			
518.99	518.99	518.03	518.148	518.165	518.160	518.113	518.028	517.960	517.956	518.00	517.956	517.897	517.884	518.072	518.11	518.22	518.19	518.18	518.29	518.46	518.51	518.56	518.68	518.86	518.96	518.95	519.03	519.03	519.05	519.13	519.15	519.13	519.13	519.00	519.05	519.06	
					0.01	0.04		0.04		0.02	0.01	0.04	0.08		0.01	0.01	0.09	0.03		0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	
0+000.000	0+004.888	0+008.633	0+009.693	0+010.924	0+016.488	0+016.609	0+024.305	0+026.962	0+027.979	0+030.512	0+032.102	0+034.293	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	0+035.521	
RECTA	R=3550	A=327	A=327	R=3550	A=327	RECTA	A=327	R=3550	A=327	A=327	R=3550	A=327	R=3550	A=327	A=327																						
80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%	80.0.00%



UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID  
MÁSTER DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

AUTOR DEL ESTUDIO:  
JORGE ESPADA HERNÁNDEZ

TÍTULO DEL ESTUDIO:  
INNOVACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE GÁLIBOS FERROVIARIOS MEDIANTE NUBE DE PUNTOS

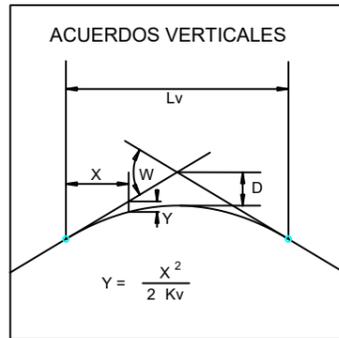
FECHA:  
JUNIO 2024

ESCALA:  
N/D

TÍTULO DEL PLANO:  
SOLUCIONES PROYECTADAS  
PERFIL LONGITUDINAL PROYECTADO

Nº PLANO:  
4.2

HOJA PLANO:  
1 DE 2



PK=	0+720.000	PK=	0+738.896
CV=	519.102	CV=	519.024
KV=	1000.000	KV=	50.000
W =	-0.001	W =	0.004
Lv=	1.338	Lv=	0.212
D =	0.000	D =	-0.000



PLANO DE COMPARACION		512	
P.K.			0+800
DISTANCIAS	AL ORIGEN	700.000	
	PARCIALES	720.000	
ORDENADAS	RASANTE		
	TERRENO	518.98	
COTAS ROJAS	DESMONTE		
	TERRAPLEN	0.18	
ACUERDOS VERTICALES		0+719.331 0+720.669	0+738.790 0+739.002
DIAGRAMA DE CURVATURAS		RECTA	RECTA
DIAGRAMA DE PERALTES		BD:0.00%	BI:0.00%



UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID  
MÁSTER DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

AUTOR DEL ESTUDIO:  
JORGE ESPADA HERNÁNDEZ

TÍTULO DEL ESTUDIO:  
INNOVACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE GÁLIBOS  
FERROVIARIOS MEDIANTE NUBE DE PUNTOS

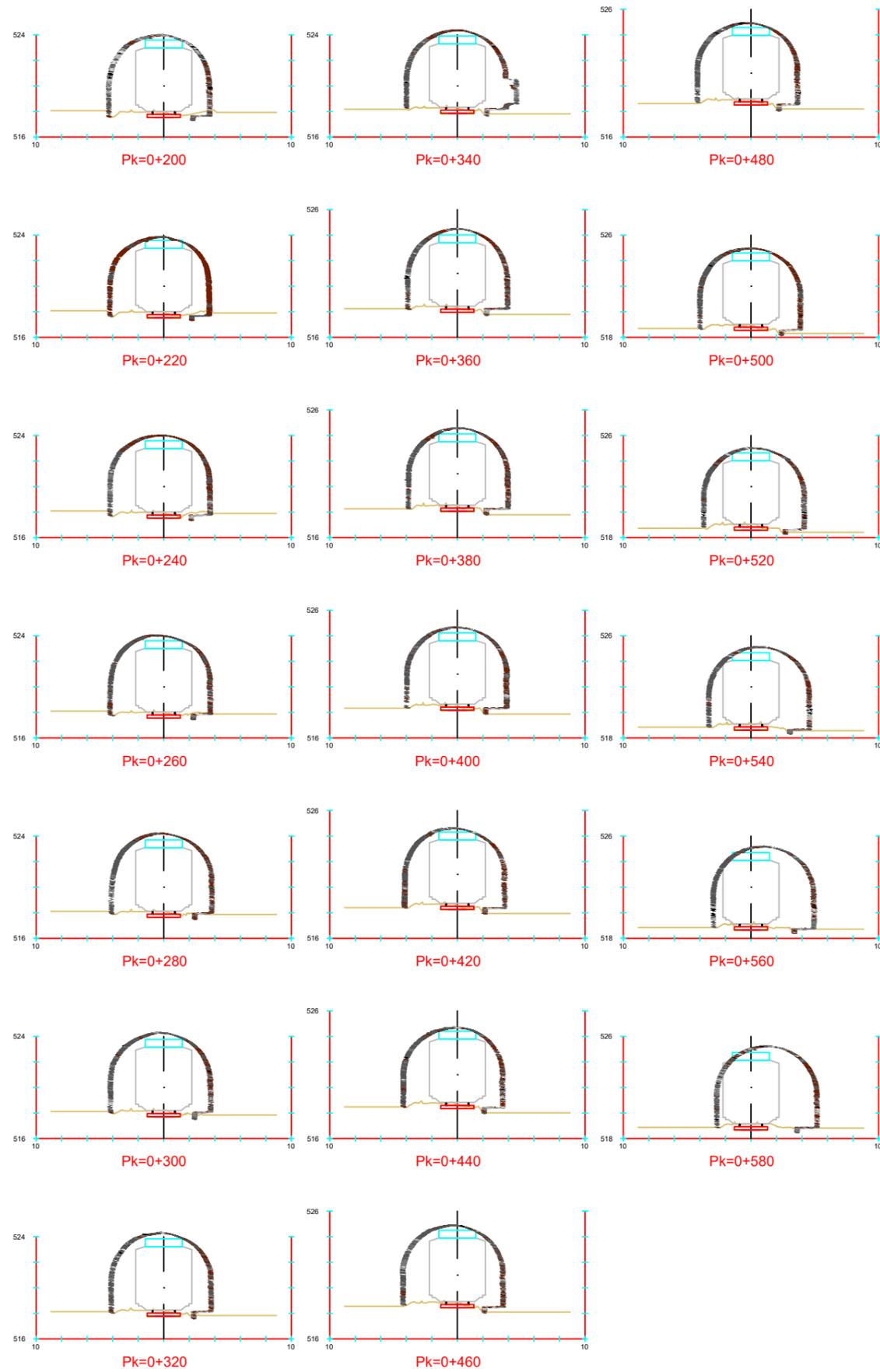
FECHA:  
JUNIO 2024

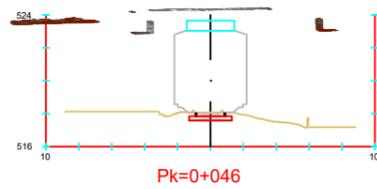
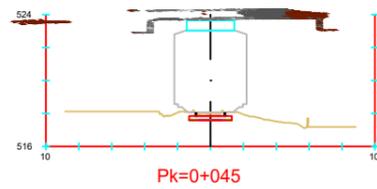
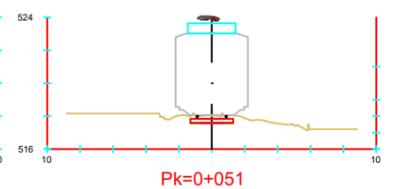
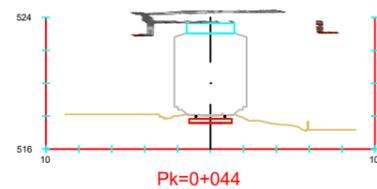
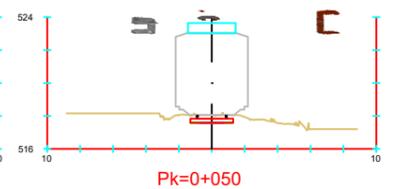
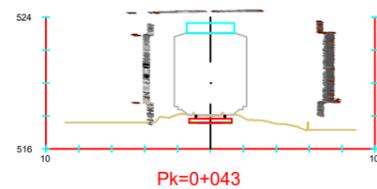
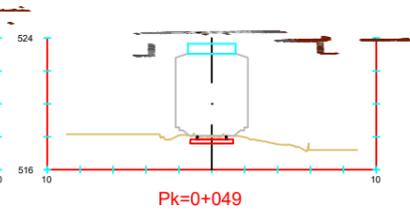
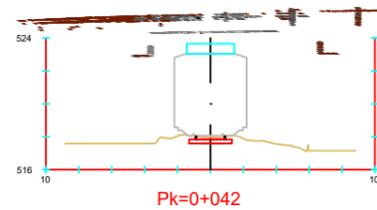
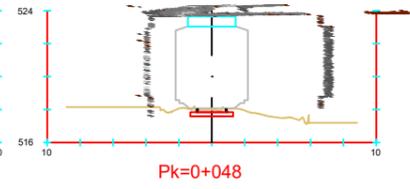
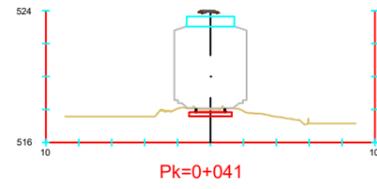
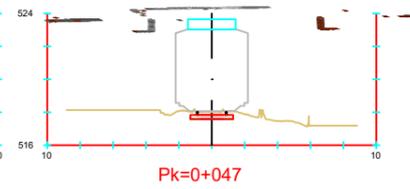
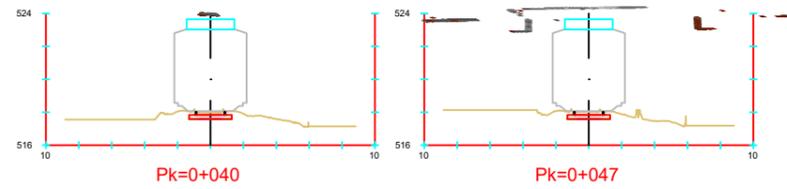
ESCALA:  
N/D

TÍTULO DEL PLANO:  
SOLUCIONES PROYECTADAS  
PERFIL LONGITUDINAL PROYECTADO

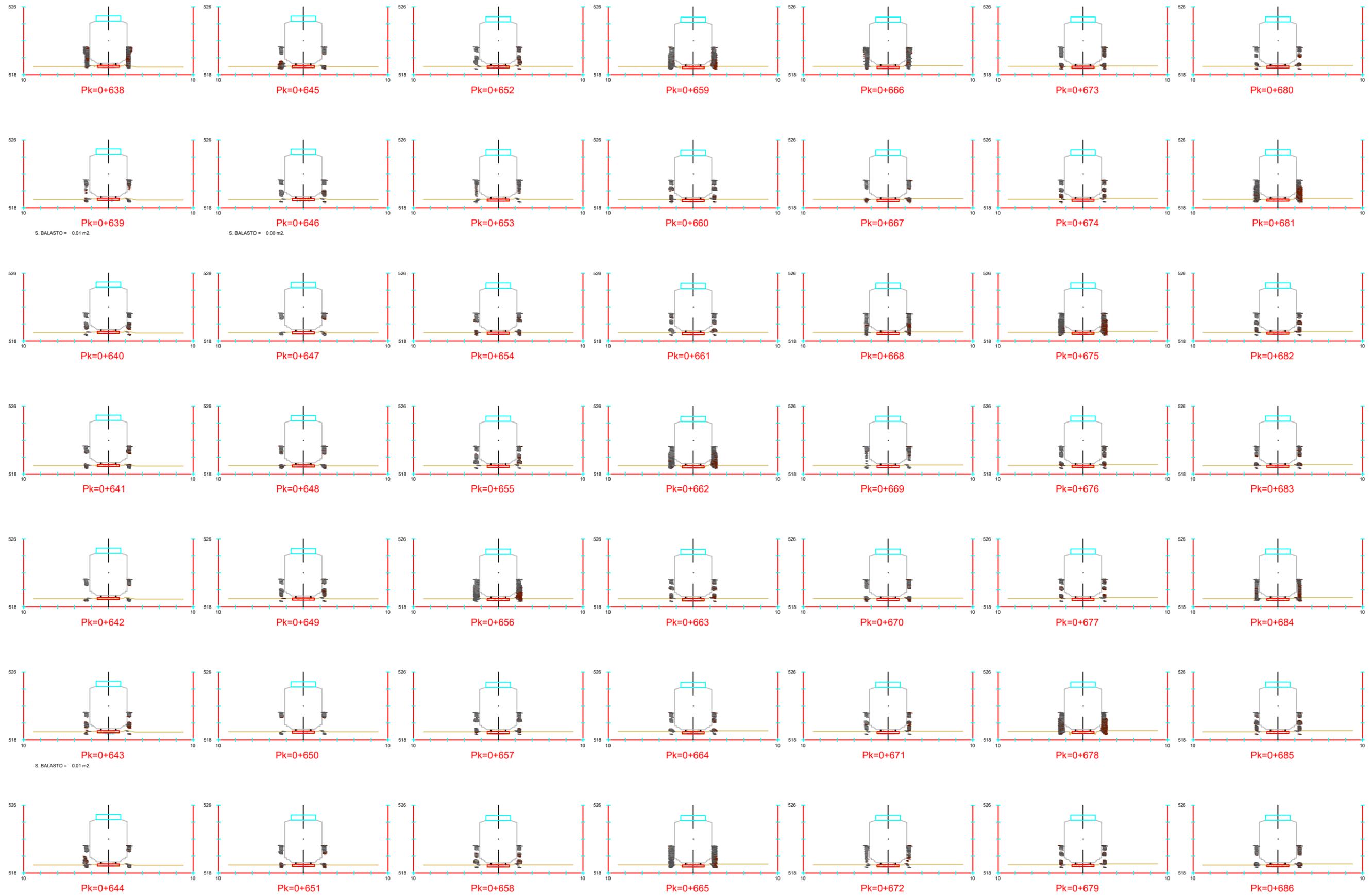
Nº PLANO:  
4.2

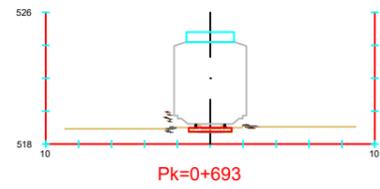
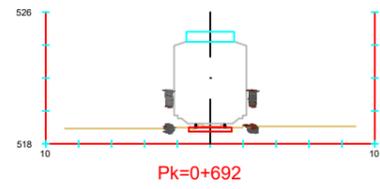
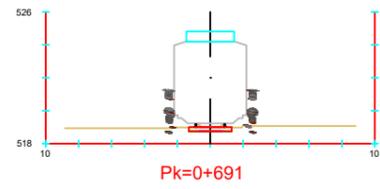
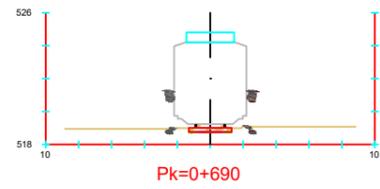
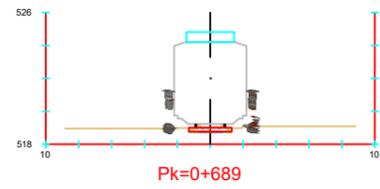
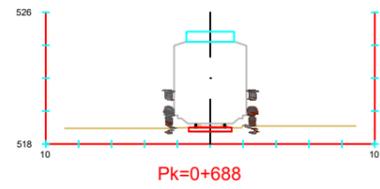
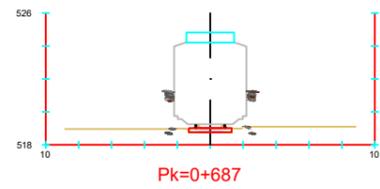
HOJA PLANO:  
2 DE 2





		UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID MÁSTER DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	AUTOR DEL ESTUDIO: <b>JORGE ESPADA HERNÁNDEZ</b>	TÍTULO DEL ESTUDIO: <b>INNOVACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE GÁLIBOS          FERROVIARIOS MEDIANTE NUBE DE PUNTOS</b>	FECHA: <b>JUNIO 2024</b>	ESCALA: <b>N/D</b>	TÍTULO DEL PLANO: <b>PERFILES TRANSVERSALES PROYECTADOS CON GEC16          PASO SUPERIOR CV-601</b>	Nº PLANO: <b>4.3.1</b>	HOJA PLANO: <b>2 DE 4</b>
--	--	--	---	---	-----------------------------	-----------------------	--	---------------------------	------------------------------

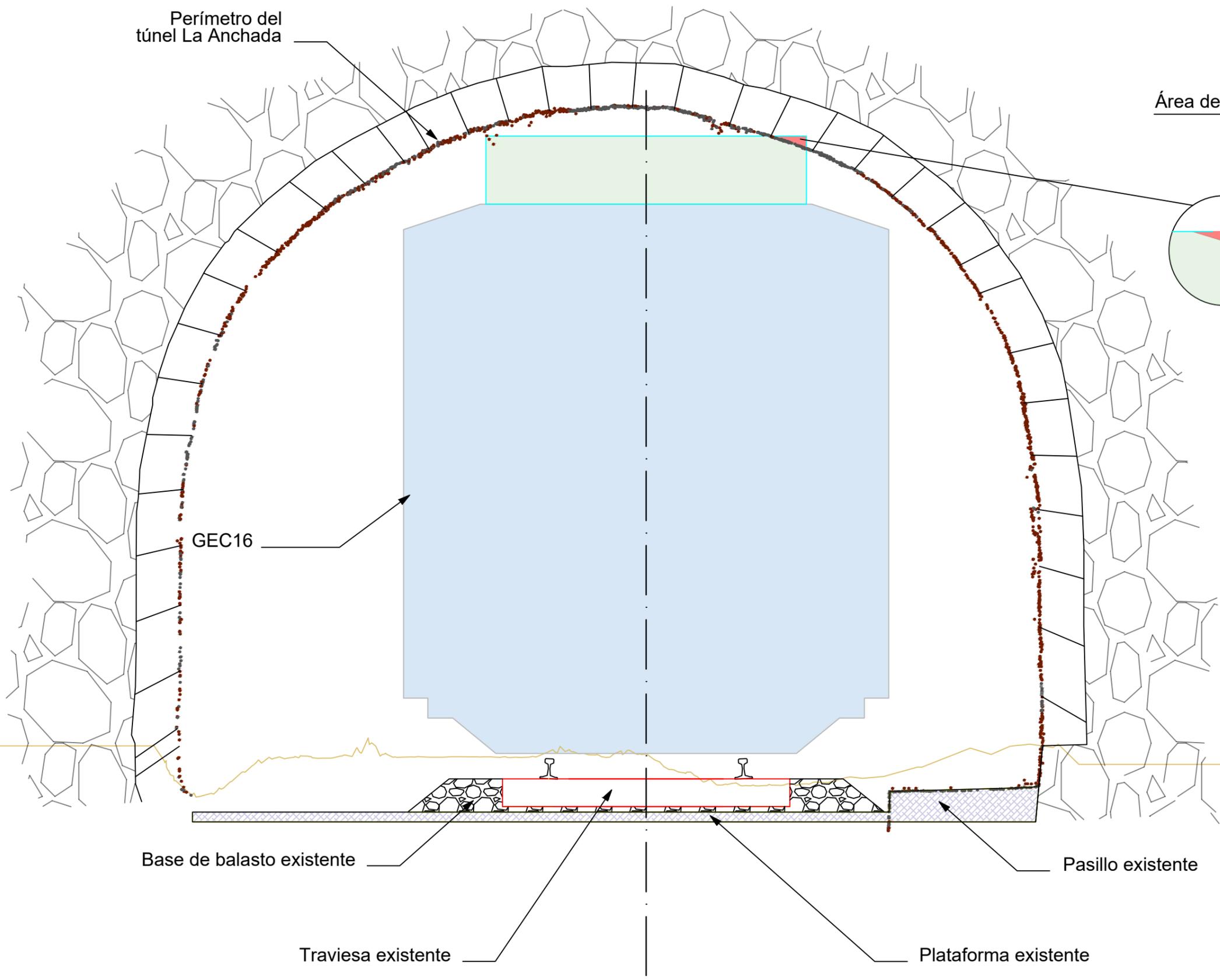




		UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID MÁSTER DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	AUTOR DEL ESTUDIO: <b>JORGE ESPADA HERNÁNDEZ</b>	TÍTULO DEL ESTUDIO: <b>INNOVACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE GÁLIBOS FERROVIARIOS MEDIANTE NUBE DE PUNTOS</b>	FECHA: <b>JUNIO 2024</b>	ESCALA: <b>N/D</b>	TÍTULO DEL PLANO: <b>PERFILES TRANSVERSALES PROYECTADOS CON GEC16 TRAMO METÁLICO</b>	Nº PLANO: <b>4.3.1</b>	HOJA PLANO: <b>4 DE 4</b>
--	--	--	---	--	-----------------------------	-----------------------	---	---------------------------	------------------------------

Perímetro del túnel La Anchada

Área del conflicto: 0,018 m<sup>2</sup>



GEC16

Base de balasto existente

Traviesa existente

Plataforma existente

Pasillo existente



UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID  
MÁSTER DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

AUTOR DEL ESTUDIO:  
JORGE ESPADA HERNÁNDEZ

TÍTULO DEL ESTUDIO:  
INNOVACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE GÁLIBOS  
FERROVIARIOS MEDIANTE NUBE DE PUNTOS

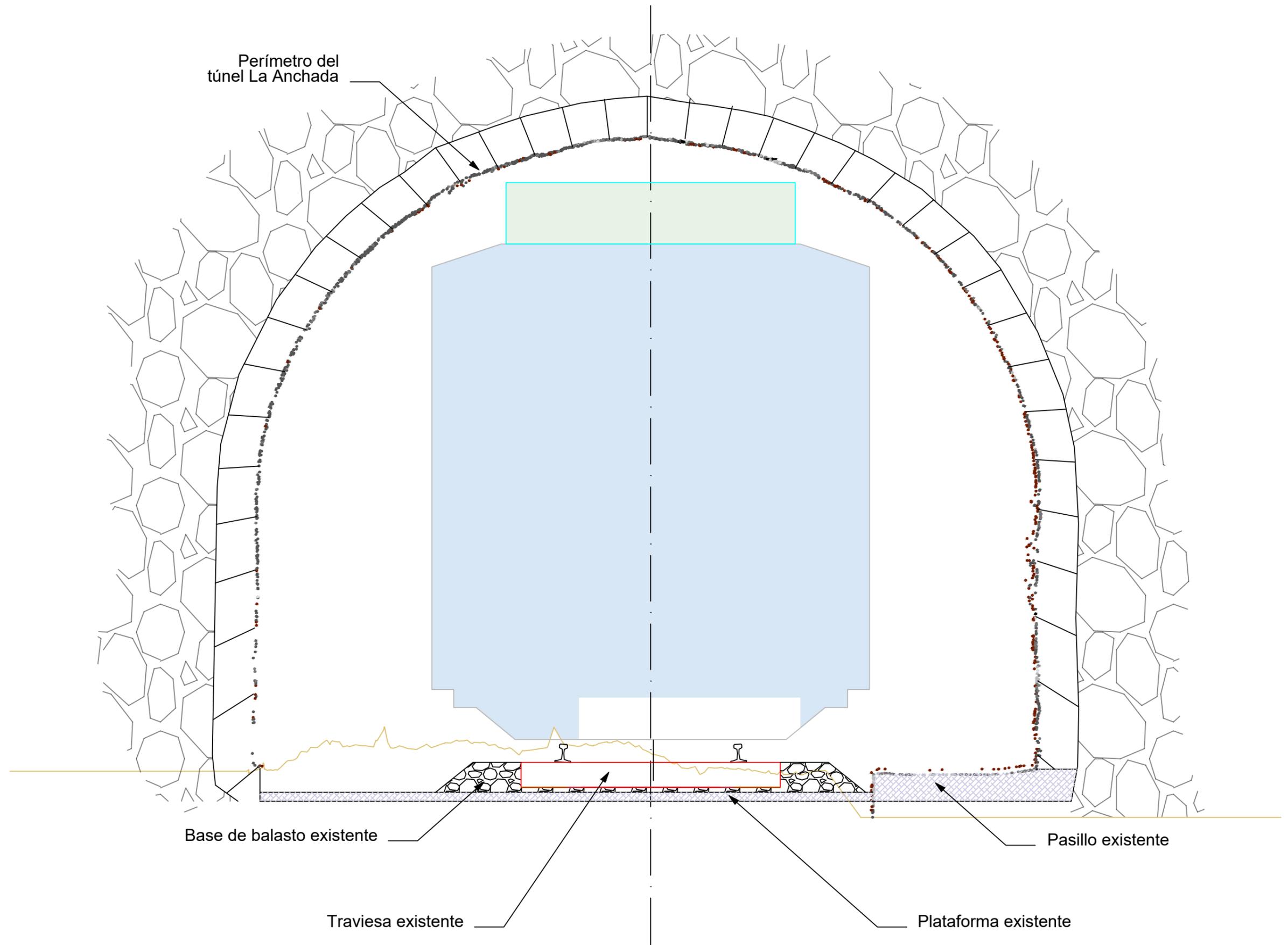
FECHA:  
JUNIO 2024

ESCALA:  
N/D

TÍTULO DEL PLANO:  
SECCIÓN TIPO PROYECTADA CON GEC16  
TÚNEL DE LA ANCHADA PK: 0+220

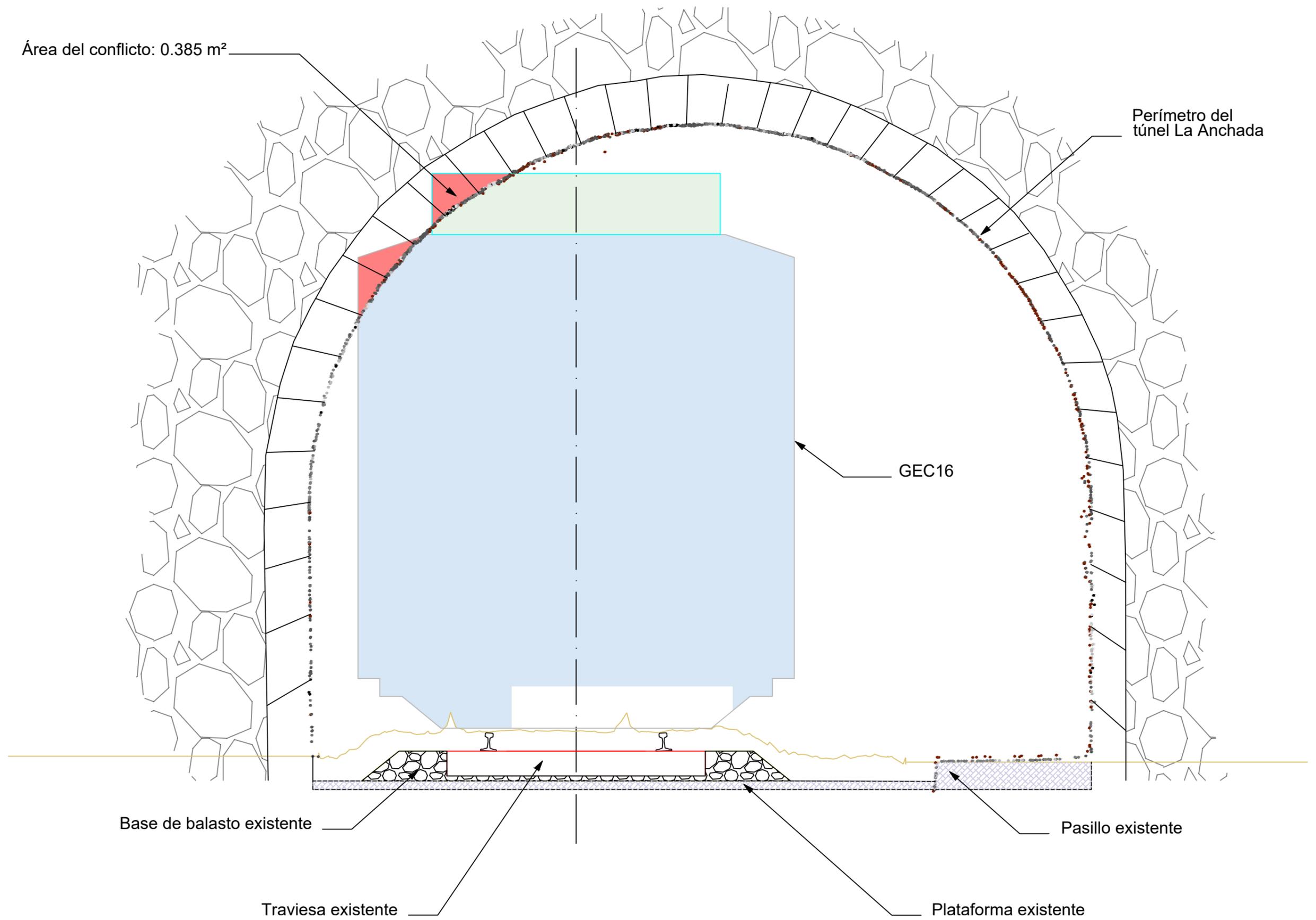
Nº PLANO:  
4.3.2

HOJA PLANO:  
1 DE 5



Área del conflicto: 0.385 m<sup>2</sup>

Perímetro del túnel La Anchada



GEC16

Base de balasto existente

Pasillo existente

Traviesa existente

Plataforma existente



UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

MÁSTER DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

AUTOR DEL ESTUDIO:

JORGE ESPADA HERNÁNDEZ

TÍTULO DEL ESTUDIO:

INNOVACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE GÁLIBOS  
FERROVIARIOS MEDIANTE NUBE DE PUNTOS

FECHA:

JUNIO 2024

ESCALA:

N/D

TÍTULO DEL PLANO:

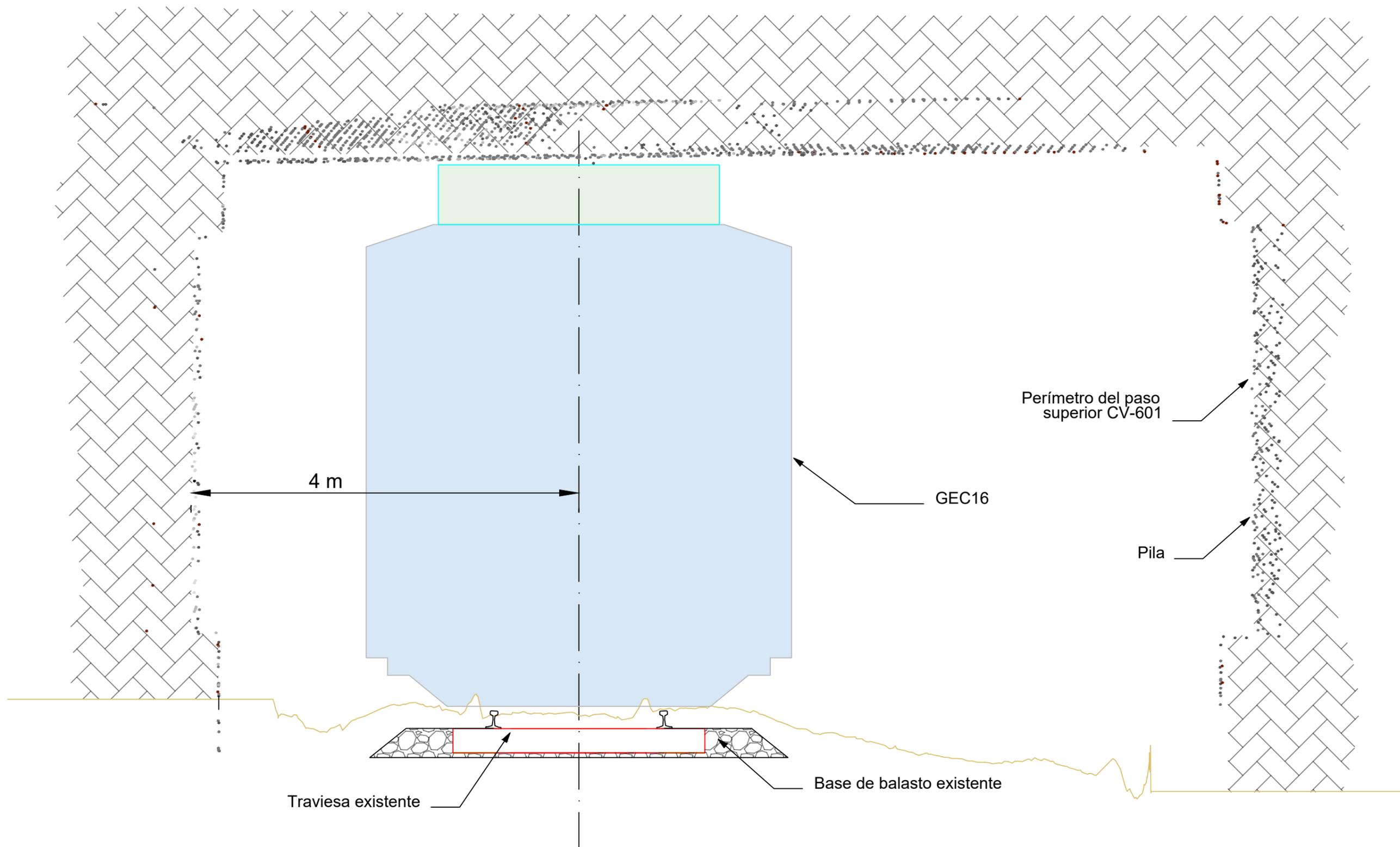
SECCIÓN TIPO PROYECTADA CON GEC16  
TÚNEL DE LA ANCHADA PK: 0+580

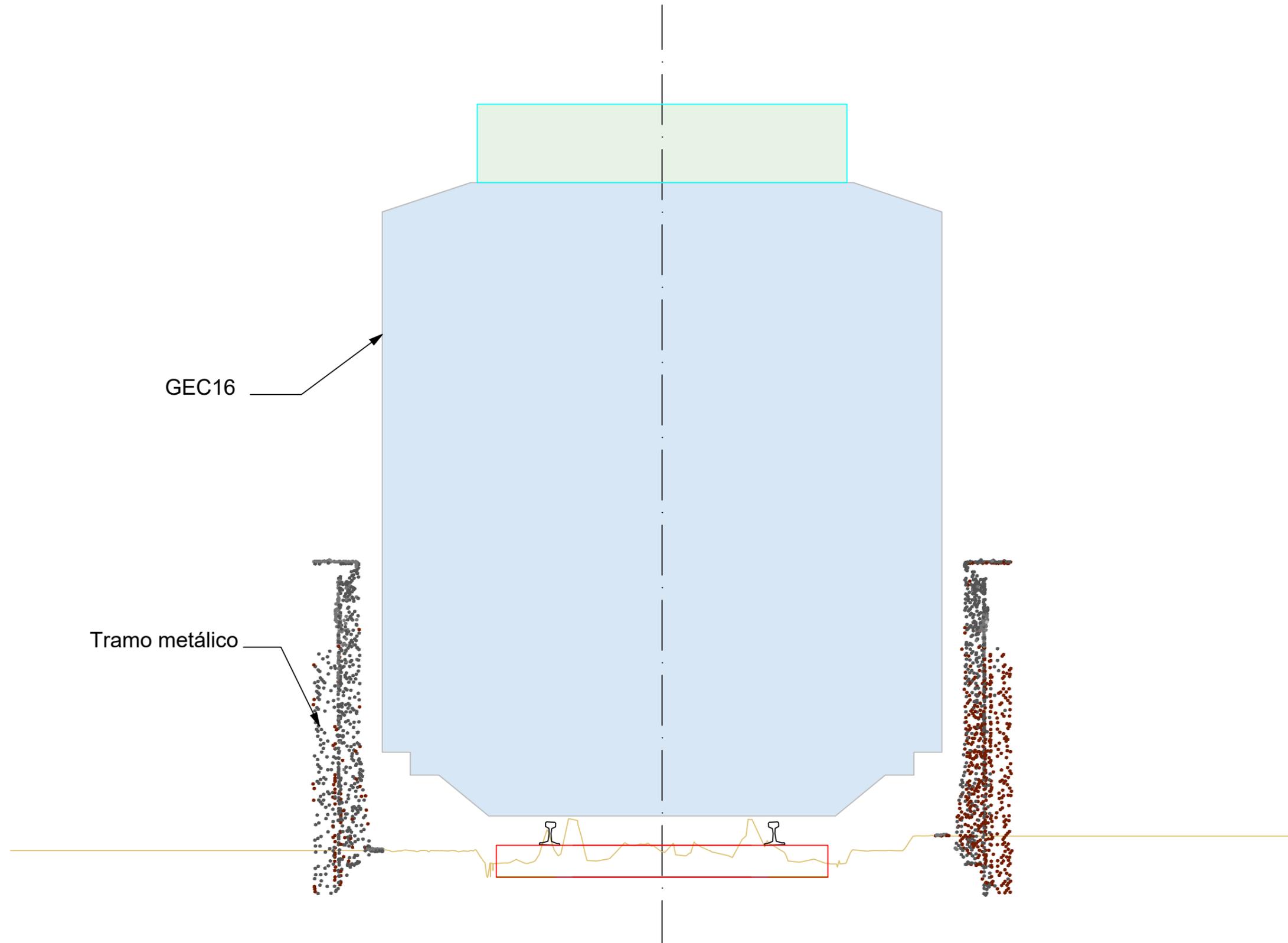
Nº PLANO:

4.3.2

HOJA PLANO:

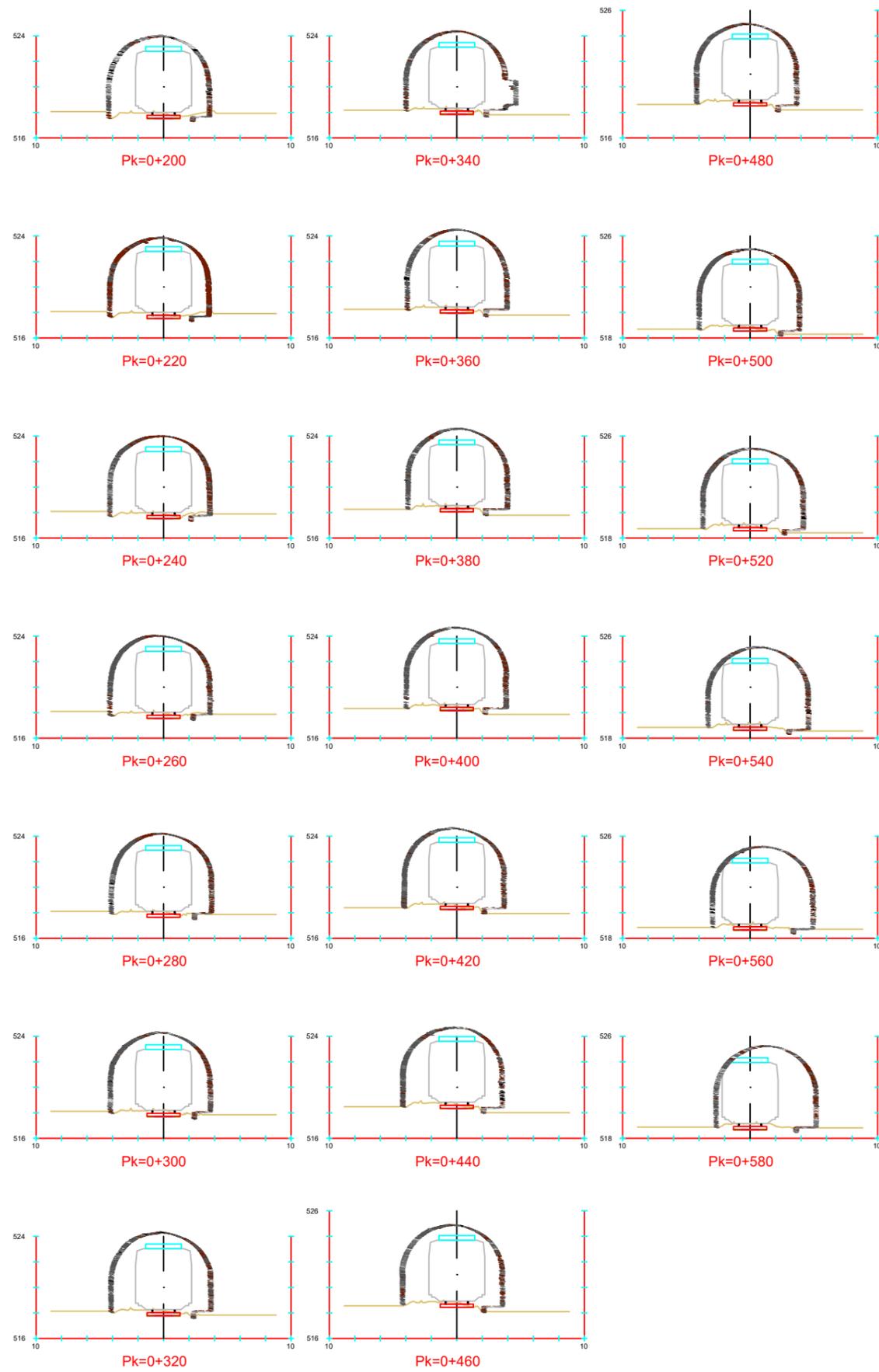
3 DE 5

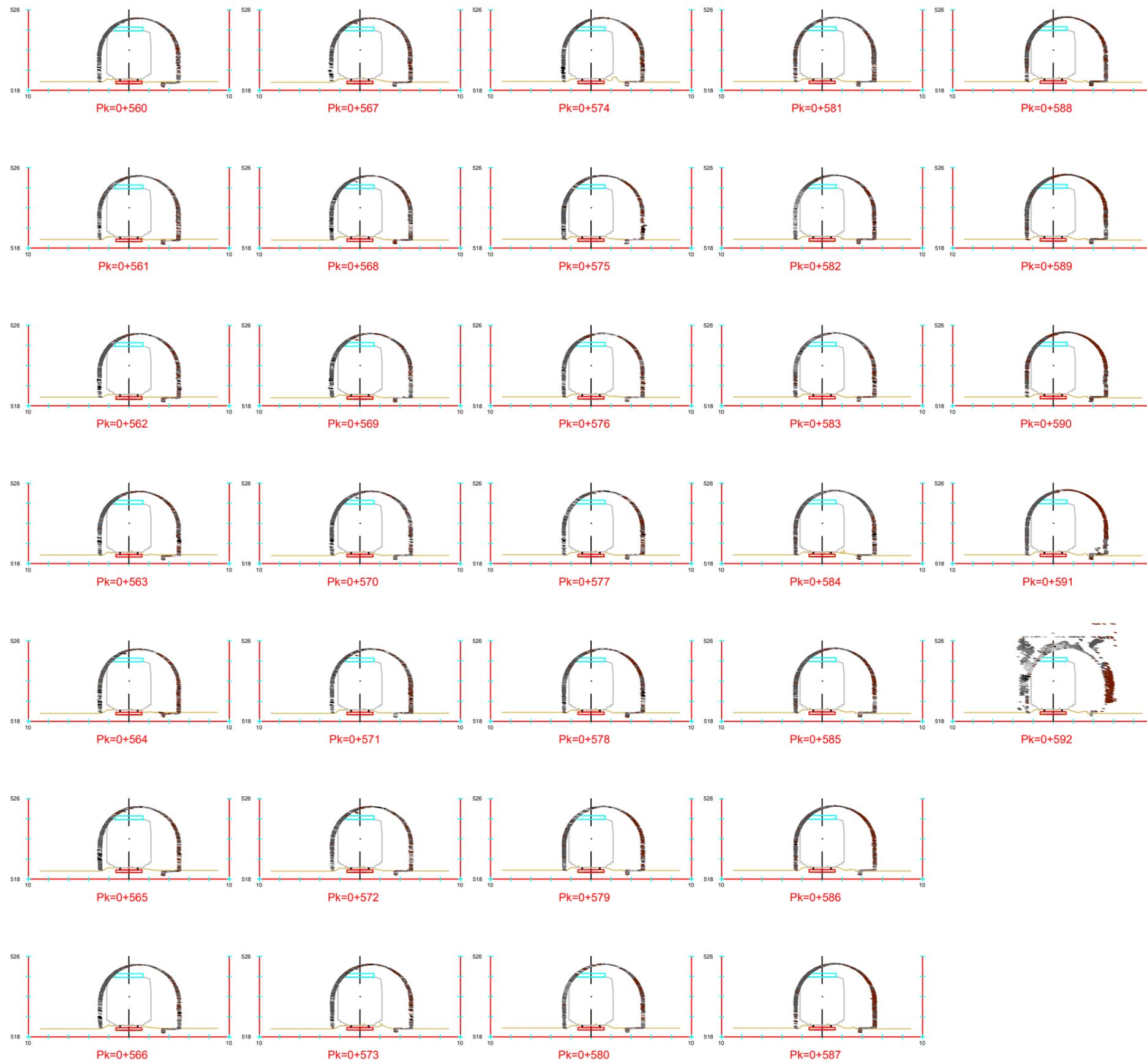


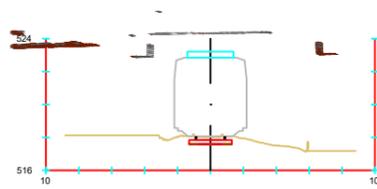
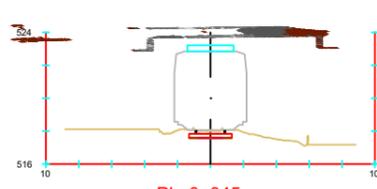
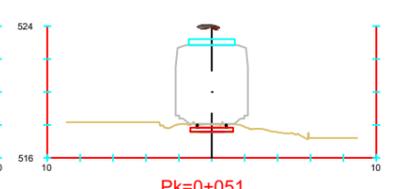
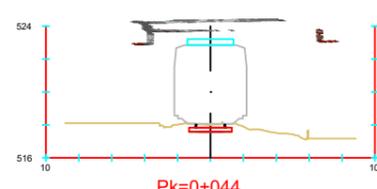
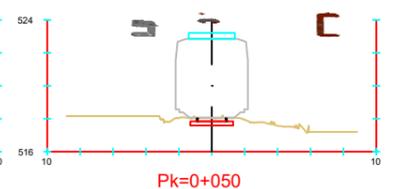
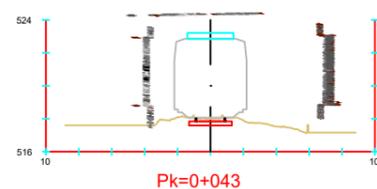
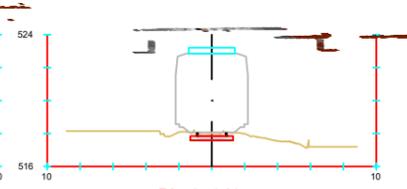
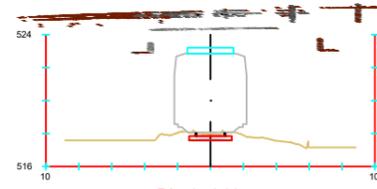
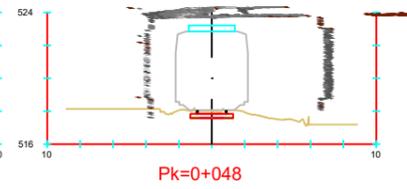
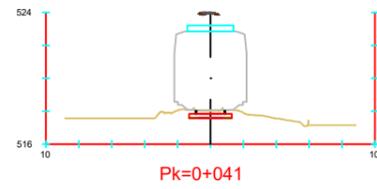
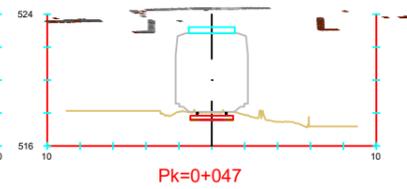
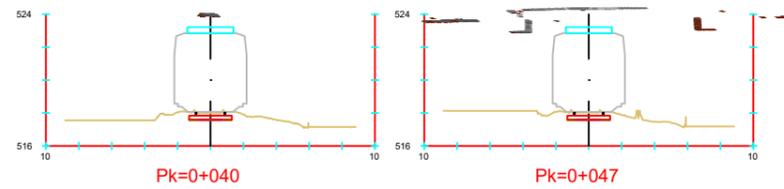


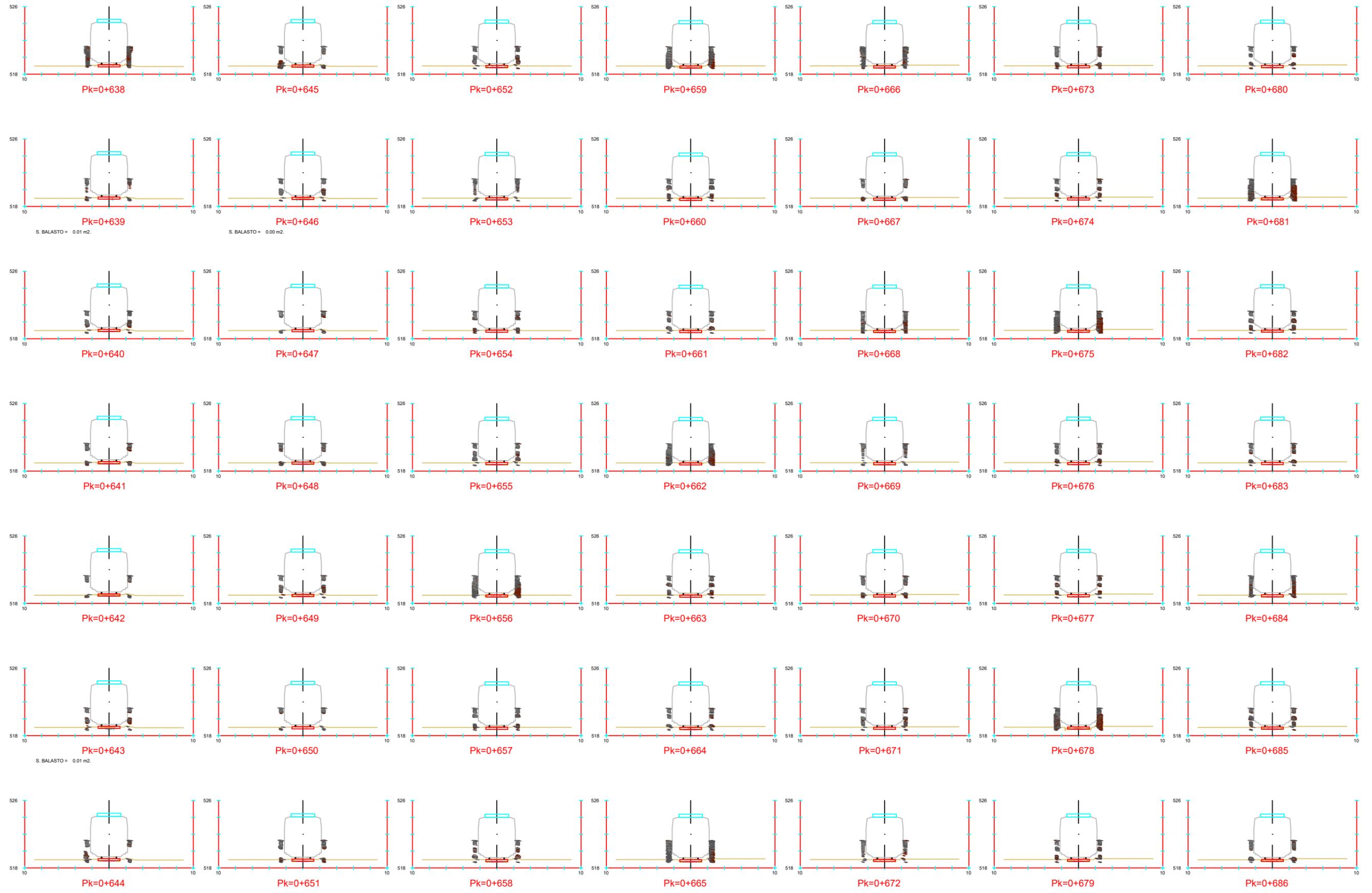
GEC16

Tramo metálico









UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID  
MÁSTER DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

AUTOR DEL ESTUDIO:  
JORGE ESPADA HERNÁNDEZ

TÍTULO DEL ESTUDIO:  
INNOVACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE GÁLIBOS  
FERROVIARIOS MEDIANTE NUBE DE PUNTOS

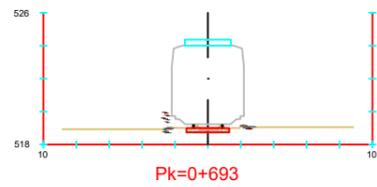
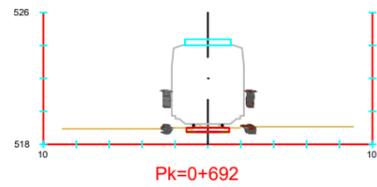
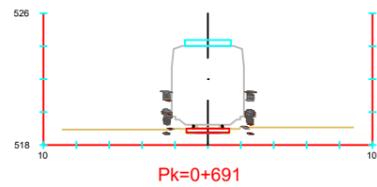
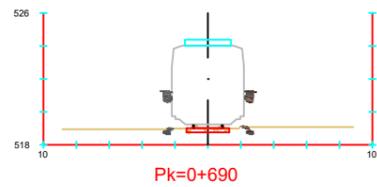
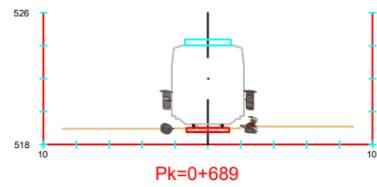
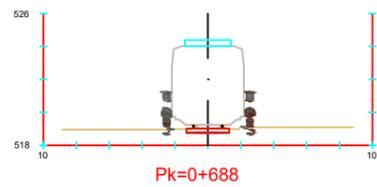
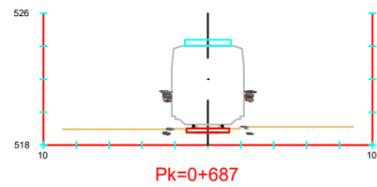
FECHA:  
JUNIO 2024

ESCALA:  
N/D

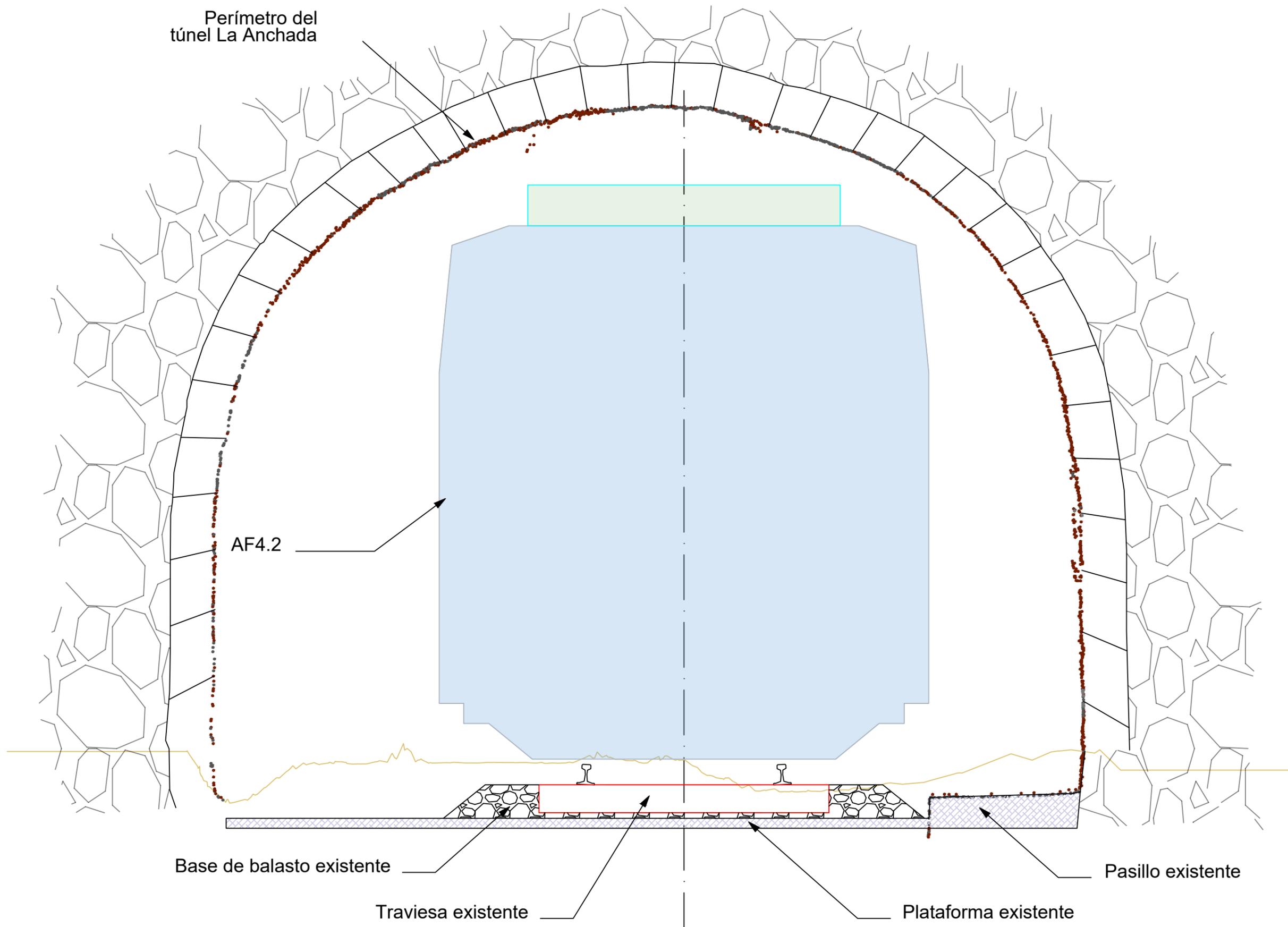
TÍTULO DEL PLANO:  
PERFILES TRANSVERSALES PROYECTADOS CON AF4.2  
TRAMO METÁLICO

Nº PLANO:  
4.4.1

HOJA PLANO:  
4 DE 5



Perímetro del túnel La Anchada



AF4.2

Base de balasto existente

Traviesa existente

Plataforma existente

Pasillo existente



UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID  
MÁSTER DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

AUTOR DEL ESTUDIO:  
JORGE ESPADA HERNÁNDEZ

TÍTULO DEL ESTUDIO:  
INNOVACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE GÁLIBOS  
FERROVIARIOS MEDIANTE NUBE DE PUNTOS

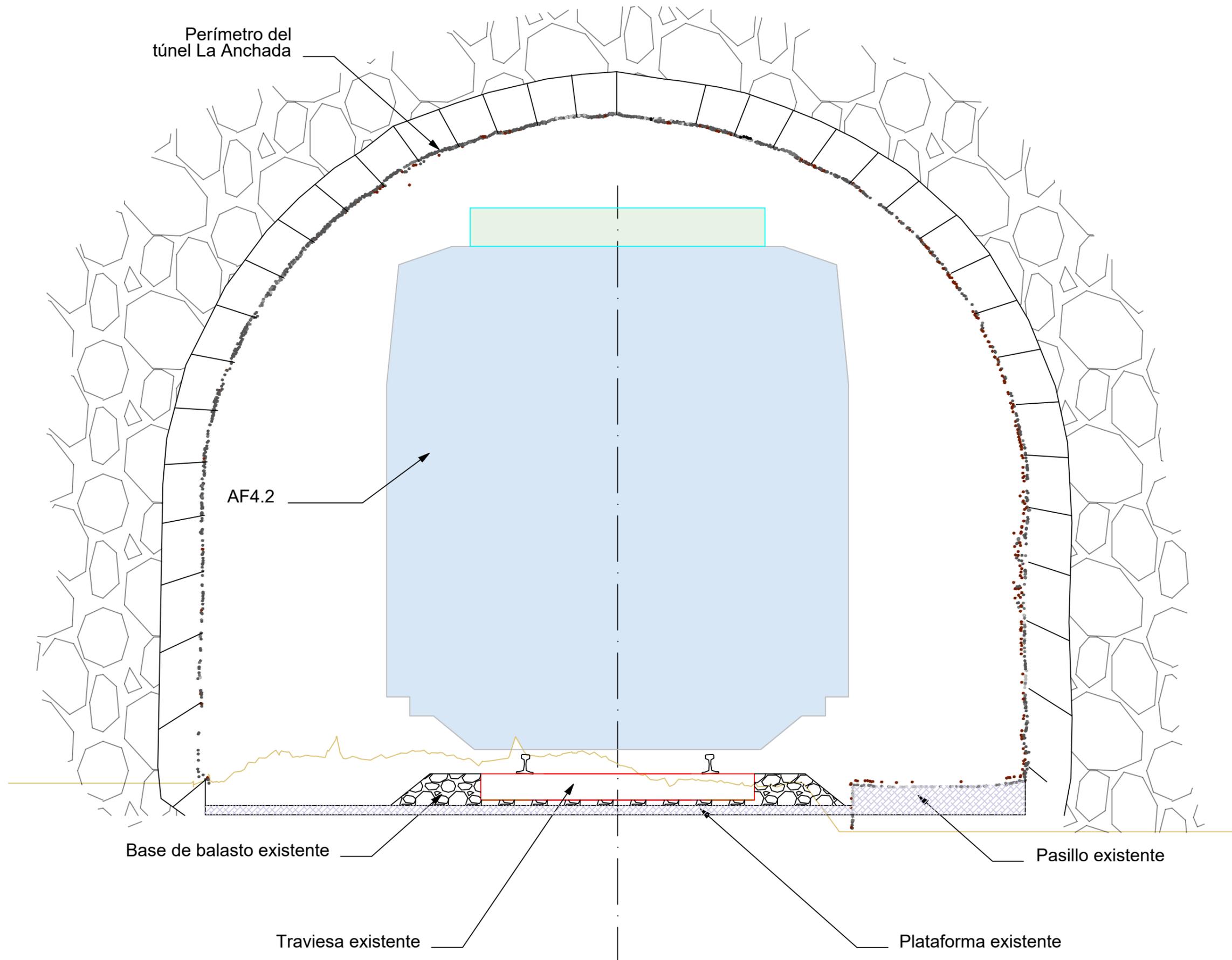
FECHA:  
JUNIO 2024

ESCALA:  
N/D

TÍTULO DEL PLANO:  
SECCIÓN TIPO PROYECTADA CON AF4.2  
TÚNEL DE LA ANCHADA PK: 0+220

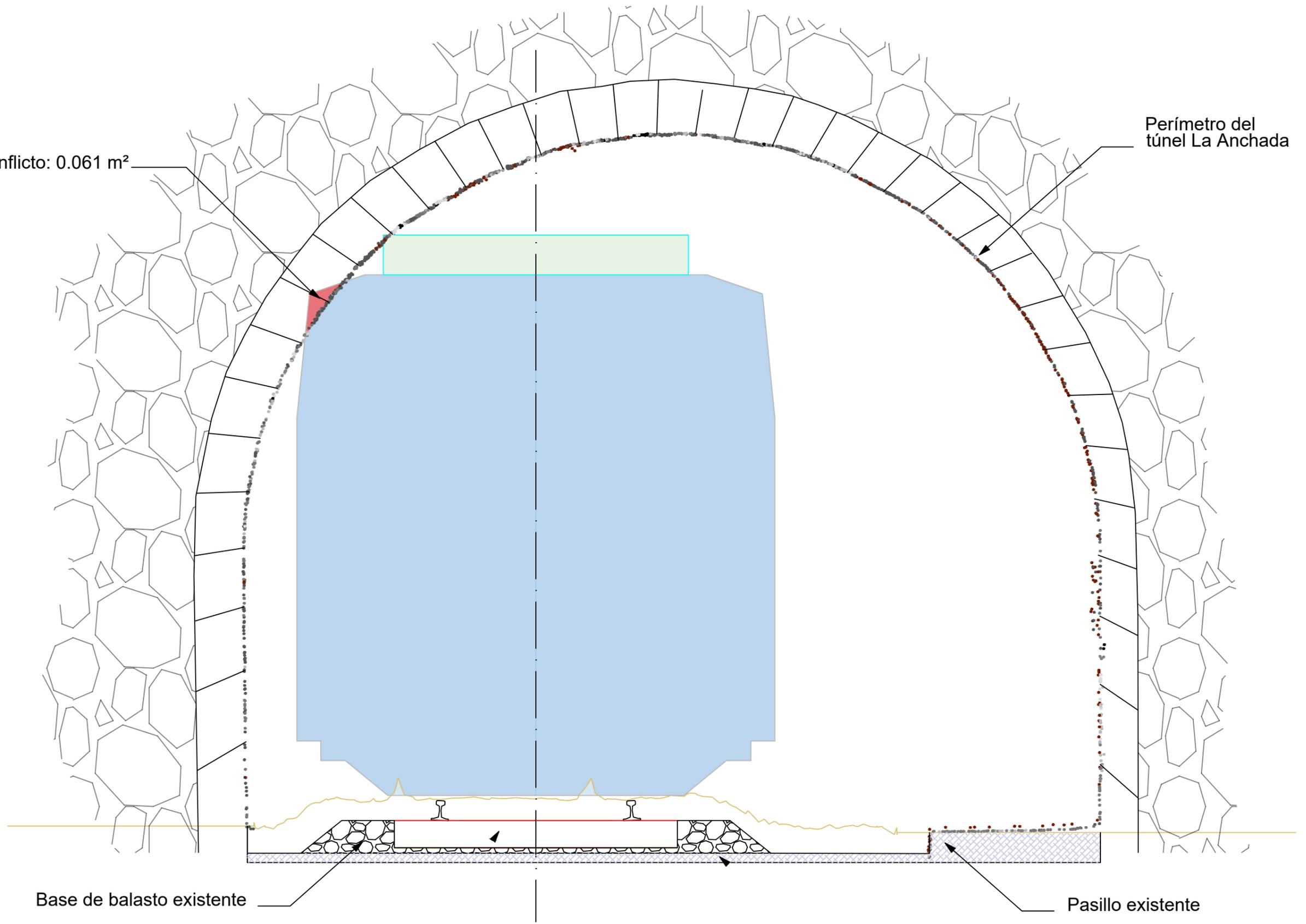
Nº PLANO:  
4.4.2

HOJA PLANO:  
1 DE 6



Área del conflicto: 0.061 m<sup>2</sup>

Perímetro del túnel La Anchada



Base de balasto existente

Pasillo existente



UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID  
MÁSTER DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

AUTOR DEL ESTUDIO:

JORGE ESPADA HERNÁNDEZ

TÍTULO DEL ESTUDIO:

INNOVACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE GÁLIBOS  
FERROVIARIOS MEDIANTE NUBE DE PUNTOS

FECHA:

JUNIO 2024

ESCALA:

N/D

TÍTULO DEL PLANO:

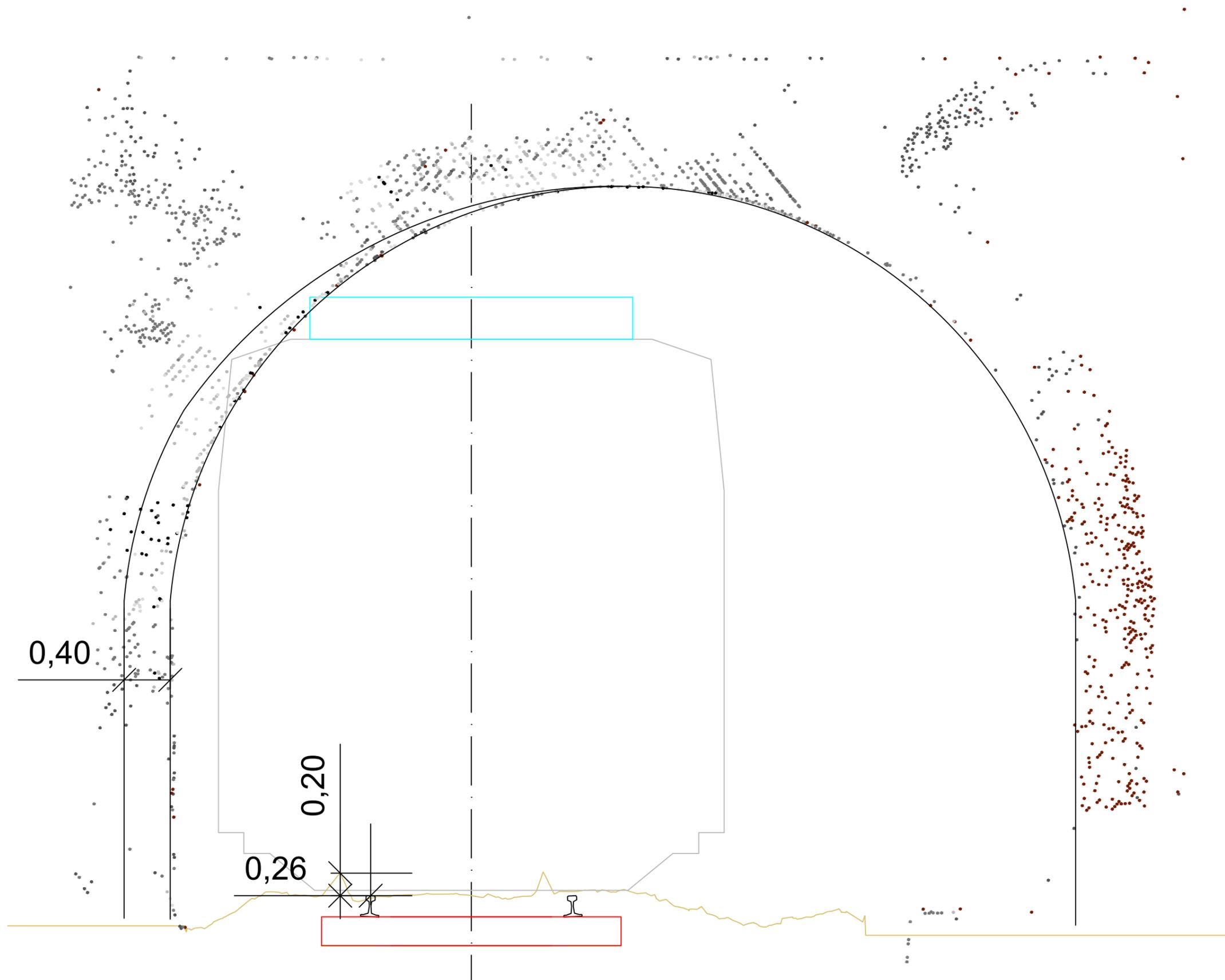
SECCIÓN TIPO PROYECTADA CON AF4.2  
TÚNEL DE LA ANCHADA PK: 0+580

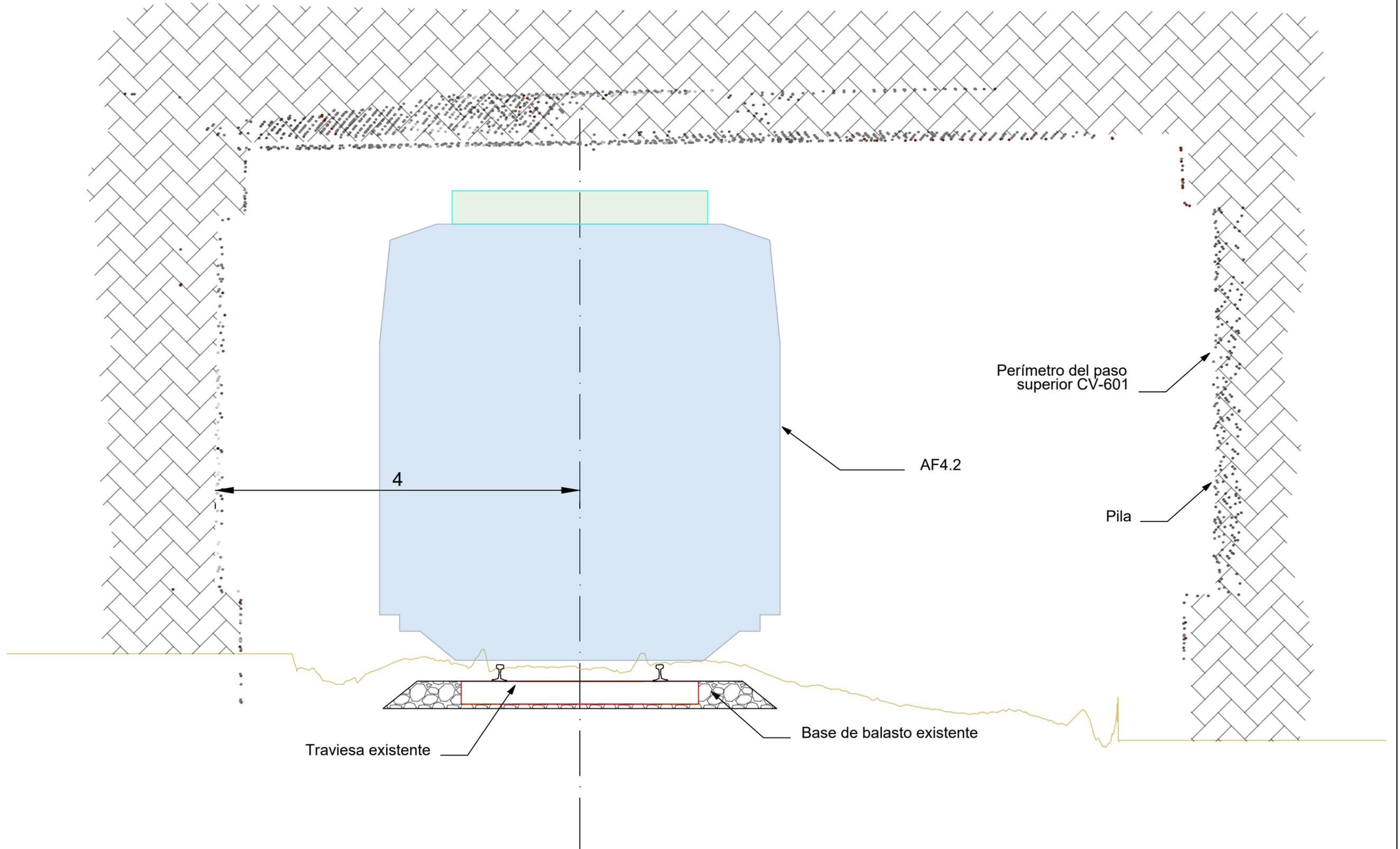
Nº PLANO:

4.4.2

HOJA PLANO:

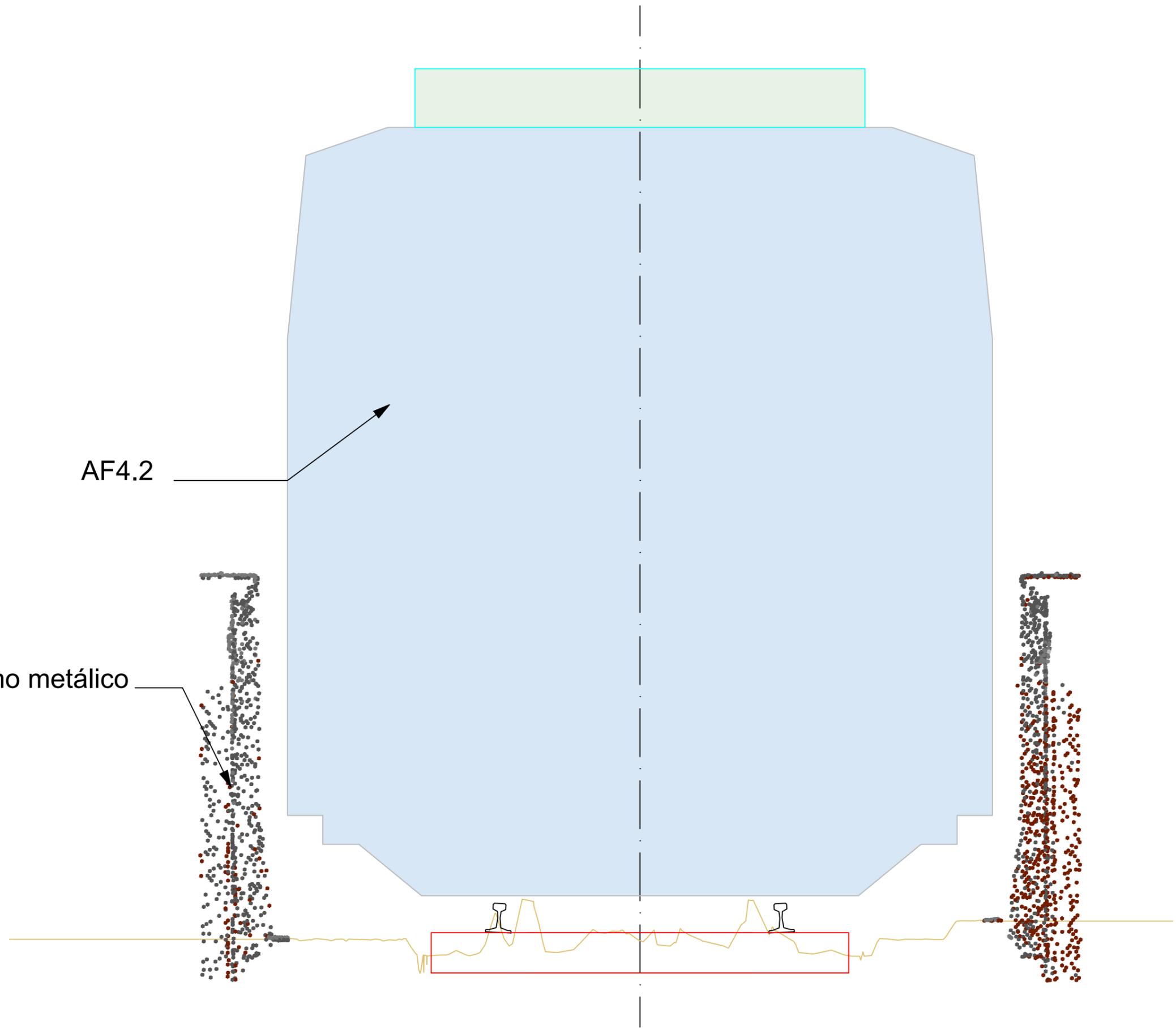
3 DE 6





AF4.2

Tramo metálico



UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID  
MÁSTER DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

AUTOR DEL ESTUDIO:  
JORGE ESPADA HERNÁNDEZ

TÍTULO DEL ESTUDIO:  
INNOVACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE GÁLIBOS  
FERROVIARIOS MEDIANTE NUBE DE PUNTOS

FECHA:  
JUNIO 2024

ESCALA:  
N/D

TÍTULO DEL PLANO:  
SECCIÓN TIPO PROYECTADA CON AF4.2  
TRAMO METÁLICO

Nº PLANO:  
4.4.2

HOJA PLANO:  
6 DE 6

## **V. Informes de Colisiones**

---

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

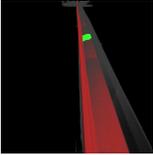
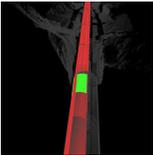
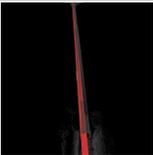
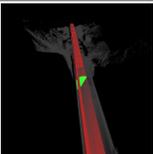
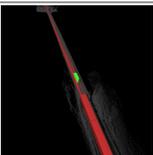
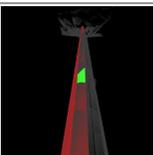
## **Informes de Colisiones: Situación Actual con GEC16**

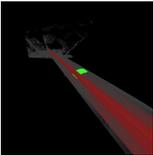
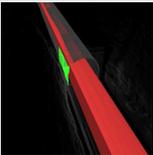
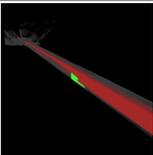
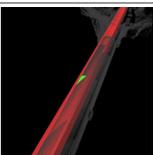
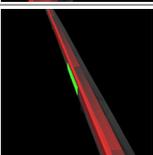
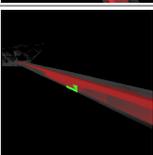
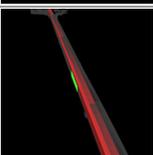
---

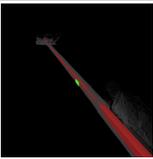
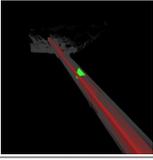
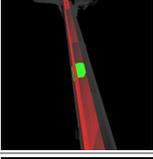
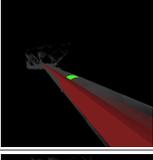
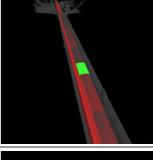
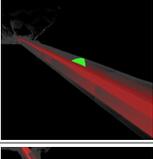
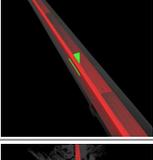
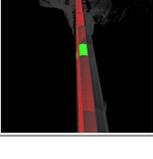
*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

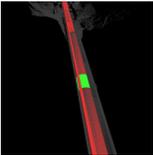
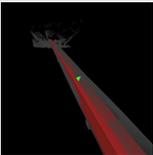
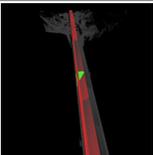
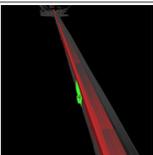
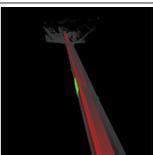
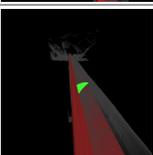
**Informe de conflictos**

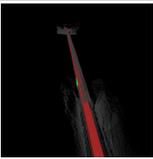
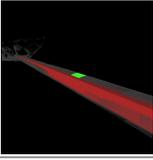
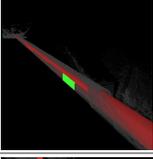
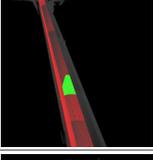
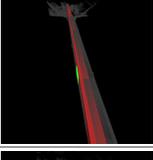
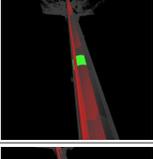
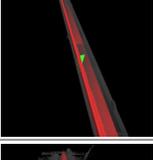
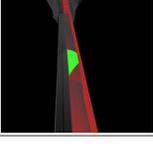
Gálibo GEC16 vs Túnel de La Anchada (Hastial y bóveda izquierda)							Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
							0.001m	73	0	73	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

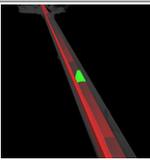
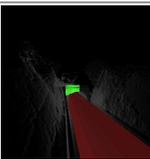
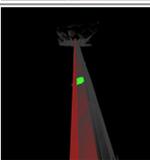
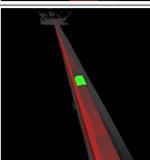
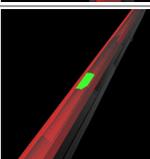
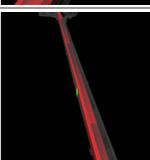
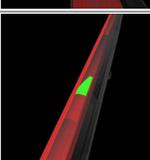
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Elemento 1			Elemento 2		
							Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo
	Conflicto1	Activo	0.0000000515	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615950.932, y:4581977.659, z:523.472	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto2	Activo	0.0000000254	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615856.008, y:4582214.729, z:524.338	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto3	Activo	0.0000000679	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615973.907, y:4581916.270, z:520.880	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto4	Activo	0.0000000684	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615857.848, y:4582207.698, z:523.148	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto5	Activo	0.0000000875	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615995.614, y:4581865.656, z:523.173	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto6	Activo	0.000000228	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615915.926, y:4582065.983, z:523.941	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel

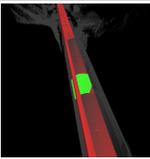
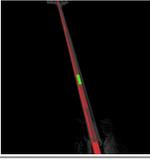
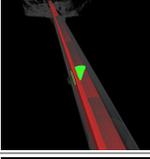
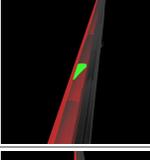
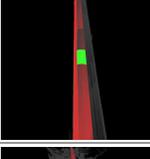
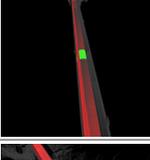
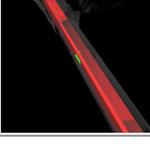
	Conflicto7	Activo	0.000000231	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615949.184, y:4581978.350, z:520.907	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto8	Activo	0.000000276	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615900.845, y:4582099.732, z:522.639	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto9	Activo	0.00000035	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615997.253, y:4581857.645, z:521.469	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto10	Activo	0.000000393	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615924.067, y:4582041.419, z:519.778	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto11	Activo	0.000000396	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615916.569, y:4582064.344, z:523.933	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto12	Activo	0.00000043	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615870.460, y:4582178.812, z:524.274	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto13	Activo	0.000000492	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615962.468, y:4581944.994, z:521.677	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto14	Activo	0.000000533	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615946.027, y:4581986.278, z:520.373	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto15	Activo	0.000000535	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615920.546, y:4582050.261, z:521.643	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel

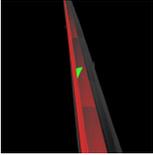
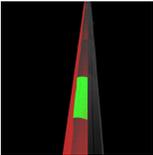
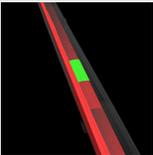
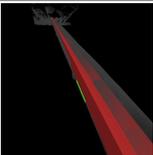
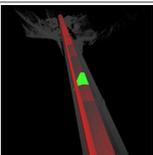
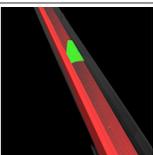
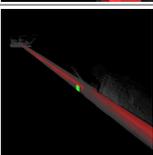
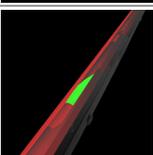
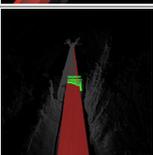
	Conflicto16	Activo	0.000000543	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615976.749, y:4581909.134, z:521.409	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto17	Activo	0.000000546	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615880.058, y:4582151.930, z:522.879	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto18	Activo	0.000000623	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615884.476, y:4582143.934, z:524.210	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto19	Activo	0.000000689	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615930.036, y:4582030.279, z:523.761	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto20	Activo	0.000000799	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615906.731, y:4582088.388, z:524.051	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto21	Activo	0.0000008	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615910.549, y:4582079.239, z:524.006	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto22	Activo	0.000000814	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615886.681, y:4582138.482, z:524.200	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto23	Activo	0.000000864	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615863.590, y:4582193.281, z:523.085	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel

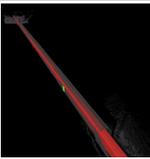
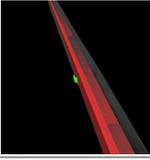
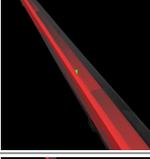
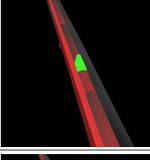
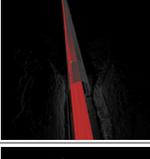
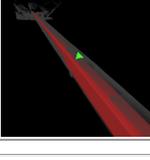
	Conflicto24	Activo	0.000000882	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615947.066, y:4581983.668, z:520.346	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto25	Activo	0.000000919	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615871.315, y:4582173.884, z:523.044	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto26	Activo	0.000000944	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615919.837, y:4582055.697, z:523.891	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto27	Activo	0.000000946	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615876.893, y:4582159.876, z:522.918	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto28	Activo	0.00000102	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615963.643, y:4581942.044, z:521.654	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto29	Activo	0.00000106	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615904.818, y:4582089.756, z:522.508	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto30	Activo	0.00000109	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615926.308, y:4582039.780, z:523.813	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto31	Activo	0.00000112	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615895.542, y:4582116.104, z:524.159	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto32	Activo	0.00000124	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615941.031, y:4581999.086, z:519.123	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel

	Conflicto33	Activo	0.00000128	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615983.526, y:4581892.116, z:521.505	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto34	Activo	0.00000137	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615941.856, y:4582000.904, z:523.595	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto35	Activo	0.00000159	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615989.489, y:4581877.142, z:521.451	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto36	Activo	0.0000016	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615887.786, y:4582135.757, z:524.195	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto37	Activo	0.00000166	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615908.294, y:4582081.027, z:522.383	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto38	Activo	0.00000166	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615891.190, y:4582126.999, z:524.179	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto39	Activo	0.00000171	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615901.271, y:4582098.662, z:522.546	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto40	Activo	0.00000197	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615981.643, y:4581899.986, z:523.190	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel

	Conflicto41	Activo	0.00000197	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615905.332, y:4582091.860, z:524.068	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto42	Activo	0.00000212	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:616001.594, y:4581849.797, z:523.174	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto43	Activo	0.00000216	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615935.655, y:4582016.714, z:523.685	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto44	Activo	0.00000224	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615965.345, y:4581941.045, z:523.336	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto45	Activo	0.00000289	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615968.671, y:4581932.713, z:523.305	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto46	Activo	0.00000333	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615913.178, y:4582068.762, z:522.167	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto47	Activo	0.00000356	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615944.589, y:4581993.853, z:523.555	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto48	Activo	0.00000428	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615977.710, y:4581909.853, z:523.210	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto49	Activo	0.00000449	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615955.102, y:4581966.773, z:523.427	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel

	Conflicto50	Activo	0.00000453	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615866.275, y:4582189.179, z:524.293	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto51	Activo	0.00000455	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615970.837, y:4581927.399, z:523.285	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto52	Activo	0.00000474	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615893.754, y:4582120.440, z:524.167	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto53	Activo	0.00000529	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615936.751, y:4582013.697, z:523.668	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto54	Activo	0.00000542	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615959.704, y:4581955.196, z:523.386	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto55	Activo	0.00000583	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615958.603, y:4581957.808, z:523.395	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto56	Activo	0.00000652	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615896.979, y:4582109.440, z:522.711	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto57	Activo	0.00000657	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615861.247, y:4582199.164, z:523.117	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel

	Conflicto58	Activo	0.0000067	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615954.052, y:4581969.423, z:523.438	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto59	Activo	0.00000678	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615982.474, y:4581897.794, z:523.186	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto60	Activo	0.00000777	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615925.441, y:4582041.808, z:523.823	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto61	Activo	0.00000816	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615929.857, y:4582027.201, z:519.282	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto62	Activo	0.00000823	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615871.089, y:4582177.158, z:524.271	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto63	Activo	0.0000101	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615922.311, y:4582049.804, z:523.862	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto64	Activo	0.0000104	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615994.860, y:4581863.656, z:521.458	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto65	Activo	0.0000106	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615946.372, y:4581989.270, z:523.529	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto66	Activo	0.0000114	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615854.988, y:4582217.185, z:524.342	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel

	Conflicto67	Activo	0.0000123	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615979.737, y:4581901.630, z:521.583	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto68	Activo	0.000016	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615928.851, y:4582029.408, z:520.568	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto69	Activo	0.0000195	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615962.823, y:4581947.308, z:523.359	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto70	Activo	0.0000285	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615939.106, y:4582007.940, z:523.635	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto71	Activo	0.0000386	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615929.259, y:4582032.288, z:523.772	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto72	Activo	0.0000725	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615996.067, y:4581864.537, z:523.173	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto73	Activo	0.00032	De espacio libre	2024/6/25 16:54	x:615929.836, y:4582032.366, z:523.771	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel

<b>Gálibo GEC16 vs Túnel de La Anchada (Hastial y bóveda derecha)</b>	<b>Tolerancia</b>	<b>Conflictos</b>	<b>Nuevo</b>	<b>Activo</b>	<b>Revisado</b>	<b>Aprobado</b>	<b>Resuelto</b>	<b>Tipo</b>	<b>Estado</b>
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

							Elemento 1			Elemento 2						
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo

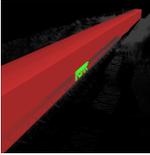
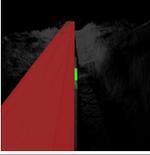
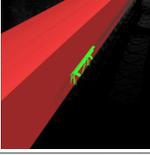
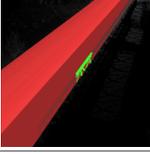
<b>Gálibo GEC16 vs Paso Superior CV-601</b>	<b>Tolerancia</b>	<b>Conflictos</b>	<b>Nuevo</b>	<b>Activo</b>	<b>Revisado</b>	<b>Aprobado</b>	<b>Resuelto</b>	<b>Tipo</b>	<b>Estado</b>
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

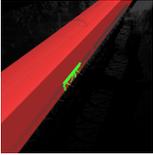
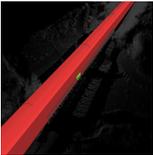
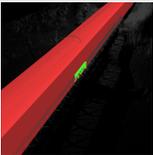
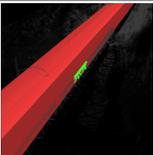
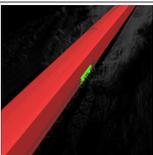
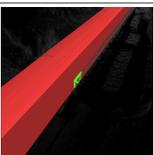
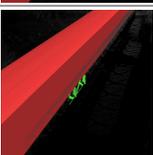
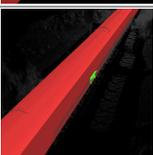
							Elemento 1			Elemento 2						
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo

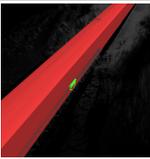
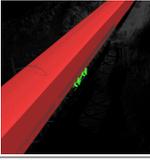
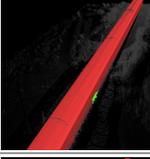
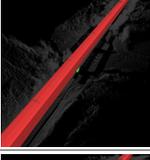
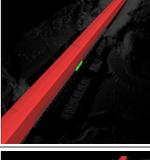
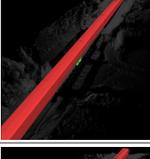
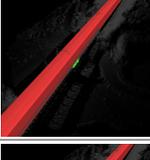
<b>Gálibo GEC16 vs Tramo Metálico izquierda</b>	<b>Tolerancia</b>	<b>Conflictos</b>	<b>Nuevo</b>	<b>Activo</b>	<b>Revisado</b>	<b>Aprobado</b>	<b>Resuelto</b>	<b>Tipo</b>	<b>Estado</b>
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

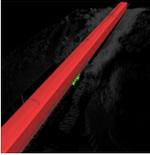
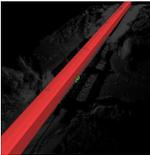
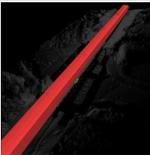
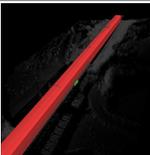
							Elemento 1			Elemento 2						
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo

<b>Gálibo GEC16 vs Tramo Metálico derecha</b>	<b>Tolerancia</b>	<b>Conflictos</b>	<b>Nuevo</b>	<b>Activo</b>	<b>Revisado</b>	<b>Aprobado</b>	<b>Resuelto</b>	<b>Tipo</b>	<b>Estado</b>
	0.001m	25	0	25	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Elemento 1			Elemento 2			
							Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento
	Conflicto1	Activo	0.00000141	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615830.423, y:4582288.430, z:521.205	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder			Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto2	Activo	0.00000263	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615823.967, y:4582304.643, z:521.235	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder			Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto3	Activo	0.0000035	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615839.839, y:4582264.787, z:520.987	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder			Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto4	Activo	0.00000358	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615837.691, y:4582270.181, z:520.535	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder			Tramo metálico derecha	Vóxel

	Conflicto5	Activo	0.00000885	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615833.374, y:4582281.020, z:521.158	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto6	Activo	0.0000108	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615835.391, y:4582275.956, z:520.784	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto7	Activo	0.000015	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615831.995, y:4582284.483, z:520.356	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto8	Activo	0.0000175	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615828.815, y:4582292.467, z:521.230	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto9	Activo	0.0000189	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615823.308, y:4582306.298, z:521.225	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto10	Activo	0.0000201	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615840.921, y:4582262.068, z:520.979	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto11	Activo	0.0000233	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615840.079, y:4582264.184, z:521.262	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto12	Activo	0.0000309	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615837.094, y:4582271.680, z:519.903	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto13	Activo	0.0000517	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615835.600, y:4582275.432, z:520.997	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Tramo metálico derecha	Vóxel

	Conflicto14	Activo	0.0000774	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615825.499, y:4582300.796, z:521.247	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto15	Activo	0.0000777	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615828.974, y:4582292.068, z:519.966	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto16	Activo	0.0000982	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615827.059, y:4582296.877, z:521.243	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto17	Activo	0.000134	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615840.994, y:4582261.885, z:519.901	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto18	Activo	0.000143	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615832.305, y:4582283.705, z:519.753	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto19	Activo	0.00017	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615834.459, y:4582278.296, z:519.909	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto20	Activo	0.000195	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615829.606, y:4582290.481, z:519.957	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto21	Activo	0.000246	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615838.696, y:4582267.431, z:519.818	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Tramo metálico derecha	Vóxel

	Conflicto22	Activo	0.00063	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615824.210, y:4582304.032, z:519.948	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto23	Activo	0.00065	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615836.017, y:4582274.383, z:519.875	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto24	Activo	0.000696	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615835.037, y:4582276.843, z:519.820	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Tramo metálico derecha	Vóxel
	Conflicto25	Activo	0.00089	De espacio libre	2024/6/25 16:55	x:615826.366, y:4582298.617, z:519.904	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder	Tramo metálico derecha	Vóxel

<b>Gálibo GEC16 vs Objetos</b>	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

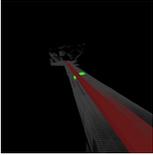
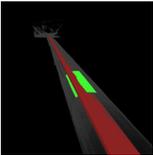
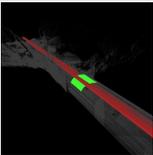
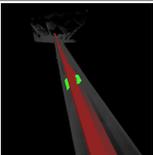
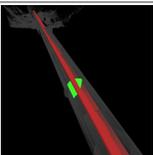
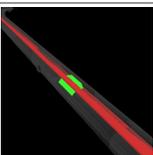
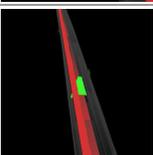
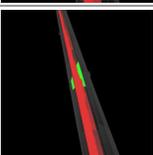
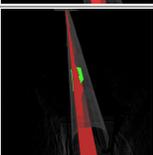
							Elemento 1			Elemento 2						
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo

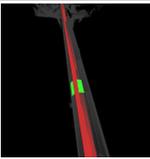
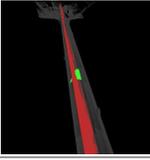
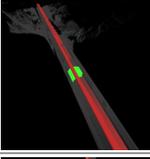
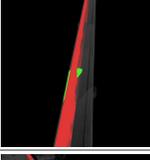
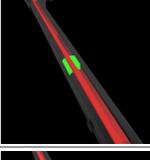
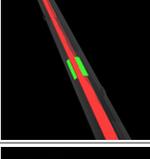
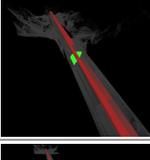
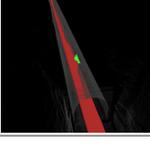
<b>Gálibo GEC16 vs Vegetación</b>	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

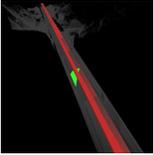
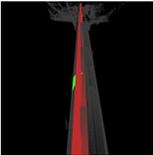
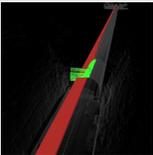
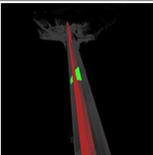
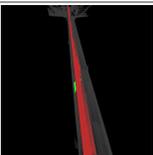
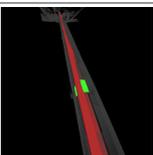
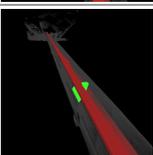
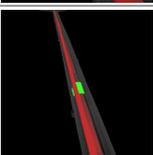
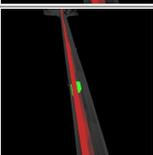
							Elemento 1			Elemento 2						
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo

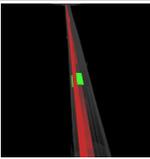
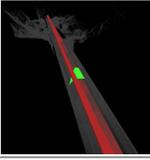
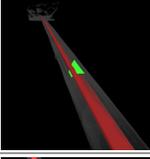
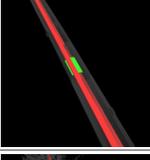
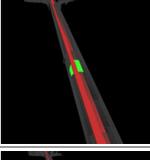
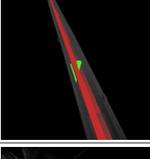
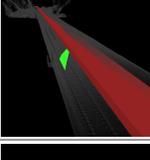
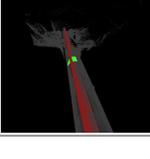
<b>Gálibo Pantógrafo vs Túnel de La Anchada (Hastial y bóveda izquierda)</b>	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	57	0	57	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

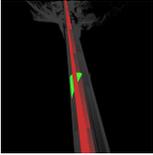
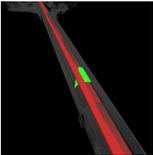
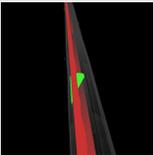
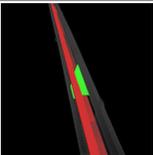
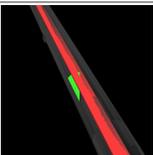
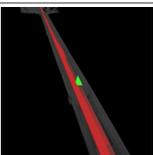
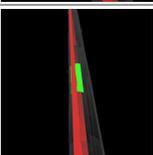
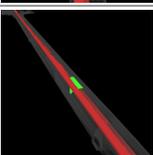
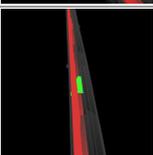
							Elemento 1			Elemento 2						
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo

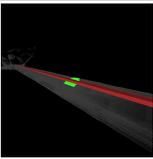
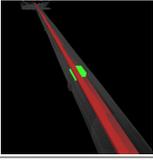
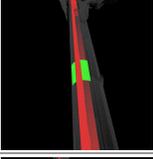
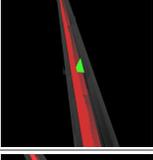
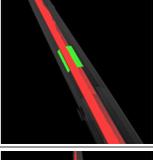
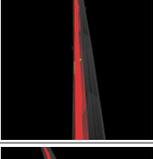
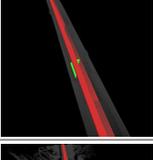
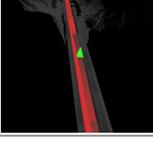
	Conflicto1	Activo	0.0000000604	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615951.755, y:4581975.477, z:523.463	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto2	Activo	0.0000000137	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615986.476, y:4581891.271, z:523.788	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto3	Activo	0.0000000152	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615856.008, y:4582214.729, z:524.338	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto4	Activo	0.0000000229	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615919.704, y:4582060.622, z:524.527	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto5	Activo	0.0000000391	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615894.375, y:4582121.953, z:524.784	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto6	Activo	0.0000000501	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615902.872, y:4582102.304, z:524.724	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto7	Activo	0.0000000586	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615955.407, y:4581969.124, z:524.050	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto8	Activo	0.0000000974	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615915.926, y:4582065.983, z:523.941	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto9	Activo	0.000000015	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615995.618, y:4581865.664, z:523.173	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel

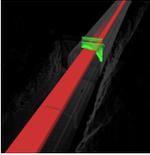
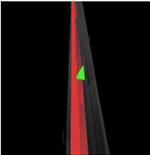
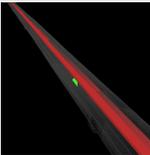
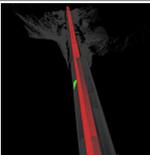
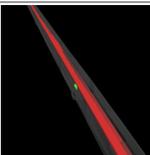
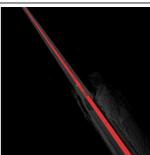
	Conflicto10	Activo	0.000000166	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615890.440, y:4582132.381, z:524.803	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto11	Activo	0.000000187	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615906.607, y:4582092.609, z:524.684	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto12	Activo	0.000000265	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615868.582, y:4582186.302, z:524.902	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto13	Activo	0.000000284	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615910.860, y:4582081.751, z:524.631	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto14	Activo	0.000000413	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615886.458, y:4582142.824, z:524.822	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto15	Activo	0.000000451	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615908.208, y:4582088.274, z:524.663	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto16	Activo	0.000000469	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615861.467, y:4582201.191, z:524.315	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto17	Activo	0.000000528	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615997.339, y:4581866.355, z:523.788	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel

	Conflicto18	Activo	0.000000532	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615870.460, y:4582178.812, z:524.274	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto19	Activo	0.000000705	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615886.681, y:4582138.482, z:524.200	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto20	Activo	0.000000737	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:616002.850, y:4581850.269, z:523.789	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto21	Activo	0.000000808	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615883.389, y:4582149.833, z:524.835	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto22	Activo	0.00000082	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615919.837, y:4582055.697, z:523.891	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto23	Activo	0.000000864	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615930.036, y:4582030.279, z:523.761	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto24	Activo	0.000000888	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615926.308, y:4582039.780, z:523.813	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto25	Activo	0.000000949	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615964.996, y:4581944.957, z:523.964	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto26	Activo	0.000000954	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615935.261, y:4582020.823, z:524.321	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel

	Conflicto27	Activo	0.00000097	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615959.018, y:4581959.664, z:524.015	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto28	Activo	0.000000979	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615872.825, y:4582175.996, z:524.883	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto29	Activo	0.00000107	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615983.287, y:4581898.788, z:523.802	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto30	Activo	0.00000112	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615943.377, y:4582000.103, z:524.203	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto31	Activo	0.00000113	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615899.039, y:4582111.072, z:524.758	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto32	Activo	0.00000114	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615944.517, y:4581997.297, z:524.187	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto33	Activo	0.00000123	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615895.542, y:4582116.104, z:524.159	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto34	Activo	0.00000134	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615865.942, y:4582192.842, z:524.914	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel

	Conflicto35	Activo	0.00000139	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615877.684, y:4582164.025, z:524.861	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto36	Activo	0.00000147	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615887.786, y:4582135.757, z:524.195	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto37	Activo	0.00000154	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615978.102, y:4581911.903, z:523.832	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto38	Activo	0.00000019	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615947.813, y:4581988.427, z:524.137	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto39	Activo	0.00000207	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615903.545, y:4582096.214, z:524.088	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto40	Activo	0.00000218	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615930.117, y:4582033.264, z:524.390	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto41	Activo	0.00000224	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615975.943, y:4581917.805, z:523.857	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto42	Activo	0.00000242	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615923.406, y:4582050.489, z:524.478	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto43	Activo	0.00000028	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615939.173, y:4582010.612, z:524.263	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel

	Conflicto44	Activo	0.00000283	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615962.293, y:4581951.491, z:523.987	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto45	Activo	0.00000303	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615968.671, y:4581932.713, z:523.305	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto46	Activo	0.00000321	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615874.206, y:4582169.543, z:524.257	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto47	Activo	0.00000396	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615896.470, y:4582117.108, z:524.775	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto48	Activo	0.0000041	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615927.149, y:4582040.848, z:524.431	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto49	Activo	0.00000522	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615936.751, y:4582013.697, z:523.668	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto50	Activo	0.00000547	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615953.732, y:4581973.478, z:524.068	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto51	Activo	0.00000749	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615862.643, y:4582201.021, z:524.929	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel

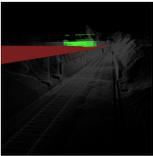
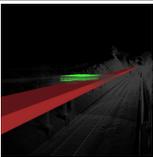
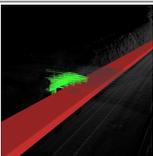
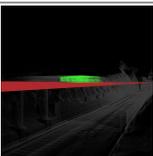
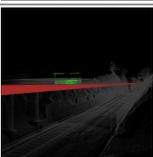
	Conflicto52	Activo	0.00000885	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615856.138, y:4582216.940, z:524.956	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto53	Activo	0.0000155	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615963.372, y:4581948.868, z:523.978	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto54	Activo	0.0000197	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615962.823, y:4581947.308, z:523.359	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto55	Activo	0.0000222	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615862.135, y:4582199.544, z:524.312	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto56	Activo	0.0000388	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615929.259, y:4582032.288, z:523.772	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel
	Conflicto57	Activo	0.0000726	De espacio libre	2024/6/25 16:56	x:615996.067, y:4581864.537, z:523.173	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel

<b>Gálibo Pantógrafo vs Túnel de La Anchada (Hastial y bóveda derecha)</b>	<b>Tolerancia</b>	<b>Conflictos</b>	<b>Nuevo</b>	<b>Activo</b>	<b>Revisado</b>	<b>Aprobado</b>	<b>Resuelto</b>	<b>Tipo</b>	<b>Estado</b>
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

							Elemento 1			Elemento 2						
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo

<b>Gálibo Pantógrafo vs Paso Superior CV-601</b>	<b>Tolerancia</b>	<b>Conflictos</b>	<b>Nuevo</b>	<b>Activo</b>	<b>Revisado</b>	<b>Aprobado</b>	<b>Resuelto</b>	<b>Tipo</b>	<b>Estado</b>
	0.001m	6	0	6	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

							Elemento 1			Elemento 2		
--	--	--	--	--	--	--	------------	--	--	------------	--	--

Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo
	Conflicto1	Activo	0.00000277	De espacio libre	2024/6/25 16:57	x:616060.505, y:4581708.670, z:523.787	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Paso Superior CV-601	Vóxel
	Conflicto2	Activo	0.0000143	De espacio libre	2024/6/25 16:57	x:616056.612, y:4581710.607, z:523.688	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Paso Superior CV-601	Vóxel
	Conflicto3	Activo	0.0000231	De espacio libre	2024/6/25 16:57	x:616057.455, y:4581708.490, z:523.719	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Paso Superior CV-601	Vóxel
	Conflicto4	Activo	0.0000803	De espacio libre	2024/6/25 16:57	x:616059.282, y:4581711.741, z:523.732	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Paso Superior CV-601	Vóxel
	Conflicto5	Activo	0.00014	De espacio libre	2024/6/25 16:57	x:616058.154, y:4581714.573, z:523.752	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Paso Superior CV-601	Vóxel
	Conflicto6	Activo	0.000817	De espacio libre	2024/6/25 16:57	x:616058.750, y:4581713.077, z:523.743	GALIBO PANTOGR	Body	LclFCRepresentationHolder		Paso Superior CV-601	Vóxel

Gálibo Pantógrafo vs Tramo Metálico izquierda	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	0	De espacio libre

						Elemento 1			Elemento 2			
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo

Gálibo Pantógrafo vs Tramo Metálico derecha	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	0	De espacio libre

								Elemento 1			Elemento 2					
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo

Gálibo Pantógrafo vs Objetos	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	0	De espacio libre

								Elemento 1			Elemento 2					
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo

Gálibo Pantógrafo vs Vegetación	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	0	De espacio libre

								Elemento 1			Elemento 2					
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo

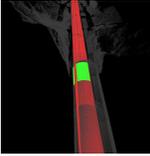
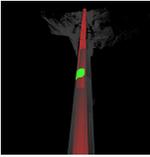
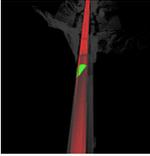
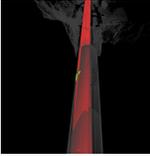
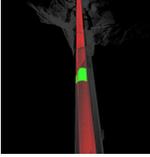
## **Informes de Colisiones: Solución proyectada con GEC16**

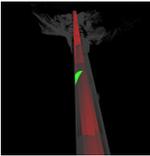
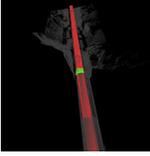
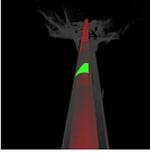
---

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

**Informe de conflictos**

Gálibo GEC16 vs Túnel de La Anchada (hastial y bóveda izquierda)	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	8	0	8	0	0	0	0	De espacio libre

Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Elemento 1			Elemento 2			Comentarios
							Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	
	Conflicto1	Activo	0.000000503	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615857.453, y:4582210.586, z:524.131	GALIBO	Body	LclIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel	#5 - jehjo - 2024/6/23 21:57 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto2	Activo	0.0000007	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615867.690, y:4582184.128, z:523.705	GALIBO	Body	LclIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel	#6 - jehjo - 2024/6/23 21:57 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto3	Activo	0.00000105	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615861.025, y:4582200.137, z:523.400	GALIBO	Body	LclIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel	#7 - jehjo - 2024/6/23 21:57 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto4	Activo	0.00000364	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615861.971, y:4582197.860, z:523.458	GALIBO	Body	LclIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel	#8 - jehjo - 2024/6/23 21:57 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto5	Activo	0.00000398	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615863.104, y:4582195.132, z:523.507	GALIBO	Body	LclIFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel	#9 - jehjo - 2024/6/23 21:57 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel

	Conflicto6	Activo	0.00000467	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615870.044, y:4582178.526, z:523.798	GALIBO	Body	LclFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#10 - jehjo - 2024/6/23 21:57 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto7	Activo	0.000021	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615854.140, y:4582216.892, z:523.203	GALIBO	Body	LclFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#11 - jehjo - 2024/6/23 21:57 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto8	Activo	0.000159	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615870.715, y:4582176.937, z:523.842	GALIBO	Body	LclFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#12 - jehjo - 2024/6/23 21:57 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel

<b>Gálibo GEC16 vs Túnel de La Anchada (hastial y bóveda derecha)</b>	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

							Elemento 1			Elemento 2							
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Comentarios

<b>Gálibo GEC16 vs Paso Superior CV-601</b>	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

							Elemento 1			Elemento 2							
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Comentarios

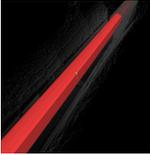
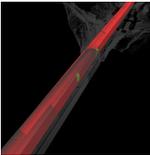
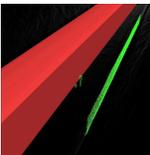
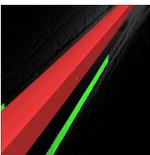
<b>Gálibo GEC16 vs Tramo Metálico izquierda</b>	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

							Elemento 1			Elemento 2							
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Comentarios

<b>Gálibo GEC16 vs Tamo Metálico derecha</b>	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

							Elemento 1			Elemento 2			
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	Comentarios

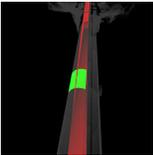
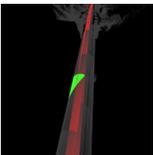
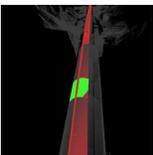
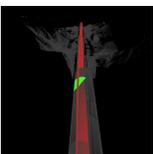
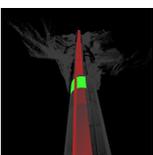
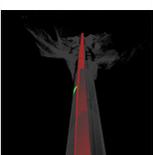
Gálbo GEC16 vs Objetos	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	4	0	0	0	0	0	4	De espacio libre

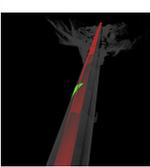
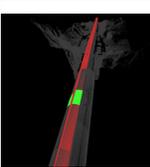
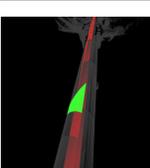
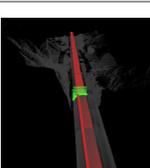
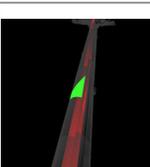
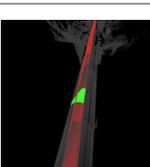
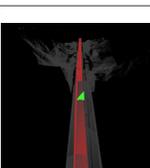
							Elemento 1			Elemento 2			
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	Comentarios
	Conflicto1	Resuelto	0.00000991	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:616030.516, y:4581790.075, z:521.701	GALIBO	Body	LclFCRepresentationHolder		Objetos pulido	Vóxel	#44 - jehjo - 2024/6/23 22:0 Se modificará y/o desplazará por motivo del ripado de la vía
	Conflicto2	Resuelto	0.0000823	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615865.308, y:4582201.271, z:522.512	GALIBO	Body	LclFCRepresentationHolder		Objetos pulido	Vóxel	#45 - jehjo - 2024/6/23 22:0 Se modificará y/o desplazará por motivo del ripado de la vía
	Conflicto3	Resuelto	0.000382	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:616046.725, y:4581747.373, z:518.760	GALIBO	Body	LclFCRepresentationHolder		Objetos pulido	Vóxel	#46 - jehjo - 2024/6/23 22:01 Se modificará y/o desplazará por motivo del ripado de la vía
	Conflicto4	Resuelto	0.000451	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:616030.021, y:4581790.120, z:518.506	GALIBO	Body	LclFCRepresentationHolder		Objetos pulido	Vóxel	#47 - jehjo - 2024/6/23 22:01 Se modificará y/o desplazará por motivo del ripado de la vía

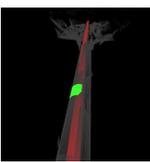
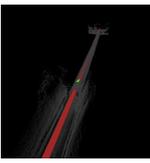
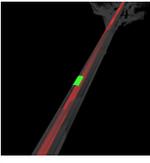
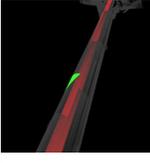
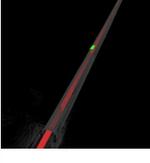
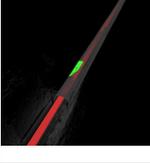
Gálbo GEC16 vs Vegetación	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	0	De espacio libre

							Elemento 1			Elemento 2			
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	Comentarios

Gálibo Pantógrafo vs Túnel de La Anchada (hastial y bóveda izquierda)	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	20	0	20	0	0	0	0	De espacio libre

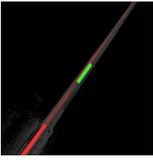
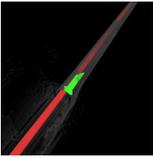
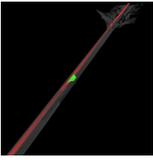
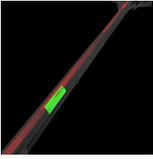
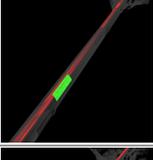
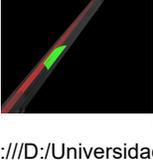
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Elemento 1			Elemento 2			Comentarios
							Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	
	Conflicto1	Activo	0.000000172	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615874.590, y:4582170.340, z:524.673	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#13 - jehjo - 2024/6/23 21:58 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel	
	Conflicto2	Activo	0.000000302	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615877.892, y:4582162.160, z:524.658	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#14 - jehjo - 2024/6/23 21:58 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel	
	Conflicto3	Activo	0.000000493	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615865.925, y:4582190.281, z:524.335	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#15 - jehjo - 2024/6/23 21:58 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel	
	Conflicto4	Activo	0.000000921	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615860.078, y:4582204.360, z:524.228	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#16 - jehjo - 2024/6/23 21:58 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel	
	Conflicto5	Activo	0.00000109	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615858.280, y:4582210.785, z:524.750	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#17 - jehjo - 2024/6/23 21:58 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel	
	Conflicto6	Activo	0.00000112	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615862.237, y:4582199.162, z:524.280	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#18 - jehjo - 2024/6/23 21:58 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel	

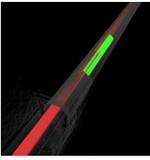
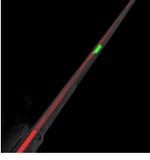
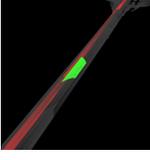
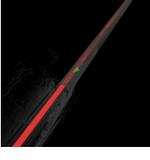
	Conflicto7	Activo	0.00000151	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615870.526, y:4582179.302, z:524.489	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#19 - jehjo - 2024/6/23 21:58 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto8	Activo	0.00000178	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615863.086, y:4582199.901, z:524.727	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#20 - jehjo - 2024/6/23 21:58 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto9	Activo	0.00000254	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615879.365, y:4582158.314, z:524.651	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#21 - jehjo - 2024/6/23 21:58 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto10	Activo	0.00000295	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615854.822, y:4582217.340, z:524.767	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#22 - jehjo - 2024/6/23 21:58 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto11	Activo	0.00000372	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615916.805, y:4582066.568, z:524.357	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#23 - jehjo - 2024/6/23 21:58 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto12	Activo	0.00000404	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615871.484, y:4582177.939, z:524.687	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#24 - jehjo - 2024/6/23 21:59 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto13	Activo	0.00000723	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615862.471, y:4582200.279, z:524.728	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#25 - jehjo - 2024/6/23 21:59 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel

	Conflicto14	Activo	0.0000242	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615883.111, y:4582149.663, z:524.635	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#26 - jehjo - 2024/6/23 21:59 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto15	Activo	0.0000492	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615997.244, y:4581865.412, z:523.588	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#27 - jehjo - 2024/6/23 21:59 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto16	Activo	0.0000502	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615892.767, y:4582126.152, z:524.576	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#28 - jehjo - 2024/6/23 21:59 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto17	Activo	0.0000962	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615886.920, y:4582140.256, z:524.563	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#29 - jehjo - 2024/6/23 21:59 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto18	Activo	0.000202	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615967.044, y:4581940.357, z:523.728	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#30 - jehjo - 2024/6/23 21:59 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto19	Activo	0.000215	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615996.291, y:4581866.902, z:523.511	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#31 - jehjo - 2024/6/23 21:59 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto20	Activo	0.000548	De espacio libre	2024/6/23 21:47	x:615917.163, y:4582065.654, z:524.353	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#32 - jehjo - 2024/6/23 21:59 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel

Gálibo Pantógrafo vs Túnel de La Anchada (hastial y bóveda derecha)	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
---	------------	------------	-------	--------	----------	----------	----------	------	--------

0.001m | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | De espacio libre | Aceptar

Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Elemento 1			Elemento 2			Comentarios
							Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	
	Conflicto1	Activo	0.000000402	De espacio libre	2024/6/23 21:48	x:615979.273, y:4581917.419, z:523.646	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel derecha	Vóxel	#33 - jehjo - 2024/6/23 21:59 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto2	Activo	0.00000091	De espacio libre	2024/6/23 21:48	x:616002.371, y:4581859.382, z:523.589	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel derecha	Vóxel	#34 - jehjo - 2024/6/23 21:59 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto3	Activo	0.00000103	De espacio libre	2024/6/23 21:48	x:615915.020, y:4582078.540, z:524.411	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel derecha	Vóxel	#35 - jehjo - 2024/6/23 21:59 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto4	Activo	0.00000181	De espacio libre	2024/6/23 21:48	x:615916.930, y:4582073.611, z:524.387	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel derecha	Vóxel	#36 - jehjo - 2024/6/23 22:0 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto5	Activo	0.00000211	De espacio libre	2024/6/23 21:48	x:615921.315, y:4582061.606, z:524.329	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel derecha	Vóxel	#37 - jehjo - 2024/6/23 22:0 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto6	Activo	0.00000284	De espacio libre	2024/6/23 21:48	x:615907.953, y:4582096.096, z:524.497	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel derecha	Vóxel	#38 - jehjo - 2024/6/23 22:0 v
	Conflicto7	Activo	0.00000533	De espacio libre	2024/6/23 21:48	x:615900.319, y:4582115.162, z:524.570	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder		Túnel derecha	Vóxel	#39 - jehjo - 2024/6/23 22:0 Se deberá de ampliar al completo

	Conflicto8	Activo	0.0000073	De espacio libre	2024/6/23 21:48	x:615995.756, y:4581874.958, z:523.588	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel derecha	Vóxel	la sección del túnel
	Conflicto9	Activo	0.0000105	De espacio libre	2024/6/23 21:48	x:615961.918, y:4581960.978, z:523.816	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel derecha	Vóxel	#40 - jehjo - 2024/6/23 22:0 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto10	Activo	0.0000148	De espacio libre	2024/6/23 21:48	x:615899.907, y:4582116.255, z:524.572	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel derecha	Vóxel	#41 - jehjo - 2024/6/23 22:0 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel
	Conflicto11	Activo	0.0000823	De espacio libre	2024/6/23 21:48	x:616000.269, y:4581864.750, z:523.477	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel derecha	Vóxel	#42 - jehjo - 2024/6/23 22:0 Se deberá de ampliar al completo la sección del túnel

<b>Gálibo Pantógrafo vs Paso Superior CV-601</b>	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

							Elemento 1			Elemento 2							
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Comentarios

<b>Gálibo Pantógrafo vs Tramo Metálico izquierda</b>	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

							Elemento 1			Elemento 2							
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Comentarios

<b>Gálibo Pantógrafo vs Tramo Metálico derecha</b>	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

							Elemento 1			Elemento 2			
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	Comentarios

Gálibo Pantógrafo vs Vegetación	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	0	De espacio libre

							Elemento 1			Elemento 2			
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	Comentarios

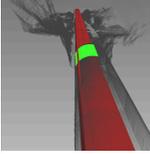
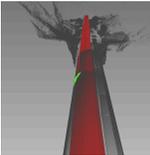
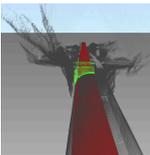
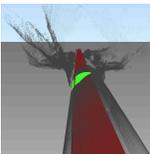
## **Informes de Colisiones: Solución proyectada con AF 4.2-IP**

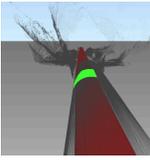
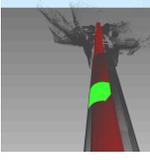
---

*Innovación en la determinación de gálibos ferroviarios mediante nube de puntos.*

**Informe de conflictos**

Gálibo AF 4.2 IP vs Túnel de La Anchada (hastial y bóveda izquierda)							Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
							0.001m	6	0	0	0	0	6	De espacio libre	Aceptar

Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Elemento 1			Elemento 2			Comentarios
							Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	
	Conflicto1	Resuelto	0.000000319	De espacio libre	2024/6/23 19:46	x:615855.791, y:4582213.032, z:523.323	GALIBO	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel	#5 - jehjo - 2024/6/23 20:41 Se ampliará la sección en Hastial izquierdo del Túnel La Anchada 40 cm, desde el P.K.594+538 - P.K. 594+578
	Conflicto2	Resuelto	0.000000291	De espacio libre	2024/6/23 19:46	x:615862.180, y:4582197.911, z:523.783	GALIBO	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel	#6 - jehjo - 2024/6/23 20:55 Se ampliará la sección en Hastial izquierdo del Túnel La Anchada 40 cm, desde el P.K.594+538 - P.K. 594+578
	Conflicto3	Resuelto	0.000000297	De espacio libre	2024/6/23 19:46	x:615854.219, y:4582216.881, z:523.335	GALIBO	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel	#7 - jehjo - 2024/6/23 20:57 Se ampliará la sección en Hastial izquierdo del Túnel La Anchada 40 cm, desde el P.K.594+538 - P.K. 594+578
	Conflicto4	Resuelto	0.000000316	De espacio libre	2024/6/23 19:46	x:615860.441, y:4582202.430, z:523.835	GALIBO	Body	LclFCRepresentationHolder		Túnel izquierda	Vóxel	#8 - jehjo - 2024/6/23 20:57 Se ampliará la sección en Hastial izquierdo del Túnel La Anchada 40 cm, desde el P.K.594+538 - P.K. 594+578

	Conflicto5	Resuelto	0.0000106	De espacio libre	2024/6/23 19:46	x:615863.128, y:4582195.525, z:523.765	GALIBO	Body	LclFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#9 - jehjo - 2024/6/23 20:57 Se ampliará la sección en Hastial izquierdo del Túnel La Anchada 40 cm, desde el P.K.594+538 - P.K. 594+578
	Conflicto6	Resuelto	0.0000185	De espacio libre	2024/6/23 19:46	x:615865.134, y:4582190.542, z:523.732	GALIBO	Body	LclFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#10 - jehjo - 2024/6/23 20:57 Se ampliará la sección en Hastial izquierdo del Túnel La Anchada 40 cm, desde el P.K.594+538 - P.K. 594+578

<b>Gálibo AF 4.2 IP vs Túnel de La Anchada (hastial y bóveda derecha)</b>	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

							Elemento 1			Elemento 2							
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Comentarios

<b>Gálibo AF 4.2 IP vs Paso Superior CV-601</b>	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

							Elemento 1			Elemento 2							
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Comentarios

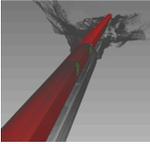
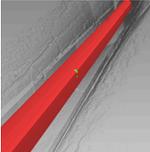
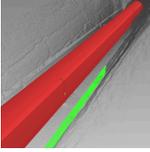
<b>Gálibo AF 4.2 IP vs Tramo Metálico Izquierda</b>	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

							Elemento 1			Elemento 2							
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Comentarios

<b>Gálibo AF 4.2 IP vs Tramo Metálico Derecha</b>	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

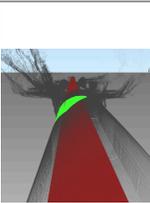
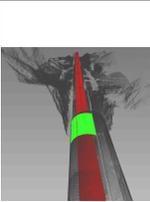
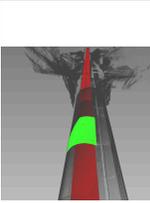
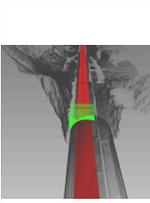
							Elemento 1			Elemento 2							
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Comentarios

Gálibo AF 4.2 IP vs Objetos	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	4	0	0	0	0	0	4	De espacio libre

Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Elemento 1			Elemento 2			Comentarios
							Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	
	Conflicto1	Resuelto	0.00000048	De espacio libre	2024/6/23 19:49	x:615864.851, y:4582202.085, z:523.713	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Objetos pulido	Vóxel	#1 - jehjo - 2024/6/23 20:17 Se modificará de posición y/o desplazará por motivo del ripado de la vía
	Conflicto1	Resuelto	0.00000991	De espacio libre	2024/6/23 19:49	x:616030.516, y:4581790.075, z:521.390	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Objetos pulido	Vóxel	#2 - jehjo - 2024/6/23 20:19 Se modificará y/o desplazará por motivo del ripado de la vía
	Conflicto3	Resuelto	0.000382	De espacio libre	2024/6/23 19:49	x:616046.725, y:4581747.373, z:518.760	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Objetos pulido	Vóxel	#3 - jehjo - 2024/6/23 20:19 Se modificará y/o desplazará por motivo del ripado de la vía
	Conflicto4	Resuelto	0.000451	De espacio libre	2024/6/23 19:49	x:616030.021, y:4581790.120, z:518.506	GALIBO	Body	LcIFCRepresentationHolder		Objetos pulido	Vóxel	#4 - jehjo - 2024/6/23 20:19 Se modificará y/o desplazará por motivo del ripado de la vía

Gálibo Pantógrafo vs Túnel de La Anchada (hastial y bóveda izquierda)	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	5	0	0	0	0	0	5	De espacio libre

Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Elemento 1			Elemento 2			Comentarios
							Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	

	Conflicto1	Resuelto	0.000000744	De espacio libre	2024/6/23 19:52	x:615859.274, y:4582206.427, z:524.246	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#11 - jehjo - 2024/6/23 20:58 Se ampliará la sección en Has al izquierdo del Túnel La Anchada 40 cm, desde el P.K.594+538 - P.K. 594+578
	Conflicto2	Resuelto	0.00000175	De espacio libre	2024/6/23 19:52	x:615856.711, y:4582212.955, z:524.321	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#12 - jehjo - 2024/6/23 20:58 Se ampliará la sección en Has al izquierdo del Túnel La Anchada 40 cm, desde el P.K.594+538 - P.K. 594+578
	Conflicto3	Resuelto	0.00000339	De espacio libre	2024/6/23 19:52	x:615862.505, y:4582198.645, z:524.280	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#13 - jehjo - 2024/6/23 20:58 Se ampliará la sección en Has al izquierdo del Túnel La Anchada 40 cm, desde el P.K.594+538 - P.K. 594+578
	Conflicto4	Resuelto	0.00000923	De espacio libre	2024/6/23 19:52	x:615855.097, y:4582216.989, z:524.331	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#14 - jehjo - 2024/6/23 20:58 Se ampliará la sección en Has al izquierdo del Túnel La Anchada 40 cm, desde el P.K.594+538 - P.K. 594+578
	Conflicto5	Resuelto	0.000585	De espacio libre	2024/6/23 19:52	x:615862.053, y:4582199.740, z:524.293	GALIBO PANTOGR	Body	LcIFCRepresentationHolder	Túnel izquierda	Vóxel	#15 - jehjo - 2024/6/23 20:58  #16 - jehjo - 2024/6/23 20:58 Se ampliará la sección en Has al izquierdo del Túnel La Anchada 40 cm, desde el P.K.594+538 - P.K. 594+578

<b>Gálbo Pantógrafo vs Túnel de La Anchada (hastial y bóveda derecha)</b>	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

							Elemento 1			Elemento 2							
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Comentarios

<b>Gálbo Pantógrafo vs Paso Superior CV-601</b>	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

							Elemento 1			Elemento 2							
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Comentarios

<b>Gálbo AF 4.2 IP vs Vegetación</b>	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

							Elemento 1			Elemento 2							
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Comentarios

<b>Gálbo Pantógrafo vs Vegetación</b>	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	0	0	0	0	0	0	De espacio libre	Aceptar

							Elemento 1			Elemento 2							
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Capa	Elemento	Nombre	Elemento	Tipo	Comentarios