
ESTRUCTURAS

ANEJO
7

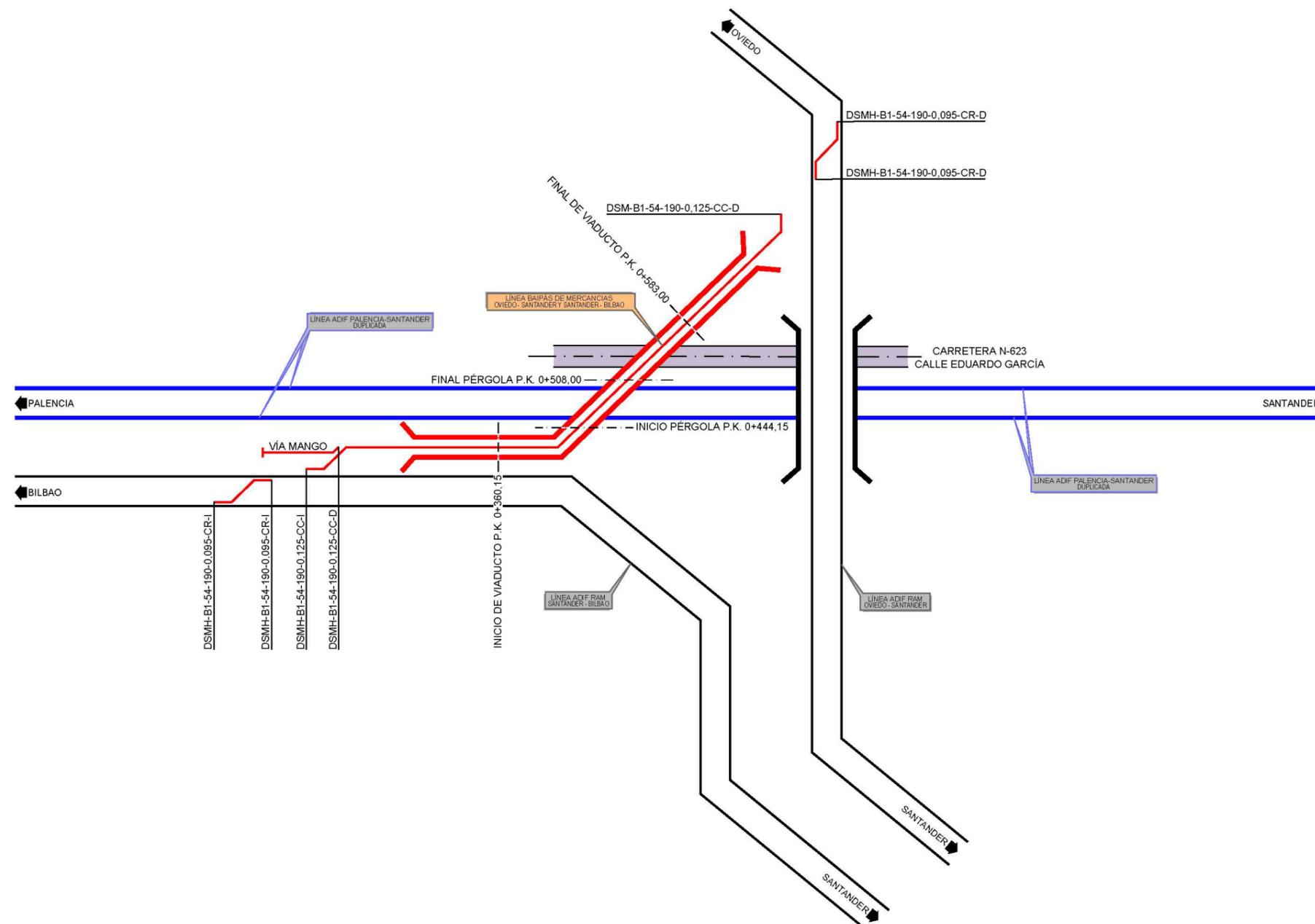
1. Introducción y Objeto	1
2. Normativa Técnica y Otra Documentación.....	2
2.1. Normativa estructural vigente:	2
2.1.1. Instrucción de Acciones en Puentes de Ferrocarril (IAPF-07)	2
2.1.2. Instrucción de Acciones en Puentes de Carretera (IAP-11).....	2
2.1.3. Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Cargas de Tráfico en Puentes. UNE-EN-1992-2	2
2.1.4. Norma de Construcción Sismorresistente, Parte General y Edificación (NCSE-02) y Parte de Puentes (NCSP-07)	2
2.2. Otra documentación Estructural	2
3. Condicionantes Geotécnicos para el diseño de las estructuras del proyecto:	3
4. Criterios de diseño de las estructuras	3
4.1. Trazado ferroviario del ramal.	4
4.2. Condicionantes geotécnicos.....	4
4.3. Criterios geométricos.	4
4.4. Funcionalidad.	4
4.5. Proceso Constructivo.....	5
4.6. Conservación y mantenimiento.....	5
5. Actuaciones estructurales a desarrollar	6
5.1. Viaductos y pérgola	6
5.1.1. Viaducto 1.	6
5.1.2. Viaducto 2.	8
5.1.3. Pérgola.	9
5.2. Muros.	12
5.2.1. Muro 1.	12
5.2.2. Muro 2.	14
5.2.3. Sección en U.....	14
5.2.4. Muro 3.	15
5.2.5. Muro 4.	16
5.2.6. Protección pila P5.	16
6. Procesos Constructivos de las Estructuras	17
6.1. Viaductos y pérgola:	17
6.1.1. Viaductos.	17

6.1.2. Pérgola.....	18
6.2. Muros.....	19
6.2.1. Muros en voladizo y sección en U de hormigón armado.....	19
6.2.2. Muros/protecciones de pilotes.....	19
7. Cumplimiento de las ETI de Interoperabilidad de las Estructuras y Obras de Tierra	19
7.1. Cargas Verticales para las Estructuras.....	19
7.2. Carga Vertical para las Obras de Tierra Nueva y Efectos del Empuje del Terreno:	21
7.3. Resistencia De Las Estructuras Nuevas sobre las vías o adyacentes a las mismas.	21

1. Introducción y Objeto

En el presente Anejo se analiza el encaje de estructuras incluidas en el enlace ferroviario diseñado en este estudio informativo, que permitirá conectar las líneas de ancho métrico Santander – Bilbao y Oviedo – Santander. En el corto recorrido del ramal, de poco más de 700 m (718,256 m), debe ganar cota suficiente para salvar la línea de ADIF entre Palencia y Santander, que a futuro será duplicada, la carretera N-623, y un camino de acceso a una

parcela colindante. Todo esto, unido a que queda encajada entre las líneas que comunica y las que salva, hace que discorra prácticamente en su totalidad en estructura.



A la complicación citada anteriormente se une los cruces esviados con las estructuras existentes, por lo que el encaje y definición tiene una complejidad considerable, habiendo sido necesario definir:

- Pérgola sobre la futura duplicación de la línea de ADIF entre Palencia y Santander.
- Viaductos a ambos márgenes de la pérgola, ejecutados con tableros prefabricados, permitiendo ganar la cota necesaria y salvar la carretera N-623 y el citado camino de acceso.
- Muros al inicio y final del trazado, ya que discurre paralelo y próximo a las líneas ferroviarias que enlaza y a la de ADIF, evitando de esta manera las afecciones.
- Muro/pantalla de protección de la pila 5 en viaducto 2, debido a los encajes realizados.

El enlace se realiza en vía única, por lo que la plataforma propuesta tendrá una anchura de 7,0 m.

2. Normativa Técnica y Otra Documentación.

Se incluye a continuación la normativa y otra documentación de carácter no normativo empleada en el diseño de las estructuras de nueva ejecución del estudio informativo.

2.1. Normativa estructural vigente:

Las estructuras diseñadas deberán adecuarse a la normativa estructural de acciones actualmente vigente.

A continuación, se incluye una descripción de las normativas principales, así como de su ámbito de aplicación en el caso de las estructuras objeto del diseño en este apartado del estudio.

2.1.1. Instrucción de Acciones en Puentes de Ferrocarril (IAPF-07)

La IAPF-07 es de aplicación al proyecto de puentes de nueva construcción integrados en la red ferroviaria de interés general de anchos ibérico, UIC o métrico, independientemente de su tipología, material constructivo o velocidad de proyecto, así como a otras estructuras que soporten vías férreas tales como alcantarillas, tajeas, muros.

2.1.2. Instrucción de Acciones en Puentes de Carretera (IAP-11)

La instrucción IAP-11 es de aplicación al proyecto de puentes de carretera, es decir, a estructuras que para salvar una discontinuidad en un trazado permiten el paso del tráfico

rodado formado por vehículos convencionales del parque automovilístico que circulan por la red de carreteras. También es de aplicación a pasarelas, rampas de acceso y muros.

2.1.3. Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Cargas de Tráfico en Puentes. UNE-EN-1992-2

La Norma EN 1991-2 define las cargas impuestas (modelos y valores representativos) asociadas con el tráfico rodado, acciones de los peatones y tráfico ferroviario, lo que incluye, cuando proceda, efectos dinámicos y acciones centrífugas, de frenado y acelerado y de situaciones de proyecto accidentales. Están previstas para utilizarse en el proyecto de nuevos puentes, incluyendo pilas, estribos, muros, aletas, muros de vuelta, etc. y sus cimentaciones.

2.1.4. Norma de Construcción Sismorresistente, Parte General y Edificación (NCSE-02) y Parte de Puentes (NCSP-07)

Las Normas NCSE-02 y NCSP-07 conforman la normativa sísmica actualmente en vigor.

El ámbito de aplicación de la Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (NCSP-07), se extiende a todos los proyectos y obras de nueva construcción de puentes que formen parte de la red de carreteras del Estado o de la red ferroviaria de interés general.

2.2. Otra documentación Estructural

Se incluye a continuación otra documentación a considerar en las estructuras objeto del presente estudio:

- Norma ADIF plataforma NAP 2-0-0.1 Puentes y Viaductos Ferroviarios, 2ª Edición: Julio 2018 + M1: mayo 2019 (borrador).
- Norma ADIF plataforma NAP 0-1-0.0 Nomenclatura de Estructuras, Túneles y Obras de Drenaje para Proyectos de Plataforma.
- Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado, publicada por la DGC, Mº de Fomento en 2012.
- Obras de Paso de Nueva Construcción-Conceptos Generales: Publicada por la DGC, Ministerio de Fomento en 2000. Aunque está redactada basada en normativas de acciones ya derogadas, sigue manteniendo criterios de diseño que se estima que son válidos a este nivel del Proyecto.
- Nota Técnica sobre aparatos de apoyo para puentes de carretera, Dirección General de Carreteras, 1995.

- Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera, Dirección General de Carreteras, 2005.
- Orden FOM/3317/2010, de 17 de diciembre, por la que se aprueba la Instrucción sobre las medidas específicas para la mejora de la eficiencia en la ejecución de las obras públicas de infraestructuras ferroviarias, carreteras y aeropuertos del Ministerio de Fomento.
- Norma ADIF Plataforma, Índice Tipo y Contenido de los Proyectos de Plataforma Ferroviaria 5ª Edición aprobada en mayo 2019.
- Cumplimiento del Real Decreto 1434/2010 de 5 noviembre (BOE 6 noviembre de 2019) sobre Interoperabilidad del Sistema Ferroviario de la Red Ferroviaria de Interés General, así como la Directiva 2016/797/UE de 11 de mayo de 2016, sobre la interoperabilidad del sistema ferroviario dentro de la Unión Europea.

3. Condicionantes Geotécnicos para el diseño de las estructuras del proyecto:

En apartado desarrollado se reflejarán los condicionantes geotécnicos para las estructuras, ya que puede tener un peso elevado para la elección de la tipología más adecuada, es de suponer que la cimentación de las estructuras represente una parte importante del presupuesto de la actuación.

En el Anejo 4 Geología y geotecnia se pueden encontrar los perfiles geológico/geotécnicos a los que se hace alusión en este epígrafe.

En las prospecciones recopiladas se observa la presencia de espesores variables de **rellenos antrópicos (1)** (balasto, plataforma, rellenos incontrolados, etc) sobre unos 5 a 8 m de depósitos de marisma, material muy blando y deformable. Los **depósitos de marisma (2)** son una unidad muy poco competente, con golpes de incluso 1 en los ensayos de penetración dinámica. Por tanto, es un material que presenta insuficiente capacidad portante a corto plazo y provocaría asentamientos inadmisibles diferidos en el tiempo a largo plazo. En consecuencia, todas las **estructuras** propuestas de deben de cimentar mediante cimentación profunda.

Subyacente se encuentra el **sustrato (3)**, que como se puede observar en los perfiles geológicos, está formado por diferentes unidades. En ese sentido, el entorno de la actuación es una zona complicada geológicamente con fallas y pliegues. Las unidades encontradas son **materiales competentes para la cimentación**, aunque presentan cierta problemática que requerirá de una campaña de investigación mucho más completa en fases sucesivas del proyecto.

Como se puede ver en el siguiente perfil, el terreno competente se interpreta subyacente al nivel de Depósitos de Marisma, a una cota en torno a -3 m.s.n.m. Al encontrarnos en zona muy compleja geológicamente, se va a contar con varios materiales de cimentación, cuyos contactos entre ellos son supuestos y habría que investigar en fases más avanzadas de proyecto. En la zona de conexión con la línea Santander Bilbao la cimentación de los muros se realizaría sobre el nivel de arcillas y yesos triásicos (Tr), detectados en el sondeo SE-511+280. En el viaducto 2 aparece la unidad de Calizas Jurásicas (Ju), observadas en el sondeo SE-511+910, y finalmente en la zona de conexión con la línea Oviedo Santander podrían aparecer areniscas y lutitas cretácicas con diferentes niveles de alteración, tal como se observa en el sondeo SE-512+411, situado más al noroeste. Hay que tener en cuenta que no se dispone de prospecciones en esta última zona por lo que el material de apoyo podría ser diferente.

Los materiales detectados y que servirán como material de cimentación presentan ciertos problemas y riesgos, en especial la unidad de caliza que podría presentar karstificaciones localizadas. En los sondeos ejecutados en otros tramos alejados a la zona de estudio, se han encontrado una serie de cavidades kársticas. En los escasos sondeos que perforan esta unidad en este tramo no se llega a detectar ninguna cavidad kárstica, aun así, se podrá considerar como posible riesgo geológico, pero no está detectado que se encuentre en el trazado de este estudio informativo.

También existe el riesgo de colapsos por disolución de yesos en las arcillas y yesos triásicos.

Por lo descrito anteriormente se considera para el diseño que la cimentación profunda requerirá una longitud de unos 12,0 m que con el empotramiento necesario supondrá unos 15,0 m para este nivel de estudio.

4. Criterios de diseño de las estructuras

A continuación se tratarán los aspectos que se han tenido en cuenta para el encaje y posterior diseño estructural, lo cual justifica la solución adoptada en cada caso.

Los criterios que se han analizado y condicionado el diseño estructural han sido:

- Trazado ferroviario del ramal (encaje).
- Condicionantes geotécnicos.
- Funcionalidad.
- Proceso Constructivo.
- Conservación y mantenimiento.

A continuación se desarrolla el tratamiento de cada una de ellas.

4.1. Trazado ferroviario del ramal.

Resulta evidente que las estructuras deben encajarse en el trazado ferroviario, siendo estas las que le proporcionan la funcionalidad requerida.

Para lograr ese compendio es necesario que el trazado tenga en cuenta las limitaciones técnicas con las que se pueden ejecutar las estructuras para conseguir un encaje con tipología y materiales viables.

También se tiene que tener en cuenta las necesidades del servicio a prestar, tanto para el encaje de trazado como el posterior diseño estructural, no teniendo los mismos requerimientos una línea de alta velocidad que una de cercanías o de mercancías.

En la fase desarrollada se ha partido de un trazado, que previamente ha tenido en cuenta mínimos estructurales, a partir de este, y considerando todos los criterios desarrollados se encajan la estructuras, partiendo de los puntos en los que se pueden realizar apoyos y cimentaciones.

En el caso tratado cabe señalar el cruce tan esviado que se produce con la línea de ADIF entre Palencia y Santander así como su trazado curvo, por lo que las estructuras deberán encajar en dicha geometría descartando vanos largos prefabricados que deben ser rectos.

4.2. Condicionantes geotécnicos.

Resulta fundamental para diseñar una tipología lo más adecuada posible al comportamiento del terreno, en este caso adaptación a posibles asientos.

En el caso tratado existe una primera capa de material muy deficiente para servir de cimentación, por lo que ha sido necesario recurrir a una cimentación profunda para todos los elementos de las estructuras importantes, como son pilas y estribos.

También, con la finalidad de evitar posibles problemas a posteriori, o en su caso minimizar estos, se opta por el empleo de estructuras isostáticas que se adaptan mejor a asientos diferenciales.

4.3. Criterios geométricos.

La mayor parte del trazado se ejecutará sobre estructura, por lo que en primer lugar se fijará el criterio para su encaje.

La distancia exigida por las NAP 2-0-0.4 entre el eje de vía y el paramento más cercano (pilas o estribos) debería ser superior a:

Ancho de vía	d
1,435 m	5,1 m
1,668 m	5,4 m
1,000 m	4,6 m

Para distancias menores será necesario la realización del cálculo de impacto.

Para el encaje de la pérgola se ha dejado una distancia entre el eje de vía y la cara de pila/estribo de la pérgola más próxima de 5,50 m > 5,40 m exigidos para vía de ancho métrico sobre la que se cruza.

4.4. Funcionalidad.

Un aspecto importante en el diseño es el pensamiento en el comportamiento futuro de la estructura dentro del ramal, existen dos visiones:

- Prioridad estructural, se piensa en la estructura y se adoptan tipologías hiperestáticas con mejor comportamiento.
- Prioridad ferroviaria, se piensa en el ferrocarril y se evitan las disposiciones de juntas en la vía que minimizar el mantenimiento, aunque para ello se opta por soluciones estructurales isostáticas.

En el caso tratado se ha preferido “penalizar” a la estructura y evitar la disposición de aparatos de dilatación de vía debido a las particularidades de la línea minimizando el mantenimiento. Para ello será necesario la ejecución de vanos de comportamiento isostático tanto longitudinal como transversalmente.

Dentro del apartado de funcionalidad quedarían incluidos otros aspectos o elementos no estrictamente estructurales que deberán ser contemplados en el diseño de las estructuras objeto de ese estudio.

Entre los que se pueden citar:

- Drenaje de la estructura:
El drenaje de la estructura se diseñará siguiendo los criterios del apartado 4.2.2. de la NAP 2-0-0.1 Puentes y Viaductos Ferroviarios, tanto en lo que al tablero, pilas y estribos se refiere.

- Impermeabilización del tablero:
La impermeabilización de la estructura se diseñará siguiendo los criterios del apartado 4.2.2. de la NAP 2-0-0.1 Puentes y Viaductos Ferroviarios:
 - Impermeabilización para la zona de vía con imprimación del tablero, membrana termosoldable y sistema de protección con mezcla de aglomerado asfáltico.
 - Impermeabilización con membrana termosoldable para el resto del tablero.
- Impostas, barandilla y otros elementos.
Será necesaria la disposición de impostas en el tablero, al igual que de barandillas, se considerando lo indicado en el apartado 4.2.6 de la NAP 2-0-0.1 Puentes y Viaductos Ferroviarios.
 - Especialmente lo indicado a su anclaje, pintura, zonas de situación, prolongándose hasta que no haya riesgo de caída en altura vertical.

Respecto a la posible instalación de pantallas de protección acústica, en la situación actual del proyecto no está prevista tal actuación en la zona del puente.
- Anclajes de los postes de electrificación.
En el apartado 4.2.4 “Anclajes de los postes de electrificación” de la NAP anteriormente indicada, se incluye que los proyectos de plataforma no incluyen estos elementos, sin embargo, el proyectista:
 - Deberá tener en cuenta el cálculo local del anclaje de los posibles postes en el tablero.
 - Asimismo, deberá tener en cuenta esa posibilidad, desde el punto de vista geométrico, y da el valor de referencia de un lado de placa de 600 o 630 mm de lado aproximadamente.
- Puesta a tierra de la estructura:
En la NAP 2-0-0.1 se indica en su apartado 4.9 que se realizará conforme a la NAP 3-0-0.0 “Instalaciones ferroviarias de la plataforma”: Todos los elementos metálicos existentes se conectarán a la tierra de la estructura.

4.5. Proceso Constructivo.

Aunque se realizará un tratamiento particularizado de los procesos constructivos en este apartado se analizan desde el punto de vista de diseño.

Uno de los principales problemas es que el cruce se realiza sobre la línea ferroviaria Palencia-Santander y la carretera N-635, ya que no está prevista la posibilidad de realizar cortes en ninguna de estas infraestructuras para poder ejecutar las estructuras necesarias, por lo que se descarta la ejecución de estructuras mediante cimbras, ya que su disposición implicaría cortes de tráfico.

Se podría suplir con el empleo de autocimbras, pero estas se descartan por los siguientes motivos:

1. Requiere que se suba la rasante del trazado, al menos en el cruce, aun siendo superiores, lo que implica mayores dimensiones de las estructuras.
2. La longitud de las estructuras que se pueden ejecutar con cimbras es reducida, por lo que no resulta económico su empleo.
3. Las luces a las que se debe recurrir no son las más adecuadas para el empleo de este tipo de estructuras auxiliares.

Por lo analizado anteriormente se opta por una ejecución de tableros prefabricados, siendo posible el montar las vigas en bandas de mantenimiento o cortes parciales, por lo que se podrá mantener el tráfico durante la ejecución de la estructura.

Además de lo mencionado anteriormente. las luces a las que es necesario recurrir son adecuadas para la tipología de tableros prefabricados.

4.6. Conservación y mantenimiento.

Desde la publicación de la EHE-08 y la posterior EAE se exige la inclusión de un plan de mantenimiento para todas las estructuras.

No se debe perder de vista que el coste en mantenimiento suele ser del mismo orden que el de ejecución pero más dilatado en el tiempo, por lo que no pensar en este aspecto sería un error (que a la larga se paga tanto técnica como económicamente).

Siguiendo ese criterio se han descartado soluciones metálicas o mixtas que ya de por sí su empleo queda penalizado en líneas electrificadas, además requieren bastante más mantenimiento e inversión posterior.

Siguiendo en la misma línea se ha evitado la disposición de estribos fijos que requieran mantenimiento, se han colocado juntas sencillas habituales en los tableros de ferrocarril que no requieren especial tratamiento.

En el caso de la pérgola, y con el mismo criterio, el tablero se unirá con el espaldón del estribo, evitando en este caso disponer juntas en esa estructura.

Las soluciones adoptadas han sido de hormigón, ya sea ejecutadas in situ o prefabricadas para minimizar afecciones, todas ellas en la línea de minimizar las actuaciones y coste de conservación y el mantenimiento.

Según se ha descrito anteriormente se opta por no disponer aparatos de dilatación de vía, que requieren un mayor gasto de conservación, que debido al tipo de línea resulta aún de mayor importancia.

5. Actuaciones estructurales a desarrollar

Aunque se trata de un trazado con una longitud pequeña discurre casi en su totalidad sobre estructuras, habiendo sido necesario definir:

- Pérgola sobre la futura duplicación de la línea de ADIF entre Palencia y Santander.
- Viaductos a ambos márgenes de la pérgola, ejecutados con tableros prefabricados, permitiendo ganar la cota necesaria y salvar la carretera N-623 y el camino de acceso a una finca colindante.
- Muros al inicio y final del trazado, ya que discurre paralelo y próxima a las líneas ferroviarias que enlaza y a la de ADIF, evitando de esta manera las afecciones.
- Muro/pantalla de protección de la pila 5 en viaducto 2, debido a los encajes realizados.

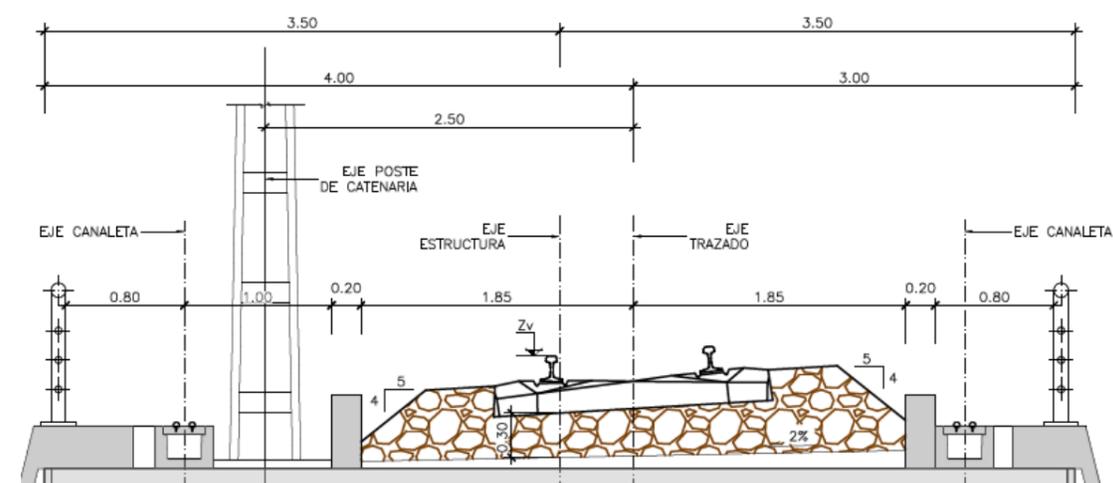
El enlace se realiza en vía única de ancho métrico, por lo que la plataforma propuesta tendrá una anchura de 7,0 m.

A continuación, se procederá a analizar cada una de las estructuras requeridas en el tramo organizadas en orden de importancia.

5.1. Viaductos y pérgola.

En el apartado se engloban dos viaductos que permiten acceder a la pérgola que salvará el cruce esviado con la línea ferroviaria Palencia-Santander. Estas tres estructuras ocupan una longitud total del trazado de 222,85 m.

La sección de plataforma en este tramo de estructuras será la siguiente:

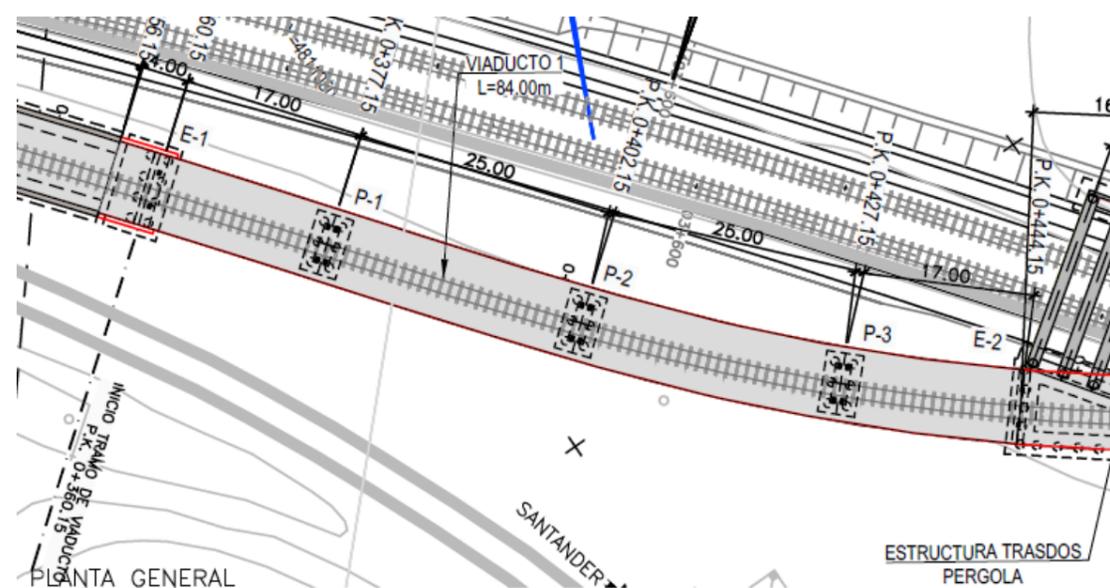


En la que se pueden distinguir los siguientes elementos necesarios para la prestación del servicio:

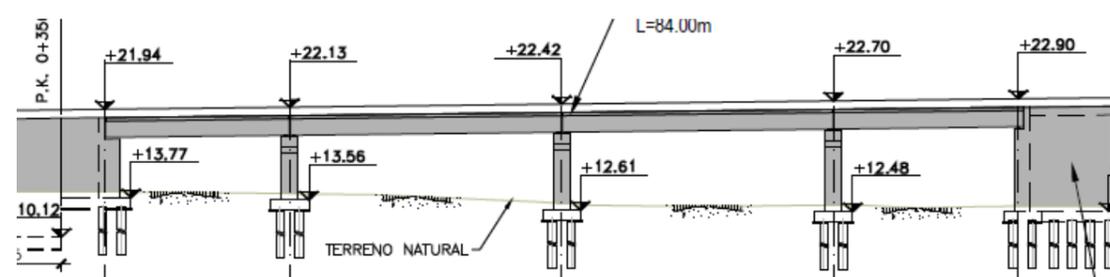
- Barrera e imposta.
- Canaletas.
- Paseo de mantenimiento.
- Catenaria.
- Murete guardabalasto.
- Vía.

5.1.1. Viaducto 1.

Este primer viaducto permitirá alcanzar la cota de la pérgola, para ello se encaja con una longitud de 84, m desde el punto donde los muros empiezan a ser demasiado elevados, donde se dispone el estribo E-1 (PK 0+360,15), hasta donde enlaza con la pérgola y termina, estribo E-2 (PK 0+444,15).

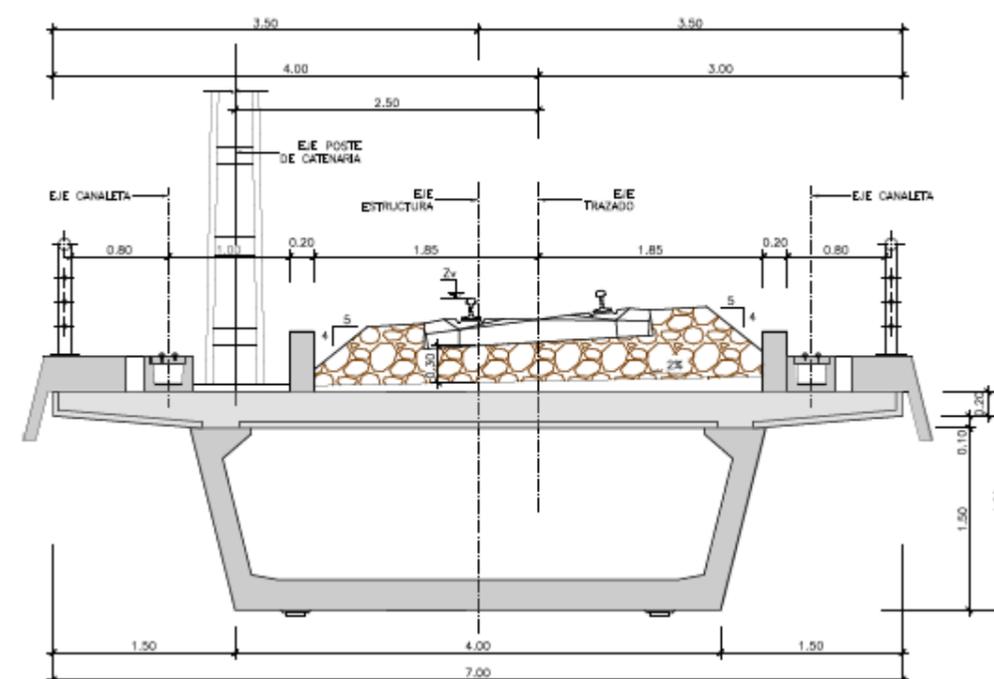


Según se aprecia en la planta el encaje del viaducto se ha realizado con cuatro vanos de 17+25+25+17, por lo que será necesaria la ejecución de tres pilas situadas aproximadamente en el PK 0+377,17, PK 0+402,15 y PK 0+427,15.



Para la anchura requerida y la luz de cálculo que en este caso será de 25,0 m, se propone un **tablero** con canto de 1,80 m en el que se puede distinguir:

- Viga artesa prefabricada de 1,50 m.
- Losa in situ de 30 cm.

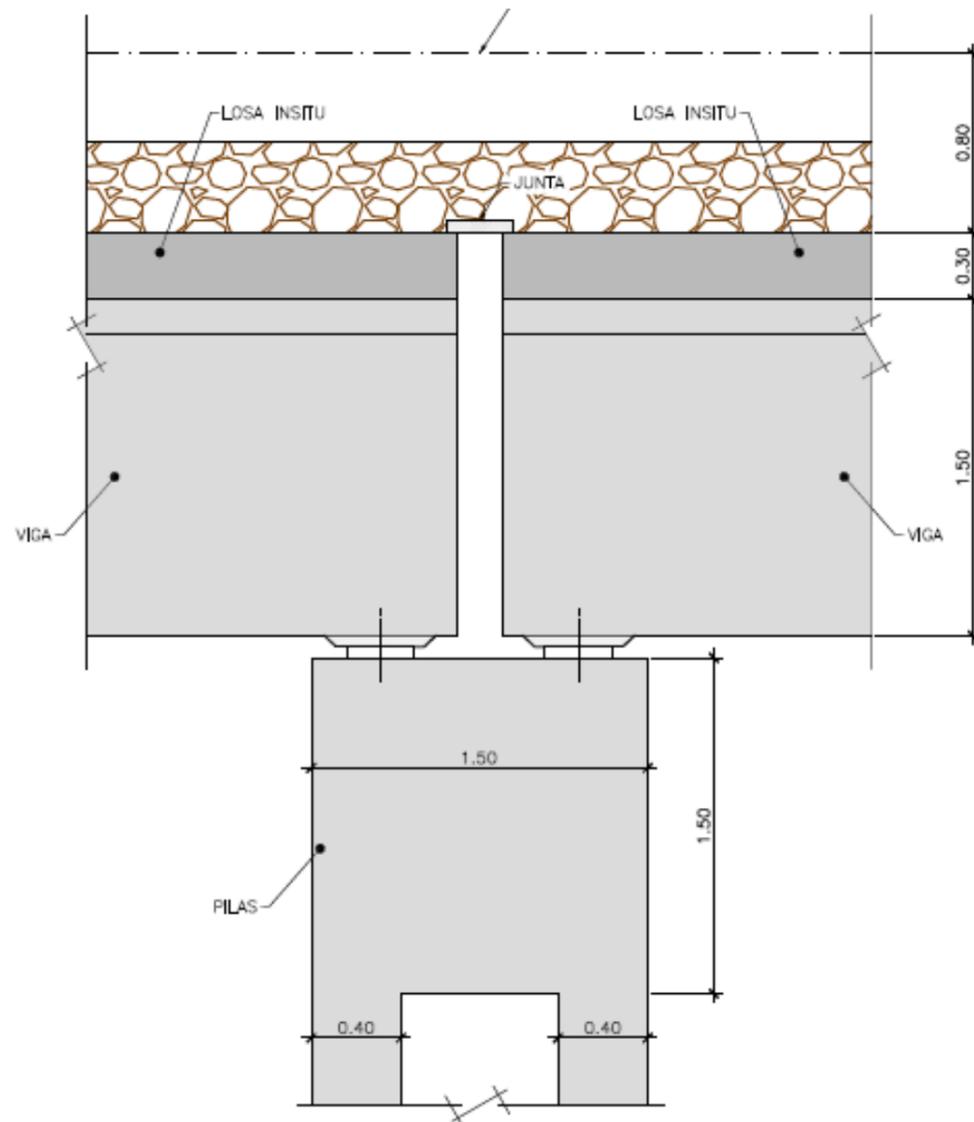


Se podría haber optado por una solución tipo losa postesada, que sería igualmente válida para solventar el encaje, pero debido al menor coste que una solución in situ, las menores interferencias con las instalaciones y servicios existentes en la zona, así como la mejora en el mantenimiento de la vía, se ha preferido la tipología prefabricada, además de que resulta más acorde con el resto de la estructura.

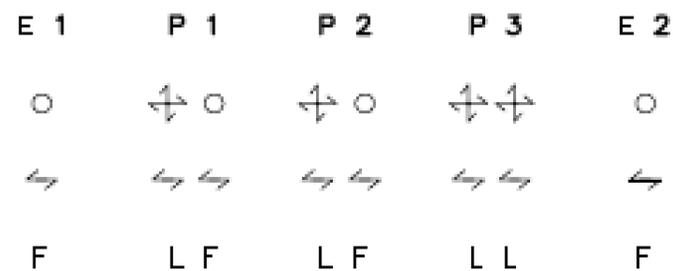
Según se ha mencionado anteriormente la longitud total del viaducto será de 84,0 m, distribuido en cuatro (4) vanos de 17 + 25 + 25 + 17.

Las **pilas** a disponer será tipo tabique, con una anchura de 4,0 m y un espesor de 1,5 m (a priori parece factible reducirlo a 1,20 m, pero no debería ser condicionante para el estudio desarrollado.)

En la pila se distinguen dos zonas, la superior de cabecero de 1,50 m de longitud y el resto hueca con un espesor inicial de muros de 0,40 m (debido a la reducida altura es previsible que se pueda reducir a 0,35 m en proyecto constructivo).



El tablero apoyará sobre las pilas mediante dos apoyos tipo pot en cada vano. Los vanos trabajarán con un extremo fijo y otro libre, con junta sobre cada pila, de tal manera que serán isostáticos tanto a cargas verticales como a horizontales.



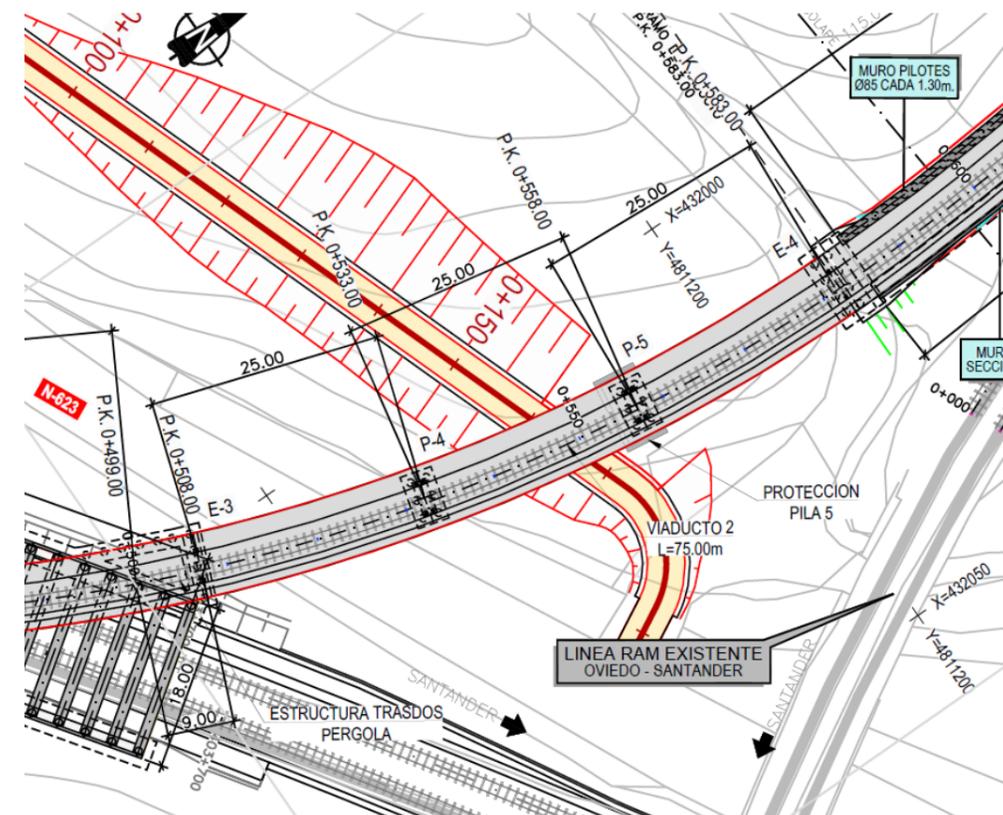
Este comportamiento permitirá el no disponer un estribo fijo, empleando uno de los extremos de cada vano como tal, esta distribución será posible gracias a la reducida altura de las pilas, con un valor medio de unos 6,50 m.

La solución prevista para los **estribos** será la tradicional cerrada con muro frontal y muros en vuelta que enlazarán con muros de prolongación y en el caso del estribo 2 con la pérgola.

Según las recomendaciones geotécnicas será necesario recurrir a cimentación profunda para todos los elementos, estimando una longitud de pilotes de unos 15,0 m. Inicialmente, está previsto que las pilas se puedan solventar con 6 pilotes, mientras que para los estribos se requerirán 8.

5.1.2. Viaducto 2.

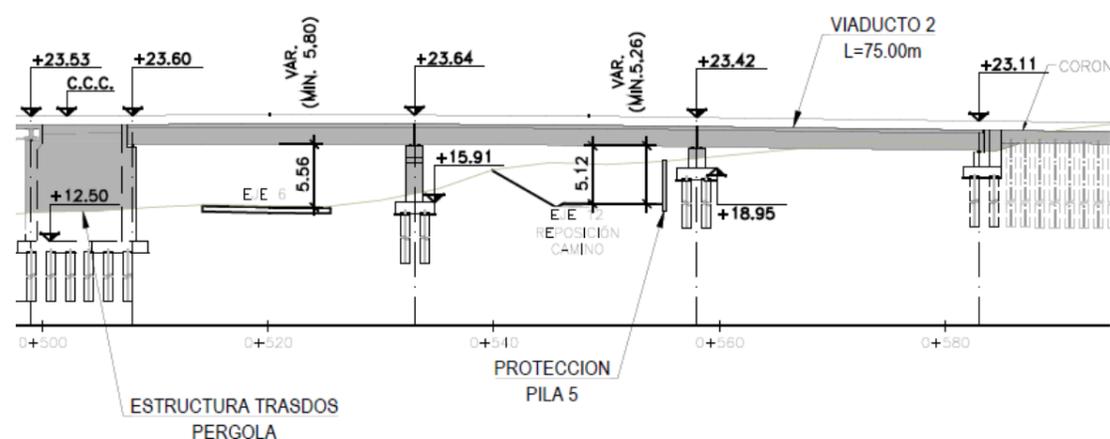
El segundo viaducto permitirá continuar el trazado desde la pérgola hasta conectar con la línea de ancho métrico entre Oviedo y Santander, la longitud necesaria de este será de 75 m, comenzando en el PK 0+508 (E-3) y terminando en el PK 0+583 (E-4), que tendrá una altura muy reducida.



Lógicamente la plataforma deberá dotar de continuidad a la previa, manteniendo una anchura de 7,0 m, según se ha descrito anteriormente.

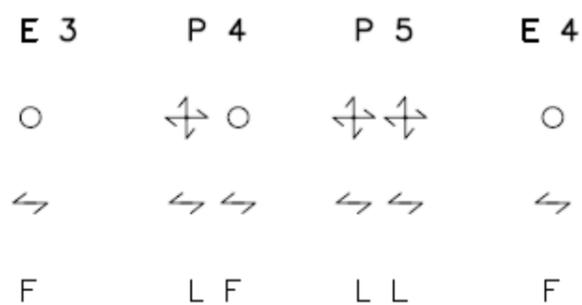
El primer vano para salvar la carretera debería tener una luz mínima de 22,0 m, adoptando la solución prefabricada mediante vigas artesas para minimizar las afecciones durante la ejecución.

Una vez teniendo que recurrir a la viga artesa lo más lógico es que se adopte a misma tipología que en el primero de los viaductos, proponiendo el encaje de tres vanos de 25 m de luz (total 75 m de longitud total (25+25+25)). El tablero propuesto será de un canto de 1,80 m dividido en losa in situ de 30 cm sobre viga artesa de 1,50 m, igual al descrito para el viaducto 1.



Las pilas centrales serán tipo tabique de 4,0 m x 1,50 m con cimentación profunda (6 pilotes de 15 m), localizadas en el PK 0+533 (P-4) y PK 0+558 (P-5), al formar parte de una estructura en conjunto con la pérgola se ha dado continuidad a la denominación de pilas y estribos con el viaducto 1.

En este segundo caso las pilas son aún más reducidas que las del primer viaducto (media de 3,50 m), por lo que lo más seguro es que sean completamente macizas. El apoyo del tablero se realizará según se ha descrito anteriormente, con la distribución representada a continuación:



Cada vano del viaducto trabaja con un extremo fijo y uno móvil, sin requerir un estribo fijo para todo el viaducto, esta solución resulta posible por la reducida altura de pilas.

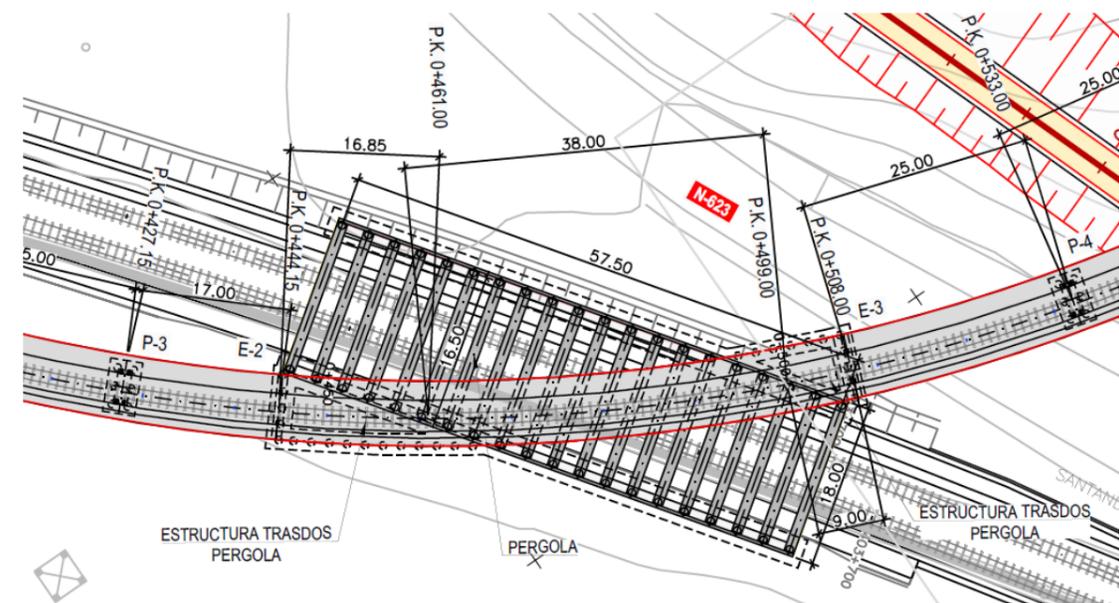
Respecto a los estribos el primero arranca en común con la pérgola (E-4 en PK 0+508) terminar en un estribo reducido tipo cargadero (E-3 en PK 0+583), para enlazar con los muros de prolongación 3 y 4.

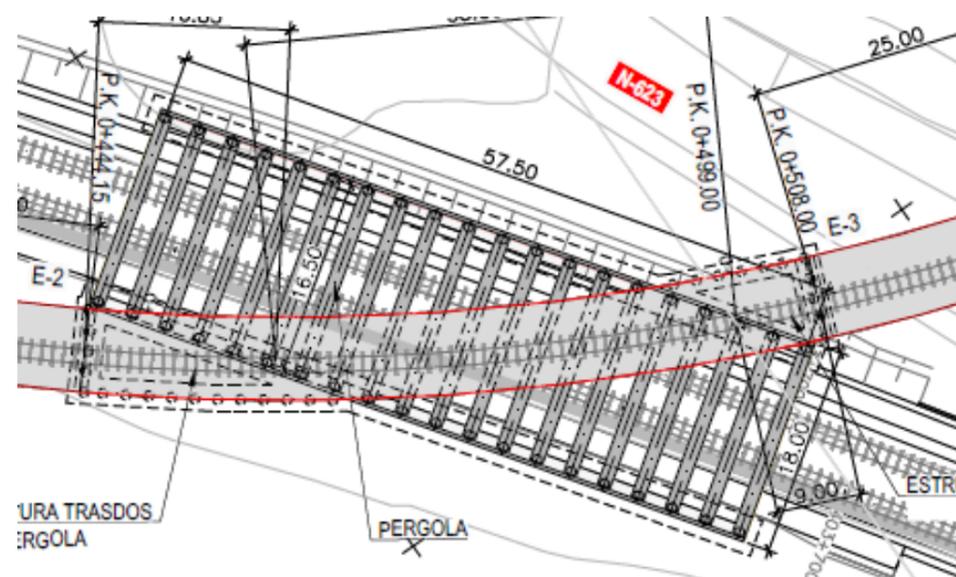
Al igual que en el caso de las pilas será necesario recurrir a cimentación profunda mediante pilotes de unos 15 m de longitud, previsiblemente en un número de 8.

5.1.3. Pérgola.

La estructura principal de todo el trazado será la pérgola, que permite salvar la futura duplicación de la línea de ADIF entre Santander y Palencia; resulta necesario recurrir a esta estructura singular debido al elevado esviaje con el que se cortan amabas líneas, ya que esta permite encajar una estructura con mejores luces que salve la anchura estricta, aunque se prolonga en longitud para permitir el cruce del ramal.

Para el encaje de la pérgola se ha dejado una distancia entre el eje de vía y la cara de pila/estribo de la pérgola más próxima de 5,50 m mínimo, valor superior a los 5,40 m exigidos para vía de ancho métrico sobre la que se cruza.

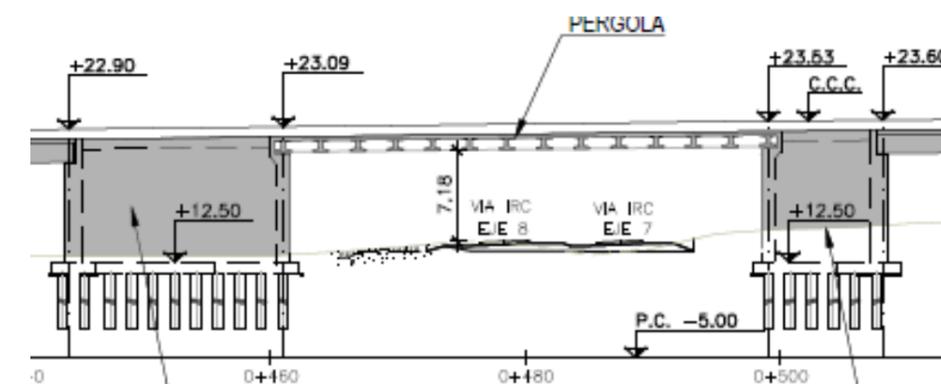




La pérgola representada, con los paramentos de la subestructura a una distancia superior a 5,40 m de la línea de ancho ibérico, permitirá el cruce del ramal de ancho métrico con el esviaje necesario.

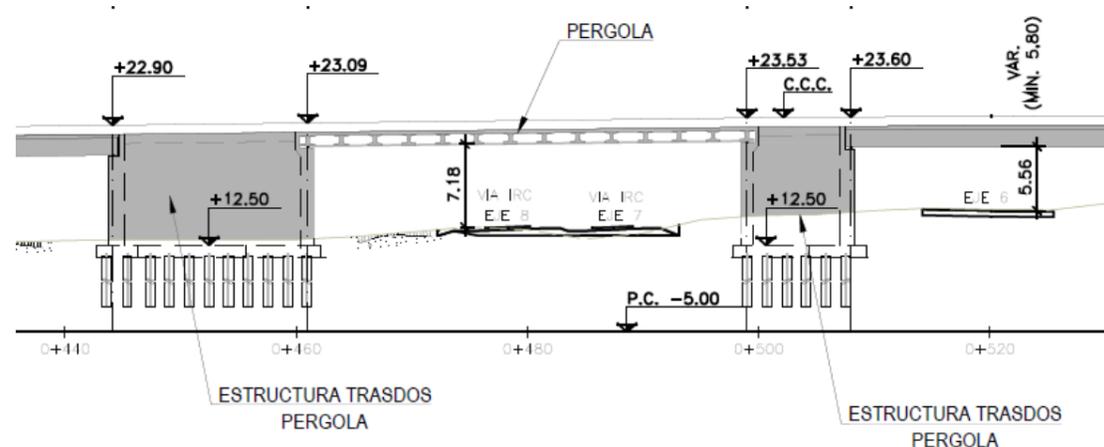
La pérgola representa un cambio de comportamiento al conjunto, siendo un elemento de mayor rigidez que permitirá su empleo como estribo fijo en caso de requerirse.

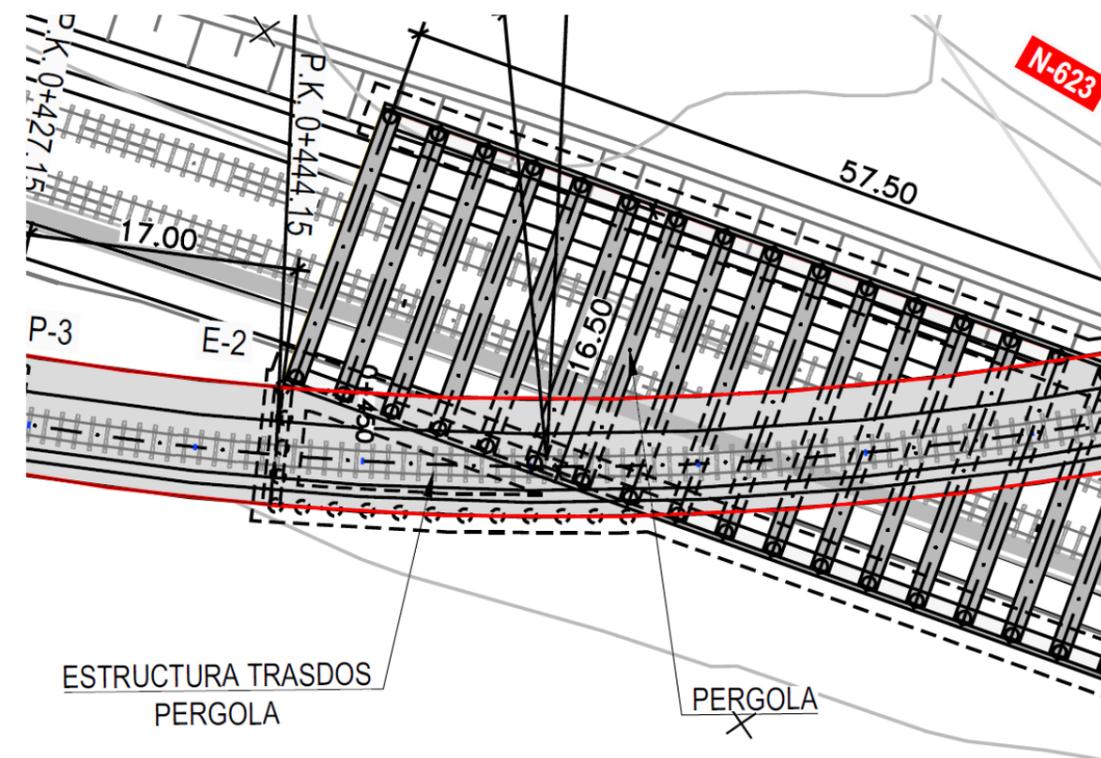
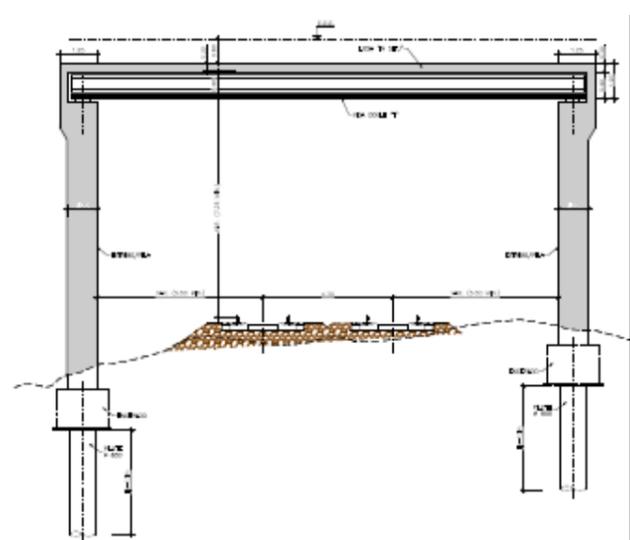
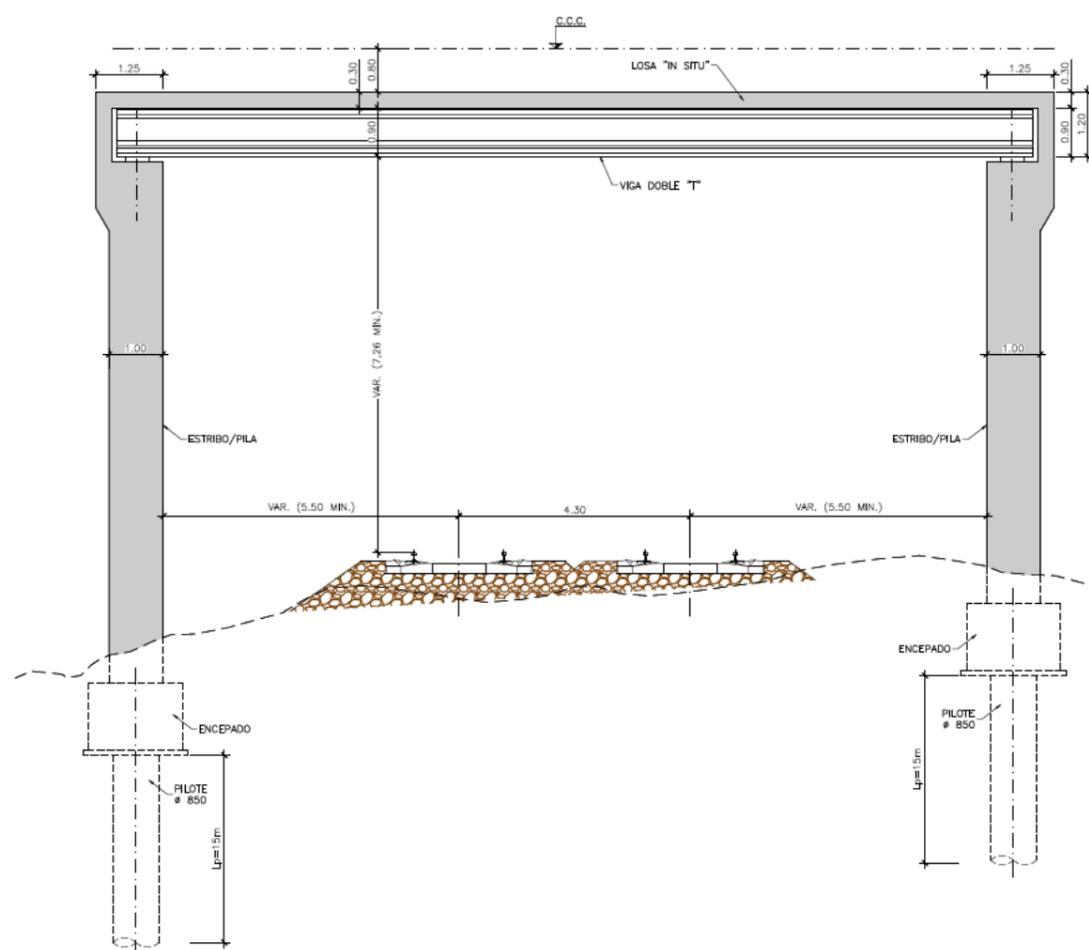
En el trazado longitudinal se observa como enlazarán los estribos 2 y 3 del primer y segundo viaducto con la pérgola, localizada estrictamente entre el PK 0+461 y PK 0+499.



Las dimensiones de la pérgola en planta será de 58,50 x 18,00 m (acotado en planos a ejes por eso se aprecia 57,50 x 18,00 m), permitiendo un gálibo horizontal de 15,25 m con dos alineaciones laterales de muro o pilares de 1,0 m de diámetro/espesor.

Sobre los laterales se ejecutará un cabecero de 1,25 m de anchura para apoyar las vigas del tablero, que tendrán una luz de 16,25 m. El tablero será in situ, mediante vigas prefabricadas artesas o doble T sobre las que se dispondrá una losa de 30 cm. El canto total del tablero será de 1,20 m formado por la losa in situ sobre vigas doble T de 0,90 m de canto.





La parte de pérgola que quedará adosada al estribo será cerrada, mientras que el resto se resolverá mediante pilas que permitirán la entrada de luz.

La finalidad de unir pérgola con estribos de viaducto será conseguir una mejor transición, evitando una discontinuidad esviada, y evitando que las ruedas de un mismo eje apoyen sobre elementos de diferente rigidez.

Al igual que en el caso anterior será necesario recurrir a cimentación profunda, con las mismas longitudes de pilotes que se mencionaban para los viaductos (15,0 m). Será posible

realizar un encepado corrido sobre el que se dispondrán las pilas, aunque en la zona de estribos si que será necesario recurrir a encepados tradicionales.

5.2. Muros.

El trazado proyectado se encuentra encajonado entre distintas líneas ferroviarias, que debe salvar y evitar las afecciones, para ello y hasta alcanzar el estribo (E1) del primer viaducto se requerirá la ejecución de muros, al igual ocurrirá desde el estribo (E4) del segundo viaducto hasta el final del trazado.

En total se requiere la ejecución de cuatro (4) muros que pasarán a analizarse a continuación, denominados:

- Muro 1 entre el PK 0+020 y el PK 0+300 de la margen izquierda en sentido creciente de PPKK.
- Muro 2 localizado ente los PK 0+080 y el PK 0+300 de la margen derecha.
- Sección en U en la zona de mayor altura, similar en ambas márgenes, y próxima al estribo E1
- Muro 3. Entre el PK 0+585 (E4) hasta el enlace con el FEVE PK 0+718,25, en la margen izquierda.
- Muro 4 localizado entre el PK 0+585 (E4) y PK 0+620 de la margen derecha.
- Protección pila P5 consistente en pantalla de pilotes perimetral al encepado.

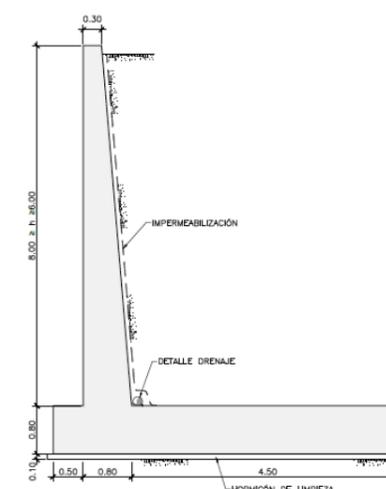
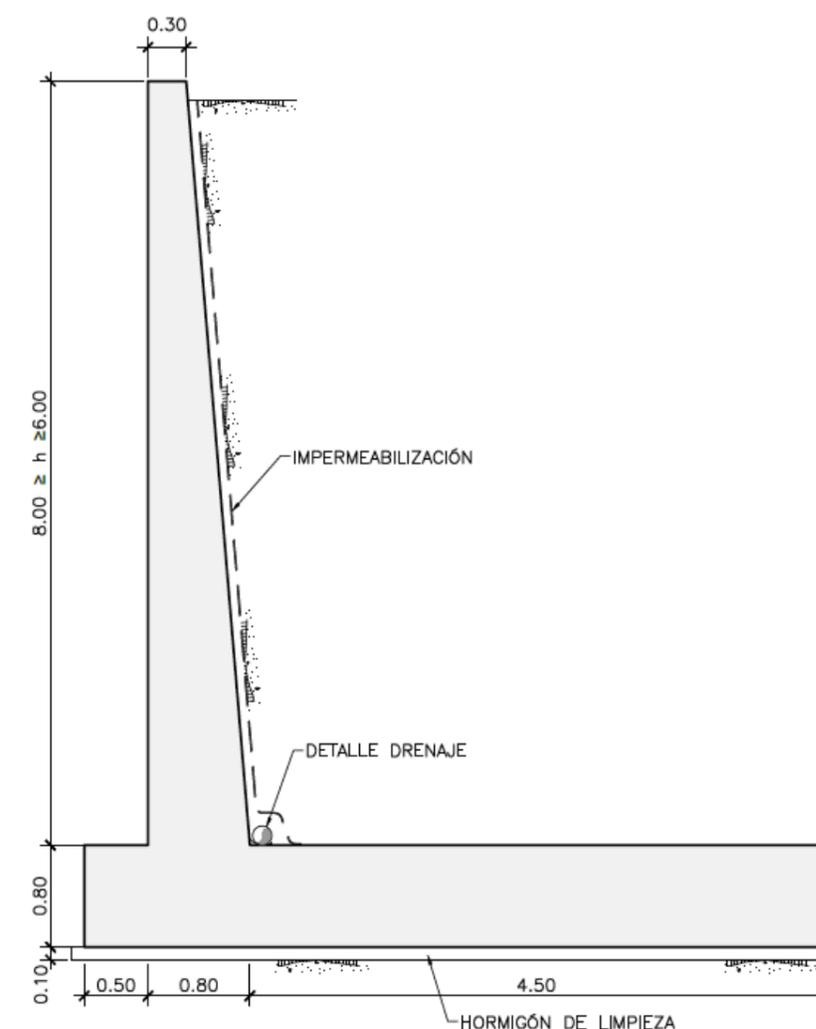
5.2.1. Muro 1.

Localizado en la margen derecha del trazado entre el PK 0+020 y el PK 0+300, lo que supone una longitud de 280 m.

El muro se ejecutará en voladizo, con la sección habitual para esta tipología en hormigón armado. La altura será variable entre 8,0 y 2,0 m.

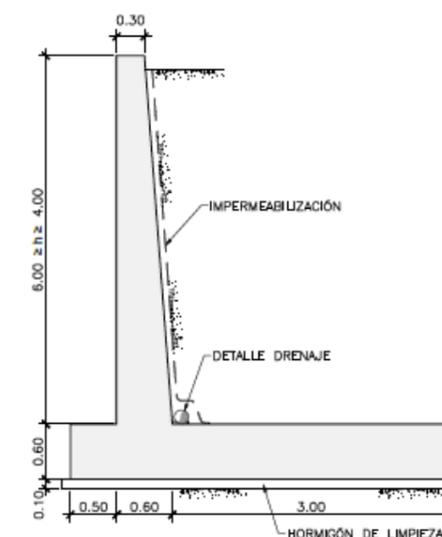
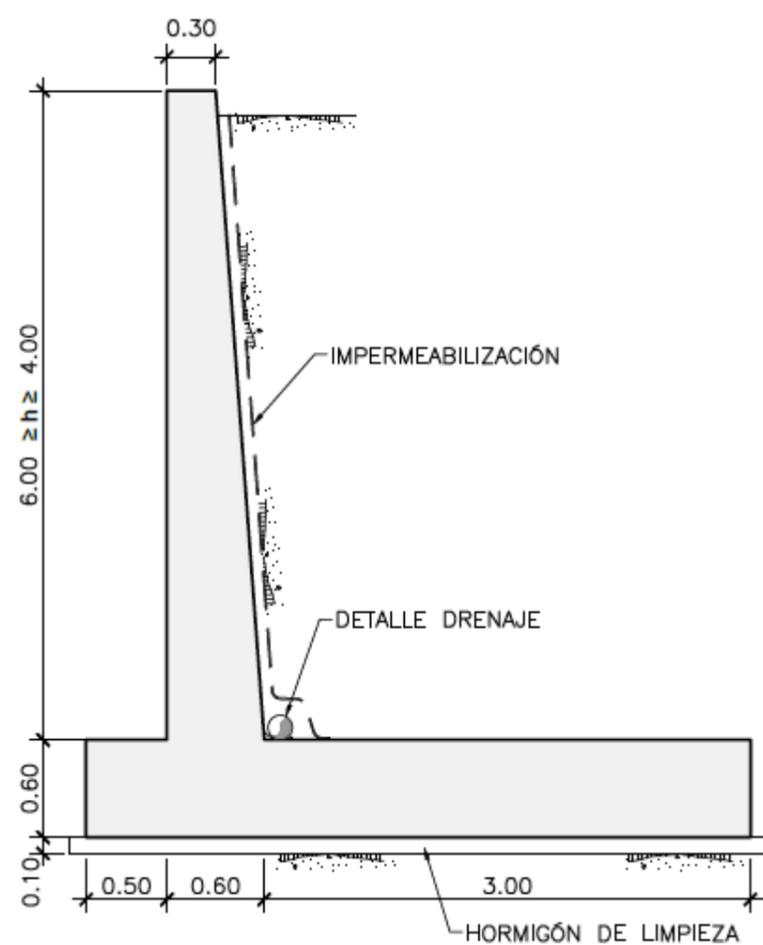
Con la idea de optimizar se ha dividido en tres (3) zona en función de la altura, empleando la siguiente sección en cada caso:

- **Sección A:** empleada en los 95 m de mayor altura (PK 0+205 a PK 0+300). La zapata tendrá una longitud de unos 5,80 m con un canto de 0,80 m, el alzado arrancará con ese espesor y terminará en coronación con 0,30 m. Esta sección se emplea para alturas de muro entre 6,0 y 8,0 m.

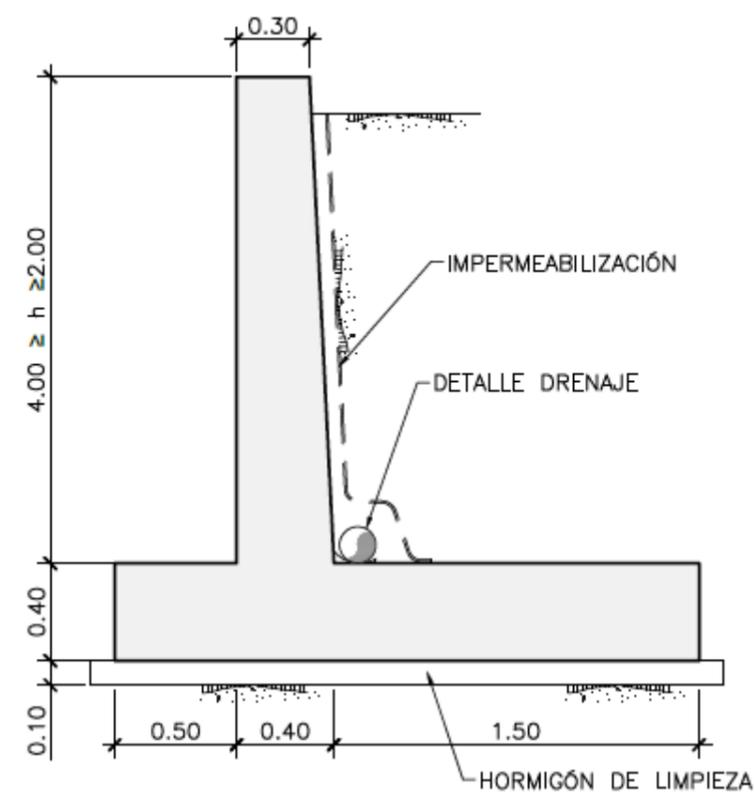


- **Sección B:** se empleará para alturas menores a 6,0 m y mayores de 4,0 m, localizadas entre el PK 0+205 y PK 0+110, (los siguientes 95 m).

En esta sección la zapata tendrá una longitud de unos 4,10 m con un canto de 0,60 m, el alzado arrancará con ese espesor y terminará en coronación con 0,30 m.



- **Sección C:** será la sección con la que arrancará el muro 1, entre el PK 0+020 y PK 0+110. En estos 80 m se empleará la altura del muro variará entre los 2,0 y los 4,0 m. En esta sección la zapata tendrá una longitud de unos 2,40 m con un canto de 0,40 m, el alzado arrancará con ese espesor y terminará en coronación con 0,30 m.



5.2.2. Muro 2.

El muro 2 en la margen izquierda del trazado se ejecutaría hasta el PK 0+080 y el PK 0+300, lo que supone una longitud de 220 m.

Lógicamente se emplearán las mismas secciones que para el muro 1, con la distribución descrita a continuación.

- **Sección A:** empleada en los 70 m de mayor altura (PK 0+230 a PK 0+300). La geometría de zapata y alzado coincide con la descrita anteriormente.
- **Sección B:** se empleará para alturas entre 6,0 y 4,0 m, localizadas entre el PK 0+230 y PK 0+160, (los siguientes 70 m). Geometría de la sección descrita anteriormente.
- **Sección C:** será la sección con la que arrancará el muro 2, entre el PK 0+080 y PK 0+160. En estos 80 m las alturas del muro varían entre los 2,0 y los 4,0 m. La geometría es la descrita anteriormente.

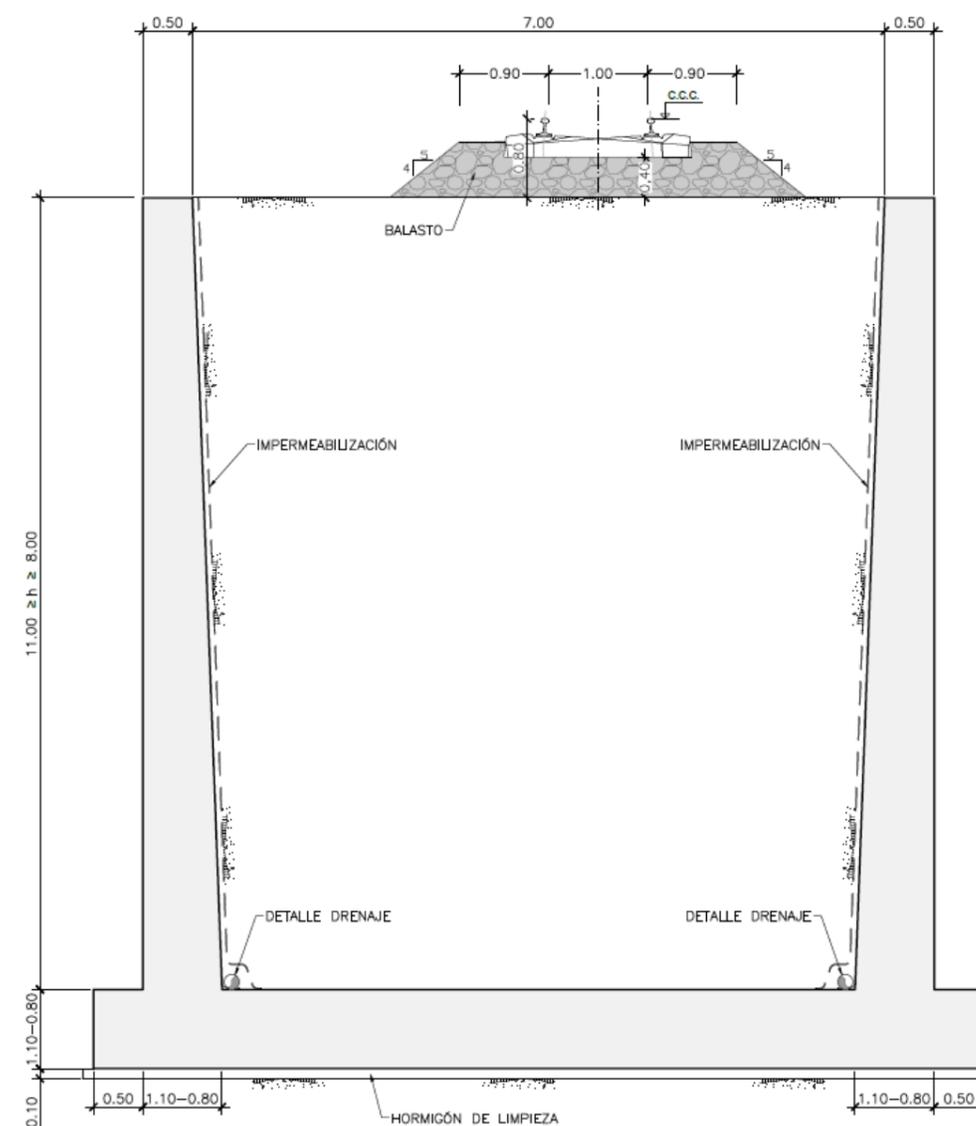
5.2.3. Sección en U.

Estos muros o estructura en U se ejecutarán desde el PK 0+300 hasta enlazar con los muros en vuelta del estribo del primer viaducto (E1), localizado aproximadamente en el PK 0+356,15.

Esta sección se extenderá en una longitud del trazado de 56,15 m, con una altura variable entre 11,0 y 8,0 m, ha sido esta elevada altura la que ha hecho necesario recurrir a esta tipología para conseguir hacerla estable.

La sección se ejecutará en hormigón armado, dejando en el interior el hueco necesario para la plataforma. La anchura en cabeza de los muros será de 0,50 m mientras que la base variará entre 1,10 y 0,80 m función de la altura.

La losa inferior tendrá un canto adecuado al arranque de los muros laterales, variando entre 1,10 m de la zona de mayor altura y 0,80 m al final del tramo tratado.



Esta sección estará impermeabilizada por el interior con tubo dren a cota de la losa inferior que permita sacar el agua en caso de que esta entre.

5.2.4. Muro 3.

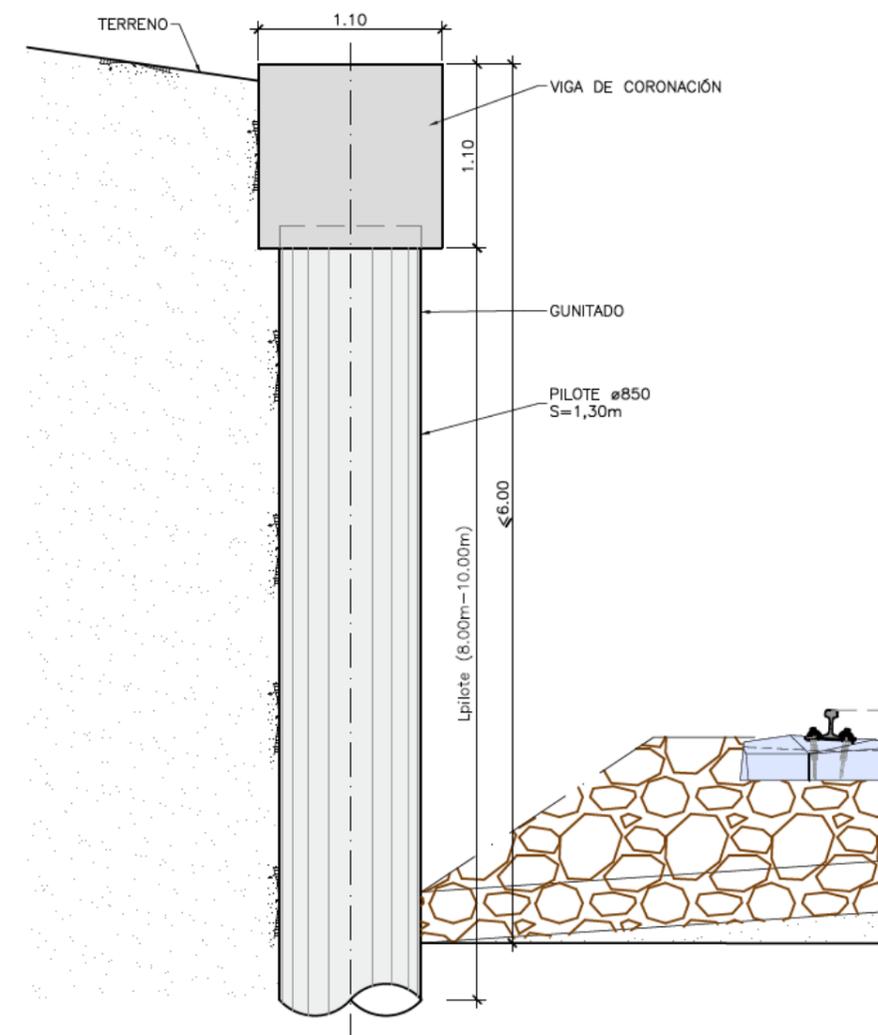
En este caso se requiere ejecutar el muro para permitir el encaje del nuevo trazado en la pendiente existente en la margen izquierda, con una altura máxima de 6,0 m con un empuje muy elevado en trasdós que no permitirá realizar una excavación para la ejecución de la zapata debido a la afección.

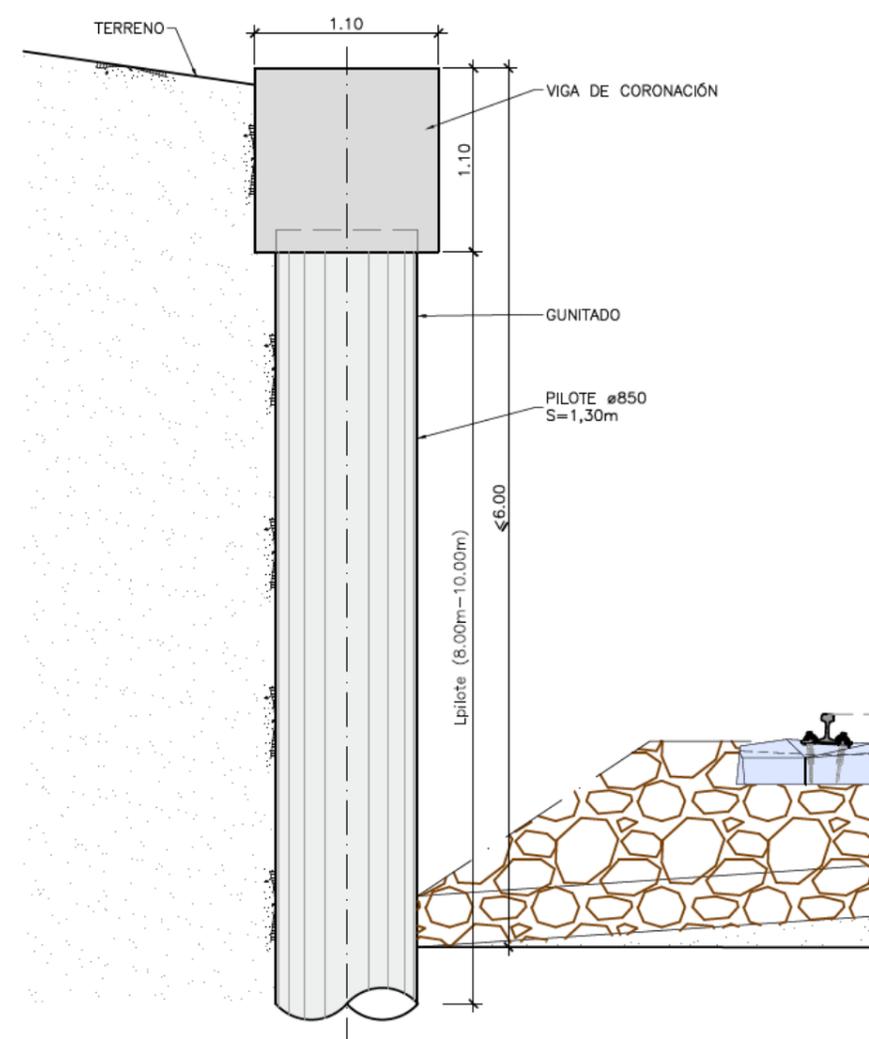
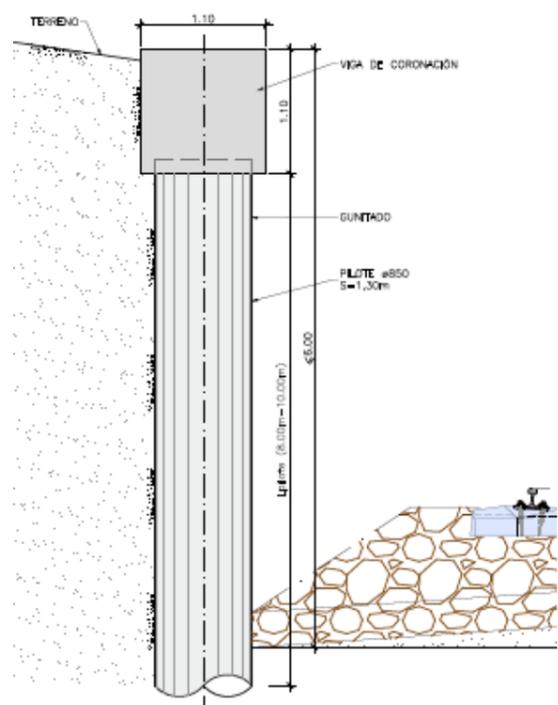
Por ello se distinguen dos zonas:

- La primera entre el PK 0+585 y PK 0+700, con una longitud de 115 m, ejecutada mediante **pantalla de pilotes** debido a su localización y altura.

El trazado ferroviario encaja a media ladera, cortando una zona elevada, para poder realizar un muro tradicional obligaría a que los desmontes afectasen en una longitud elevada debido a la pendiente. Para evitar dichas afecciones se ejecutaría una pantalla de pilotes, según se describe, excavando posteriormente, gracias a ello, y según se ve en la sección, se minimiza las afecciones concentrando las excavaciones en la zona de actuación.

La pantalla se ejecutará con pilotes de 850 mm separados 1,30 m, todos ellos atados con una viga de 1,10 x 1,10 m. La cara vista de la pantalla se gunitará para evitar posibles caídas de terreno, dejando el drenaje necesario mediante perforaciones del revestimiento.





- En el tramo entre el PK 0+700 a PK 0+718,25 parece viable la excavación, y por tanto se podrá emplear la **sección C** del muro descrita anteriormente para esta longitud de 18,25 m.

5.2.5. Muro 4.

Este muro se dispondrá entre el nuevo ramal y el trazado actual de la línea de ancho métrico entre Oviedo y Santander, situado al margen derecho del trazado (sentido creciente de PPKK).

El muro arrancará desde el estribo del segundo viaducto PK 0+585 (E4) hasta el PK 0+620. Al igual que en los casos anteriores los 35 m de muro enlazarán con el muro en vuelta del estribo 4.

La altura del muro será inferior a los 4,0 m, por lo que se empleará la **sección C** a todo lo largo, con la geometría descrita en apartados anteriores.

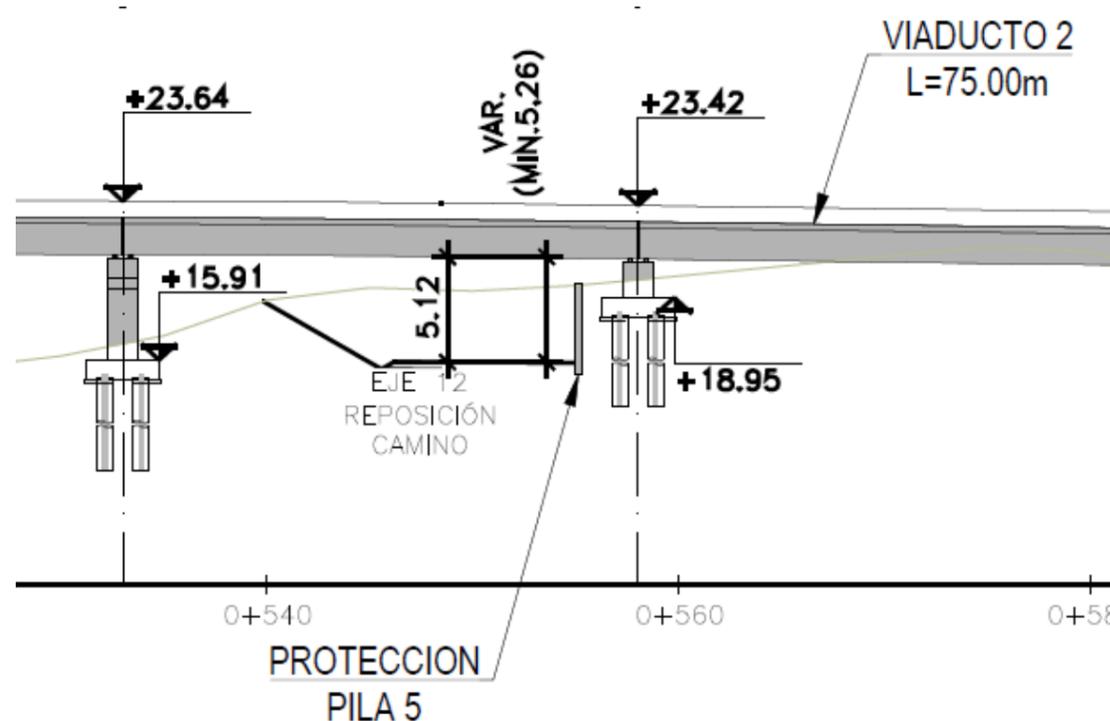
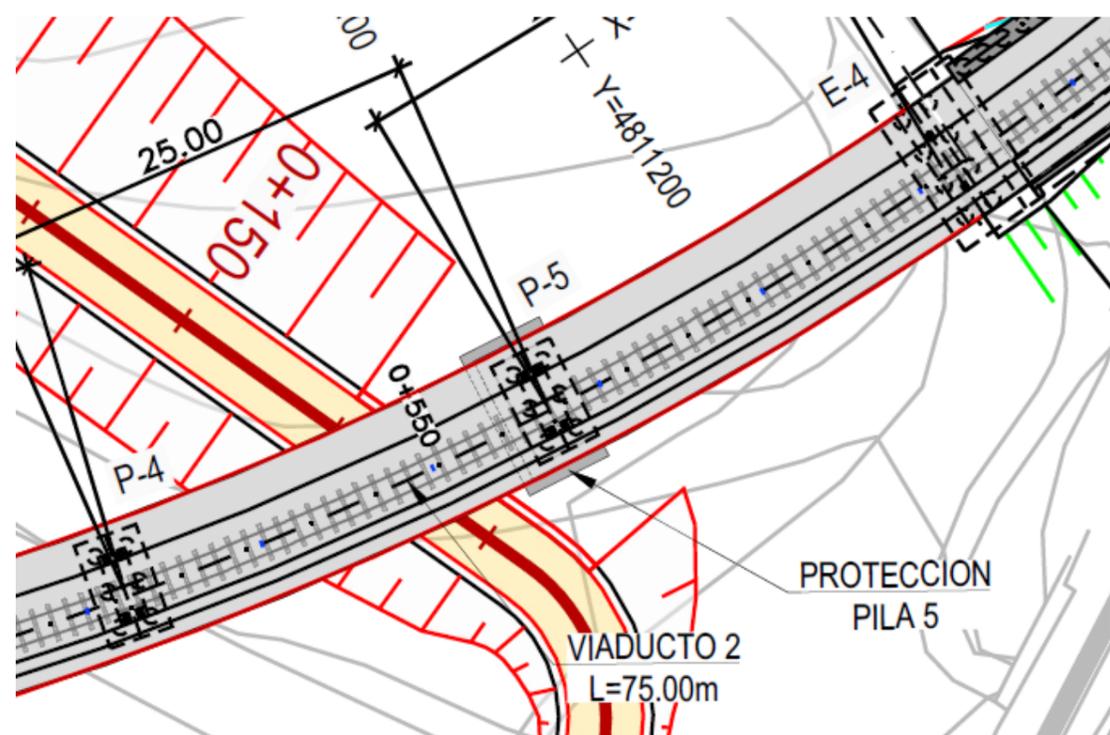
5.2.6. Protección pila P5.

La pila tratada quedará entre el camino y el estribo E4, con una reducida altura pero encajonada entre ellos, el problema vendrá por la cota a la cual discurre el camino.

Para evitarlo se dispondrá una **pantalla de pilotes**, similar a la descrita anteriormente en el perímetro contiguo al camino, con una longitud de 18,0 m.

La pantalla se localiza perimetral al encepado, lo que permitirá ejecutarle más elevado minimizando las excavaciones y en consecuencia las afecciones

En la siguiente planta y alzado se muestra su localización en el contorno del encepado de la pila.



En el longitudinal se muestra la diferencia de cota entre el camino y el encaje de la pila, el no disponer la pantalla, o bajar la cota del encepado, obligaría a unas excavaciones elevadas que podrían llegar a afectar incluso hasta el estribo E-4.

6. Procesos Constructivos de las Estructuras

A continuación, se describen los procesos constructivos de las siguientes estructuras:

- Viaductos y pérgola:
 - Viaductos.
 - Pérgola.
- Muros:
 - Muros en voladizo y sección en U de hormigón armado.
 - Muros/protecciones de pilotes.

Esta división se realiza agrupando las estructuras por procesos constructivos similares.

6.1. Viaductos y pérgola:

Ambas estructuras son de tablero prefabricados con la finalidad de minimizar las afecciones a las comunicaciones existentes (línea ferroviaria y carretera), por lo que los procesos son muy similares.

6.1.1. Viaductos.

Las distintas fases del proceso constructivo para los viaductos prefabricados son:

- Desbroce y preparación acceso.
- Ejecución de las cimentaciones:
 - Ejecución pilotes.
 - Colocación armadura y hormigonado.
 - Excavación del encepado y descabezado de los pilotes.
 - Hormigón limpieza del encepado.
 - Colocación de encofrado y armado del encepado.
 - Hormigonado del encepado.

- ▶ Retirada de encofrado y relleno de tierras perimetral.
 - Ejecución de pilas y estribos.
 - ▶ Colocación de encofrado y armado de los fustes de las pilas y los muros de los estribos.
 - ▶ Hormigonado de fustes y muros.
 - ▶ Retirada de los encofrados e impermeabilización del trasdós en estribos.
 - ▶ Colocación del drenaje en trasdós de estribos y ejecución de la cuña de transición en los que sea necesario.
 - ▶ Colocación de los apoyos pot en pilas y estribos previa ejecución de la meseta de mortero.
 - Ejecución del tablero.
 - ▶ Colocación de la viga artesa en cada vano, previsiblemente mediante grúa situada en los laterales del vano, evitando la afección del vial sobre el que se dispone (en el caso del viaducto 2 la carretera).
 - ▶ Colocación del encofrado perdido y la armadura.
 - ▶ Hormigonado de la losa in situ o de compresión del tablero.
 - ▶ Impermeabilización del tablero.
 - ▶ Colocación del resto de elementos funcionales del tablero, como juntas, impostas, barreras, canaletas, muretes guardabalasto.
 - ▶ Terminación de la estructura con la colocación de vías.
 - ▶ Realización de pruebas de carga, según el alcance del proyecto puede requerir la realización de dos pruebas distintas y complementarias, una al terminar la plataforma y otra al terminar la ejecución de la vía.
- 6.1.2. Pérgola.**
- Las distintas fases de la pérgola son muy similares a las de los viaductos, ya que ambas estructuras son prefabricadas:
- Desbroce y preparación acceso.
 - Ejecución del encepado de las cimentaciones:
 - ▶ Ejecución pilotes.
 - ▶ Colocación armadura y hormigonado.
 - ▶ Excavación del encepado corrido y descabezado de los pilotes.
 - ▶ Hormigón limpieza del encepado.
 - ▶ Colocación de encofrado y armado del encepado.
 - ▶ Hormigonado del encepado.
 - ▶ Retirada de encofrado y relleno de tierras perimetral.
 - Ejecución de estribos (ya sea mediante pilas o muros en función de la localización).
 - ▶ Colocación de encofrado y armado de fustes y alzados.
 - ▶ Hormigonado.
 - ▶ Retirada de los encofrados e impermeabilización del trasdós de muros en zona en contactos con las tierras.
 - ▶ Ejecución del dintel sobre las pilas, con los pasos anteriormente descritos (encofrado, armado, hormigonado, etc)
 - ▶ Colocación del drenaje en trasdós de muros y ejecución de la cuña de transición en los que sea necesario.
 - ▶ Colocación de los apoyos de neopreno sobre el dintel y el muro, previa ejecución de la meseta de mortero.
 - Ejecución del tablero.
 - ▶ Colocación de las vigas doble T sobre los apoyos pot, al igual que ocurría con los viaductos es previsible que se dispongan mediante grúa situada en los laterales de la pérgola, evitando la afección de la línea ferroviaria Santander-Palencia.
 - ▶ Colocación del encofrado perdido y la armadura.
 - ▶ Hormigonado de la losa in situ o de compresión del tablero, únicamente en la zona ocupada por la vía.
 - ▶ Impermeabilización del tablero.
 - ▶ Colocación del resto de elementos funcionales del tablero, como juntas, impostas, barreras, canaletas, muretes guardabalasto.
 - ▶ Terminación de la estructura con la colocación de vías.

- ▶ Realización de pruebas de carga, según el alcance del proyecto puede requerir la realización de dos pruebas distintas y complementarias, una al terminar la plataforma y otra al terminar la ejecución de la vía.

6.2. Muros

Todas las estructuras incluidas en los muros se ejecutan in situ, ya sean los muros tradicionales como los de pilotes. El proceso constructivo de cada uno de ellos será el descrito a continuación

6.2.1. Muros en voladizo y sección en U de hormigón armado.

Las distintas fases del proceso constructivo previsto son los muros y sección en U serán:

- Desbroce y preparación acceso.
- Ejecución de la zapata:
 - ▶ Excavación de la zona de zapata.
 - ▶ Hormigón limpieza del encepado.
 - ▶ Colocación de encofrado y armado del encepado.
 - ▶ Hormigonado del encepado.
 - ▶ Retirada de encofrado y relleno de tierras perimetral.
- Ejecución de los alzados.
 - ▶ Colocación de encofrado y armado de los alzados solapando con las esperas dejadas en la zapata.
 - ▶ Hormigonado.
 - ▶ Retirada de los encofrados
 - ▶ Impermeabilización y drenaje del trasdós.

6.2.2. Muros/protecciones de pilotes.

En el caso de los muros o protecciones mediante pantallas de pilotes las fases del proceso constructivo serán las siguientes:

- Desbroce y preparación acceso.
- Ejecución pilotes.

- ▶ Perforación de los pilotes.
- ▶ Colocación armadura y hormigonado.
- Viga de atado.
 - ▶ Excavación de la viga de atado y descabezado de los pilotes.
 - ▶ Hormigón limpieza para la viga de atado.
 - ▶ Colocación de encofrado y armadura.
 - ▶ Hormigonado.
 - ▶ Retirada de encofrado y relleno de tierras perimetral.
- Terminación pantalla.
 - ▶ Excavación del frontal de la pantalla.
 - ▶ Gunitado.
 - ▶ Perforaciones para drenaje.

7. Cumplimiento de las ETI de Interoperabilidad de las Estructuras y Obras de Tierra

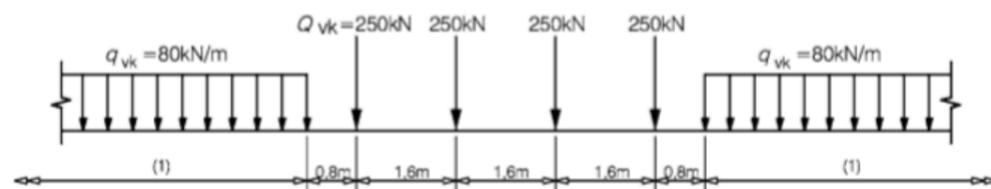
Si bien las ETI no son de aplicación para las líneas de ancho métrico, a continuación, se estudia el cumplimiento de estas en las estructuras y obras de tierra incluidas en el presente Estudio Informativo.

7.1. Cargas Verticales para las Estructuras.

En lo que a las Cargas verticales sobre las estructuras se refiere:

- 1) Las estructuras se diseñarán para que soporten cargas verticales de acuerdo con los modelos de cargas siguientes, definidos en la norma EN 1991-2:2003/AC:2010:
 - a) Modelo de Carga 71, como aparece en la norma EN 1991-2:2003/AC:2010, apartado 6.3.2 (2)P

Se aplicará en los cálculos el modelo de Carga 71, tal y como viene definido en la norma, del cual se reproduce a continuación la figura 6.1 con la disposición y valores característicos de las cargas verticales:



b) Además, para puentes continuos, el Modelo de Carga SW/0, como aparece en la norma EN 1991-2:2003/AC:2010, apartado 6.3.3 (3)P.

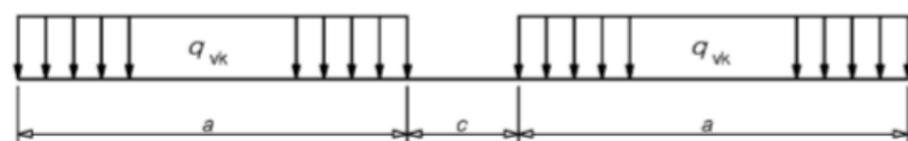


Fig. 6.2 – Modelos de carga SW/0 y SW/2

Tabla 6.1
Valores característicos de las cargas verticales para los modelos de carga SW/0 y SW/2

Modelo de carga	q_{vk} (kN/m)	a (m)	c (m)
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

2) Los modelos de carga se multiplicarán por el factor α definido en la norma EN 1991-2:2003/AC:2010, puntos 6.3.2 (3)P y 6.3.3 (5)P.

El factor α que se tomará en los cálculos será de 1,21, de acuerdo con la normativa vigente.

3) El valor del factor α será igual o mayor que los valores fijados en el Cuadro 11.

Tolerancia para efectos dinámicos de cargas verticales:

- 1) Los efectos de las cargas del modelo de carga 71 y del modelo de carga SW/0 se aumentarán con el factor dinámico Φ fijado en la norma EN 1991-2:2003/AC:2010, apartados 6.4.3 (1)P y 6.4.5.2 (2).
- 2) En el caso de puentes para velocidades superiores a 200 km/h, donde la norma EN 1991-2:2003/ AC:2010, apartado 6.4.4, requiere que se realice un análisis dinámico, la estructura deberá diseñarse además para un modelo de carga de alta velocidad HSLM definido en la norma EN 1991-2:2003/ AC:2010, apartados 6.4.6.1.1 (3) a (6) inclusive.

La velocidad de proyecto es inferior a 200 km/h, por lo que según la figura 6.9 de la norma EN 1991-2:2003, basta con obtener un factor dinámico Φ de acuerdo con el análisis estático y aplicarlo en el proyecto constructivo a los modelos de carga 71 y SW/0.

Fuerzas centrífugas: Cuando la vía sobre un puente esté en curva en toda o en parte de la longitud del puente, se tendrá en cuenta la fuerza centrífuga para el cálculo de las estructuras como se indica en la norma EN 1991-2:2003/ AC:2010, apartados 6.5.1 (2), (4) P y (7).

Se obtendrá la fuerza centrífuga según lo indicado en esta Norma, considerando que el puente no está en curva en ninguna parte de la longitud, por lo que las fuerzas centrífugas serán nulas.

Fuerzas de lazo: Se tendrá en cuenta la fuerza de lazo para el cálculo de estructuras como establece la norma 1991-2:2003/ AC:2010, punto 6.5.2.

Acciones causadas por el arranque y el frenado (cargas longitudinales): Se tendrán en cuenta las fuerzas de arranque y frenado para el cálculo de estructuras como establece EN 1991-2:2003/AC:2010, apartados 6.5.3 (2)P, (4), (5), (6) y (7)P.

- Se tendrán en cuenta estas acciones, con lo indicado en (2)P para los valores característicos de las fuerzas de frenado y arranque, además de lo indicado en (3), (4), (5), (6) y (7)P

Fuerza de arranque: $Q_{lak} = 33 [kN/m] L_{a,b} [m] \leq 1\ 000 [kN]$
para los modelos de carga 71, SW/0, SW/2 y HSLM

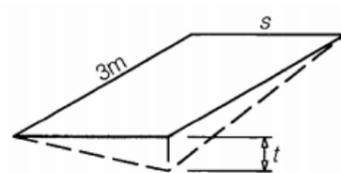
Fuerza de frenado: $Q_{fbk} = 20 [kN/m] L_{a,b} [m] \leq 6\ 000 [kN]$
para los modelos de carga 71, SW/0 y HSLM

$Q_{fbk} = 35 [kN/m] L_{a,b} [m]$
para el modelo de carga SW/2

Alabeo de diseño de la vía debido a las acciones del tráfico ferroviario: El alabeo total máximo de diseño de la vía debido a las acciones del tráfico ferroviario no superará los valores fijados en el apartado A2.4.4.2.2(3) P del anexo A2 de la norma EN 1990:2002, publicado como EN 1990:2002/A1:2005.

El máximo alabeo del tablero t , medido entre dos secciones separadas 3 m (figura 4.1), cumplirá:

- $t \leq 4,5 \beta \text{ mm}/3\text{m}$ (para $v \leq 120 \text{ km/h}$)
- $t \leq 3,0 \beta \text{ mm}/3\text{m}$ (para $120 < v \leq 220 \text{ km/h}$)
- $t \leq 1,5 \beta \text{ mm}/3\text{m}$ (para $v > 220 \text{ km/h}$)



Se tomarán los criterios de estado límite y criterio de aceptación asociado según tabla A2.7 de la Norma.

7.2. Carga Vertical para las Obras de Tierra Nueva y Efectos del Empuje del Terreno:

- 1) Se diseñarán las obras de tierra y se especificarán los efectos de empuje del terreno teniendo en cuenta las cargas verticales producidas por el modelo de carga 71, como se establece en la norma EN 1991- 2:2003/AC:2010 Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 2: Cargas de tráfico en puentes, apartado 6.3.2 (2). Se considerará en el proyecto constructivo la carga vertical equivalente para terraplenes y para los efectos del empuje del terreno lo indicado en esa Norma, apartado 6.3.6.4, en sus apartados (1), (2) y (3).
- 2) La carga vertical equivalente se multiplicará por el factor α conforme a lo indicado en la norma EN 1991-2:2003/AC:2010 apartado 6.3.2 (3) P. El valor de α será igual o mayor que los valores indicados en el cuadro:

Factor α para el diseño de estructuras nuevas	
Tipo de tráfico	Factor α mínimo
P1, P2, P3, P4	1,0
P5	0,91
P6	0,83
P1520	1
P1600	1,10
F1, F2, F3	1,0
F4	0,91
F1520	1,46
F1600	1,10

7.3. Resistencia De Las Estructuras Nuevas sobre las vías o adyacentes a las mismas.

Se tendrá en cuenta las acciones aerodinámicas producidas por el paso de los trenes según lo indicado en la norma EN 1991-2:2003/AC: 2010, apartados 6.6.2 a 6.6.6, inclusive.