
ESTRUCURAS Y TÚNELES

**ANEJO
10**

ÍNDICE

| | | | |
|--|----------|--|-----------|
| 1. Estructuras | 1 | 2. Túneles | 37 |
| 1.1. Introducción..... | 1 | 2.1. Introducción y objeto..... | 37 |
| 1.2. Normativa y documentación de aplicación | 1 | 2.2. Descripción de la actuación | 37 |
| 1.2.1. Normativa estructural vigente | 1 | 2.2.1. Estructura de la traza..... | 38 |
| 1.2.2. Otra documentación estructural | 2 | 2.2.2. Recorrido geológico-geotécnico | 38 |
| 1.2.3. Otra normativa de carácter no estructural..... | 2 | 2.3. Sección tipo | 39 |
| 1.3. Elección de la tipología de las estructuras | 2 | 2.3.1. Túnel principal | 39 |
| 1.3.1. Viaductos | 2 | 2.4. Procedimiento constructivo | 39 |
| 1.3.2. Pérgolas | 6 | 2.4.1. Selección del método constructivo | 39 |
| 1.3.3. Pasos superiores | 6 | 2.5. Secciones tipo de sostenimiento..... | 40 |
| 1.3.4. Pasos inferiores | 7 | 2.5.1. Predimensionamiento según el índice Q de Barton | 41 |
| 1.4. Relación de estructuras. viaductos..... | 9 | 2.5.2. Predimensionamiento según el índice RMR de Bieniawski... 42 | |
| 1.4.1. Nudo de Majarabique..... | 9 | 2.5.3. Sostenimientos propuestos. | 44 |
| 1.4.2. Alternativa 1.1 | 10 | 2.6. Tratamientos especiales | 44 |
| 1.4.3. Alternativa 1.2 | 13 | 2.6.1. Tratamientos de estabilidad de la bóveda y de frente de excavación..... | 45 |
| 1.4.4. Alternativa 2.1 | 15 | 2.6.2. Tratamientos de impermeabilización | 45 |
| 1.4.5. Alternativa 2.2 | 17 | 2.7. Impermeabilización y drenaje | 46 |
| 1.4.6. Alternativa 3.1 | 20 | 2.8. Revestimiento | 47 |
| 1.4.7. Alternativa 3.2 | 22 | 2.9. Salidas de emergencia | 47 |
| 1.5. Falsos túneles | 24 | 2.10. Auscultación..... | 51 |
| 1.5.1. Solución estructural..... | 24 | 2.10.1. Magnitudes a controlar e instrumentos..... | 51 |
| 1.5.2. Relación de falsos túneles | 25 | 2.10.2. Secciones de instrumentación..... | 51 |
| 1.6. Cuadros resumen estructuras | 26 | 2.10.3. Definición de umbrales y frecuencias | 52 |
| 1.6.1. Nudo de Majarabique..... | 26 | 2.10.4. Medidas de actuación..... | 52 |
| 1.6.2. Alternativa 1.1 | 27 | 2.10.5. Tratamiento de la información y elaboración de informes | 37 |
| 1.6.3. Alternativa 1.2 | 28 | 2.11. Seguridad en túneles | 37 |
| 1.6.4. Alternativa 2.1 | 29 | 2.12. Valoración económica..... | 41 |
| 1.6.5. Alternativa 2.2 | 31 | | |
| 1.6.6. Alternativa 3.1 | 33 | | |
| 1.6.7. Alternativa 3.2 | 35 | | |

1. Estructuras

1.1. Introducción

El objeto del presente documento será analizar las posibles soluciones estructurales en el tramo Sevilla - Huelva con un diseño adecuado a una línea de alta velocidad.

Para ello, el presente anejo pretende analizar, a partir de distintas alternativas, las diferentes estructuras que configuran el trazado entre la ciudad de Sevilla y la ciudad de Huelva.

El estudio comienza en el Nudo de Majarabique, que es común a todas las alternativas planteadas. En este nudo se desarrollan un total de ocho estructuras presentando cruces diversos con otras infraestructuras, tanto de ferrocarril como de carretera.

A partir de este punto se analizan tres posibles alternativas, subdivididas cada una de ellas en dos soluciones. Por tanto, se llegan a estudiar seis posibles soluciones de trazado diferentes.

1.2. Normativa y documentación de aplicación

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

1.2.1. Normativa estructural vigente

Las estructuras diseñadas deberán adecuarse a la normativa estructural de acciones actualmente vigente. A continuación, se incluye una descripción de las dos normativas principales, así como de su ámbito de aplicación en el caso de las estructuras objeto del diseño en este apartado del Proyecto.

1.2.1.1. 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.

Por lo tanto, de lo anterior se colige que esta normativa será de aplicación en las siguientes estructuras:

- Viaductos y pérgolas.
- Pasos inferiores.
- Obras de drenaje y muros.

1.2.1.2. 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.

Por lo tanto, de lo anterior se colige que esta normativa será de aplicación en las siguientes estructuras:

- Pasos superiores de carreteras.
- Pasos superiores de caminos.

1.2.2. Otra documentación estructural

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

- NAP 2015 “Normas Adif Plataforma”
- IGP 2011 v-2 de ADIF en las que se incluyen criterios geométricos de diseño en lo relativo a pasos superiores y pasos inferiores en la redacción de proyectos de plataforma de ADIF.
- Eurocódigos.
- 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.
- Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales publicado por el Ministerio de Medio Ambiente. Se incluyen en este documento criterios para el diseño de pasos de fauna.
- Recomendaciones para la realización de Pruebas de Cargas de Recepción en Puentes de Carretera.
- Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado, publicado por la DGC, Mº de Fomento en 2012.

1.2.3. Otra normativa de carácter no estructural

Se trata de otra normativa de carácter no estructural, pero que tiene influencia en el diseño de las estructuras, especialmente en lo que se refiere al comportamiento de las mismas a lo largo de su vida útil.

- Norma 5.2 IC de drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras, que incluye criterios de drenaje e impermeabilización de estructuras, publicada en el BOE en 2016.

1.3. Elección de la tipología de las estructuras

Existen diversas tipologías estructurales a emplear para cada uno de los grupos, la elección de una u otra será función de:

- Geometría (luz a salvar).
- Afecciones.
- Requerimientos ambientales (protecciones, Red Natura, etc).
- Requerimientos hidráulicos.
- Plazo de ejecución.
- Geotecnia (cimentación).

Además de estos criterios más objetivos existen otros subjetivos que también habrá que tener en cuenta para el encaje.

A continuación, se analizan cada uno de los grupos estructurales independientemente debido a sus particularidades que llevan asociadas.

1.3.1. Viaductos

Como norma general se consideran tipologías estructurales habituales en hormigón estructural ejecutables in situ: losas pretensadas aligeradas, cajones pretensados o vigas prefabricadas tipo artesa o doble T.

Respecto al diseño de los vanos de los Viaductos, se han estimado en el prediseño tableros con luces función del elemento a salvar y el ángulo de cruce. Siempre que ha sido posible se emplearán soluciones hiperestáticas y con luces no muy reducidas por su mejor comportamiento dinámico frente al paso de los trenes.

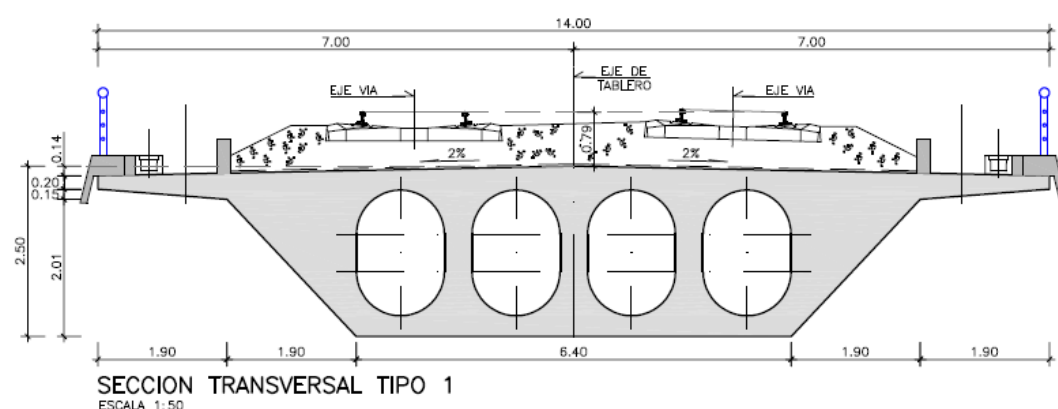
Como resultado nos encontramos con las siguientes secciones tipo en las estructuras tipo viaducto

1.3.1.1. Sección tipo 1. - luz máxima 35 metros. doble vía.

Para este caso se ha considerado una sección tipo que está constituida por un tablero en losa de hormigón postesado formada por un núcleo central y voladizos laterales hasta completar el ancho total del tablero.

El núcleo central va aligerado mediante aligeramientos cilíndricos longitudinales de sección transversal circular alargada. Las principales características de esta sección tipo son:

- Luz del vano: 30 – 35 metros
- Canto de losa: 2,50 metros (luz/canto=14,0)
- Longitud de voladizos extremos 1,90 metros
- Aligeramientos de 1,30 m de diámetro y 1.85 m de altura

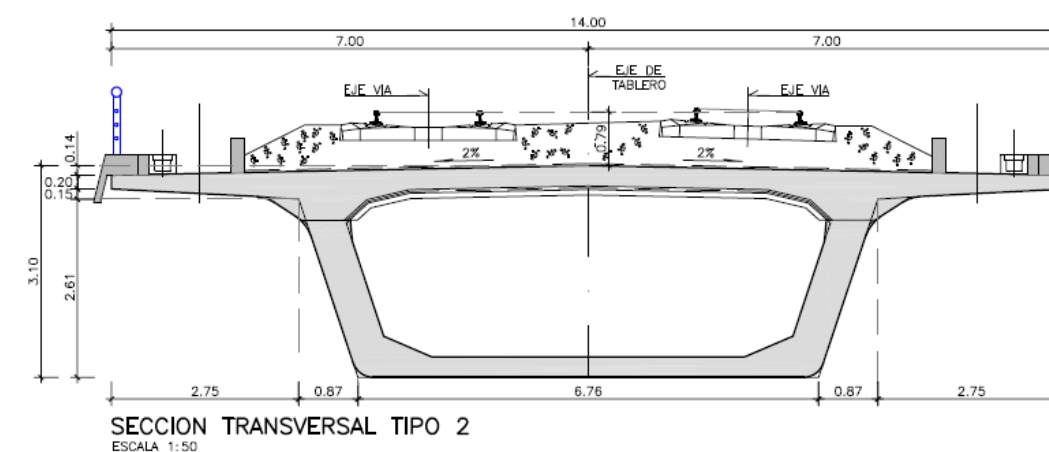


1.3.1.2. Sección tipo 2. - luz máxima 45 metros. doble vía

Para este caso se utilizan tableros de hormigón postesado con sección transversal en cajón de sección constante y voladizos laterales, construida bien "in situ", mediante cimbra, o bien mediante la técnica de tablero empujado.

Las principales características de esta sección tipo son:

- Luz del vano: 40.0 – 45.0 metros
- Canto de viga: 3.10 m (luz/canto =13,0)
- Espesor de almas: 45 cm
- Espesor en cara inferior: 30 cm
- Longitud de voladizos extremos: 2.75

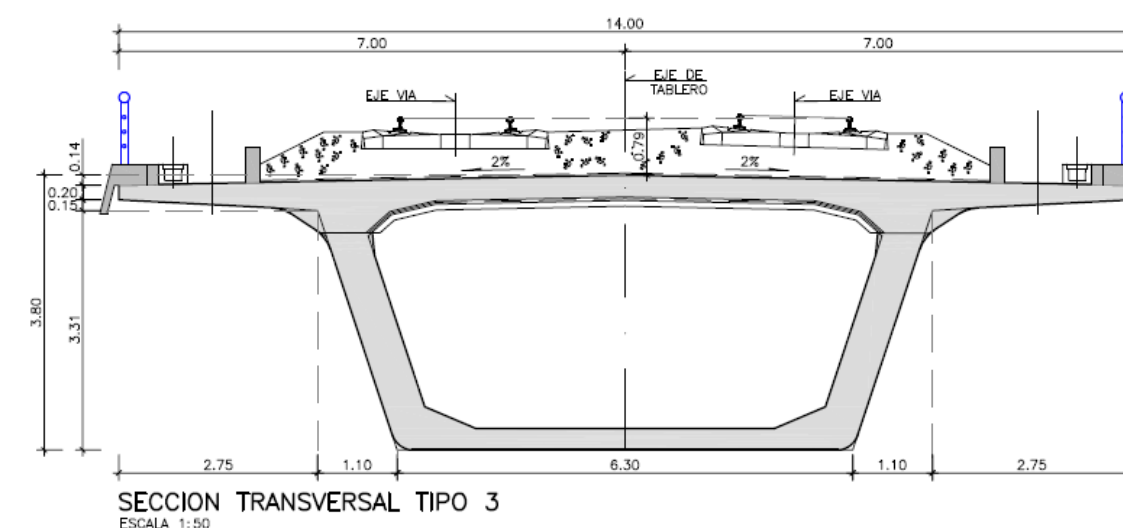


1.3.1.3. Sección tipo 3. - luz máxima 55 metros. doble vía

Para este caso se utilizan tableros de hormigón postesado con sección transversal en cajón de sección constante y voladizos laterales, construida bien "in situ", mediante cimbra, o bien mediante la técnica de tablero empujado.

Las principales características de esta sección tipo son:

- Luz del vano: 50.0 – 55.0 metros
- Canto de viga: 3.80 m (luz/canto =14,5)
- Espesor de almas: 45 cm
- Espesor en cara inferior: 30 cm
- Longitud de voladizos extremos: 2.75 m

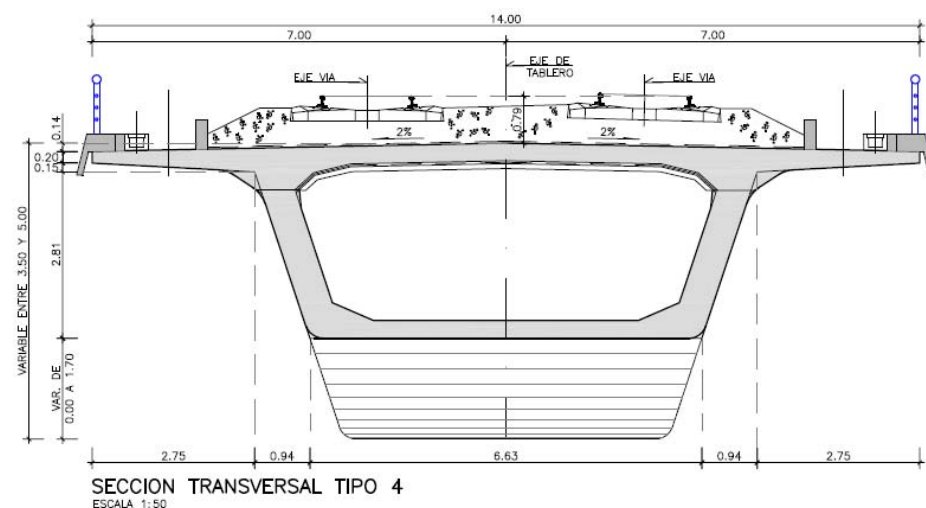


1.3.1.4. Sección tipo 4. sección tipo de viaducto - luz máxima 65 metros

Para este caso se utilizan tableros de hormigón postesado con sección transversal en cajón de canto variable, construida bien "in situ", mediante cimbra, o bien mediante la técnica de tablero empujado.

Las principales características de esta sección tipo son:

- Luz del vano: 60.0 – 65.0 metros
- Canto de viga variable de 3.50 a: 5.00 m
- Espesor de almas: 50 cm
- Espesor en cara inferior: 35 cm
- Longitud de voladizos extremos: 2.75 m



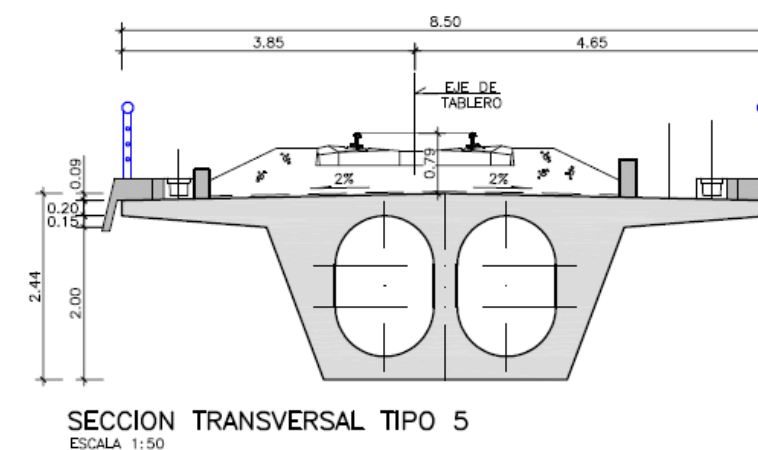
1.3.1.5. Sección tipo 5. - luz máxima 35 metros. vía única.

Para este caso se ha considerado una sección tipo que está constituida por un tablero en losa de hormigón postesado formada por un núcleo central y voladizos laterales hasta completar el ancho total del tablero.

El núcleo central va aligerado mediante aligeramientos cilíndricos longitudinales de sección transversal circular alargada. Las principales características de esta sección tipo son:

- Luz del vano: 30 – 35 metros
- Canto de losa: 2,44 metros (luz/canto=14,4)

- Longitud de voladizos extremos 1,90 metros
- Aligeramientos de 1,30 m de diámetro y 1.85 m de altura

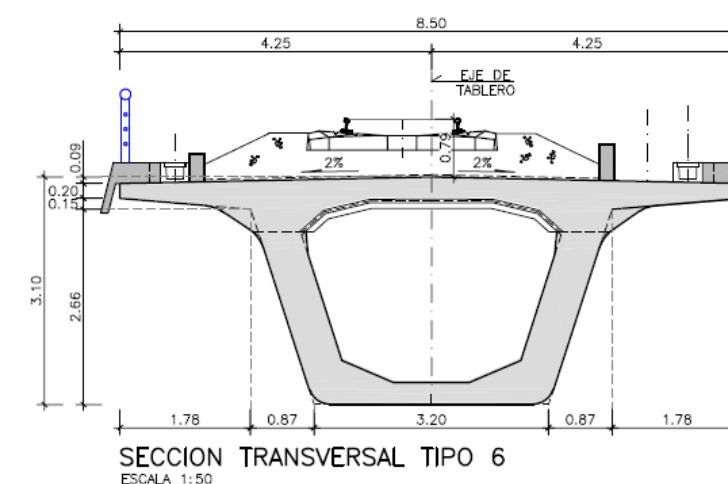


1.3.1.6. Sección tipo 6. - luz máxima 45 metros. vía única.

Para este caso se utilizan tableros de hormigón postesado con sección transversal en cajón de sección constante y voladizos laterales, construida bien "in situ", mediante cimbra, o bien mediante la técnica de tablero empujado.

Las principales características de esta sección tipo son:

- Luz del vano: 40.0 – 45.0 metros
- Canto de viga: 3.10 m (luz/canto =13,0)
- Espesor de almas: 45 cm
- Espesor en cara inferior: 30 cm
- Longitud de voladizos extremos: 1.78

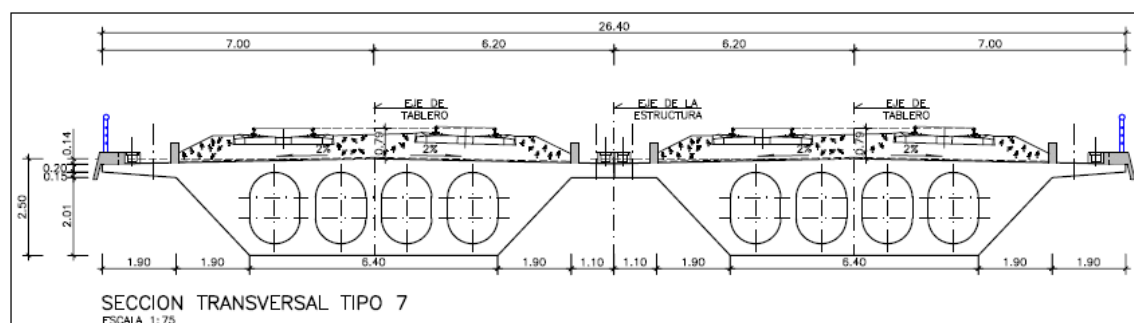


1.3.1.7. Sección tipo 7. - luz máxima 35 metros. ancho 26.40 m.

Esta sección se corresponde a viaductos situados en una zona de adelantamiento y estacionamiento de trenes, PAET. Esto implica un ensanchamiento de la plataforma ferroviaria. Para este caso se ha considerado una sección tipo que está constituida por dos tableros adyacentes en losa de hormigón postesado, formado cada uno de ellos por un núcleo central y voladizos laterales hasta completar el ancho total del tablero.

El núcleo central va aligerado mediante aligeramientos cilíndricos longitudinales de sección transversal circular alargada. Las principales características de esta sección tipo son:

- Luz del vano: 30 – 35 metros
- Canto de losa: 2,50metros (luz/canto=14,0)
- Longitud de voladizos extremos 1,90 metros
- Longitud de la losa central 2.20 metros
- Aligeramientos de 1,30 m de diámetro y 1.85 m de altura

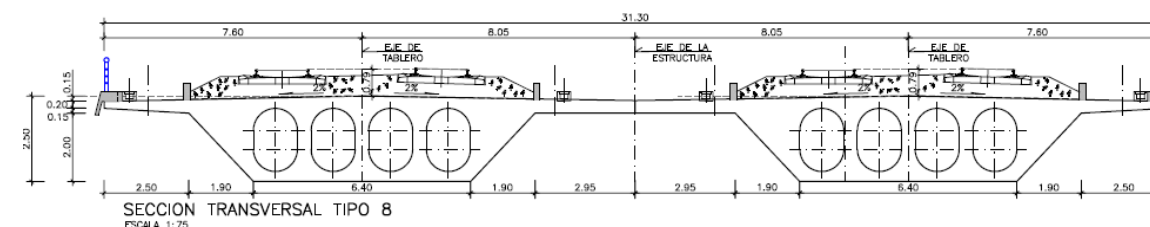


1.3.1.8. Sección tipo 8. - luz máxima 35 metros. ancho 31.30 m.

Esta sección se corresponde a viaductos situados en una zona de adelantamiento y estacionamiento de trenes, PAET. Esto implica un ensanchamiento de la plataforma ferroviaria. Para este caso se ha considerado una sección tipo que está constituida por dos tableros adyacentes en losa de hormigón postesado, formado cada uno de ellos por un núcleo central y voladizos laterales hasta completar el ancho total del tablero.

El núcleo central va aligerado mediante aligeramientos cilíndricos longitudinales de sección transversal circular alargada. Las principales características de esta sección tipo son:

- Luz del vano: 30 – 35 metros
- Canto de losa: 2,50metros (luz/canto=14,0)
- Longitud de voladizos extremos 2,50 metros
- Longitud de la losa central 5,90 metros
- Aligeramientos de 1,30 m de diámetro y 1.85 m de altura

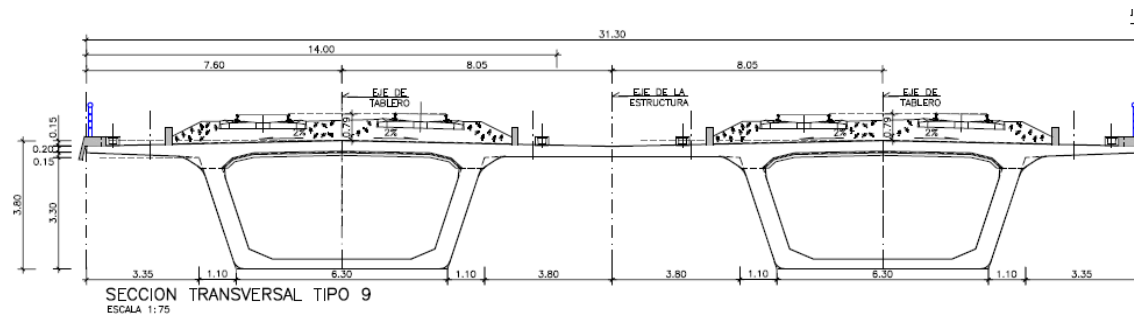


1.3.1.9. Sección tipo 9. - luz máxima 55 metros. ancho 31.30 m.

Esta sección se corresponde a viaductos situados en una zona de adelantamiento y estacionamiento de trenes, PAET. Esto implica un ensanchamiento de la plataforma ferroviaria. Para este caso se ha considerado una sección tipo que está constituida por dos tableros adyacentes en sección cajón de hormigón postesado de canto constante. Cada tablero está formado por un núcleo central y voladizos laterales hasta completar el ancho total del tablero.

Las principales características de esta sección tipo son:

- Luz del vano: 50.0 – 55.0 metros
- Canto de viga: 3.80 m (luz/canto =14,5)
- Espesor de almas: 45 cm
- Espesor en cara inferior: 30 cm
- Longitud de voladizos extremos: 3,35 m
- Longitud de la losa central 7,60 metros



La tipología general de pilas a emplear será tabique, habitualmente empleadas en ferrocarril, y la cimentación se ajustará a las indicaciones del estudio geotécnico.

En el caso de los estribos se emplearán tipologías también tradicionales siempre que sea posible, es decir, muros frontales con muros en vuelta terminados en aletas belgas.

El tablero descansará sobre pilas y estribos empleando apoyos pot (para grandes cargas), combinando distintas tipologías (libre, unidireccionales y rígidos) para que junto al estribo fijo se asegure el comportamiento longitudinal del tablero.

1.3.2. Pérgolas

Es la solución empleada para solventar el cruce con esviaje elevado, consiste en realizar una estructura recta de longitud considerable, función del esviaje en el cruce, sobre una de las vías cruzando la otra sobre esta.

Las posibles tipologías a emplear serán:

- Estructura in situ.
- Estructura de tablero prefabricado, ejecutado con vigas sobre las que se ejecuta una losa in situ.

Lo normal es ejecutarlas con tablero prefabricado, ya que normalmente la vía sobre la que se cruza está en uso y no suele ser viable su corte. El tablero prefabricado puede ser ejecutado con vigas en doble T o con artesas, aunque lo normal es recurrir al primero de los tipos, doble T, debido al menor peso lo que facilita su manipulación.

Se trata de estructuras más caras en comparación con tableros normales, el motivo es la repercusión de los estribos de gran longitud a ambos lados de la vía a salvar.

Con la finalidad de reducir el coste se suele recurrir a dejarles abiertos en la mayor parte posible, generando así una viga cargadero sobre pilares para el apoyo del tablero superiores.

El ferrocarril mantendrá los 14 m de anchura de la sección tipo sobre las vigas del tablero de la pérgola, la cual irá apoyada sobre la losa in situ. La zona de estructura no afectada por la vía superior se dejará aligerada entre vigas lo cual, además de ser más económico, favorece la visibilidad en la vía inferior.

La cimentación de los estribos dependerá de la geotecnia particular de la ubicación de la pérgola, sin olvidar la posible repercusión económica en la estructura.

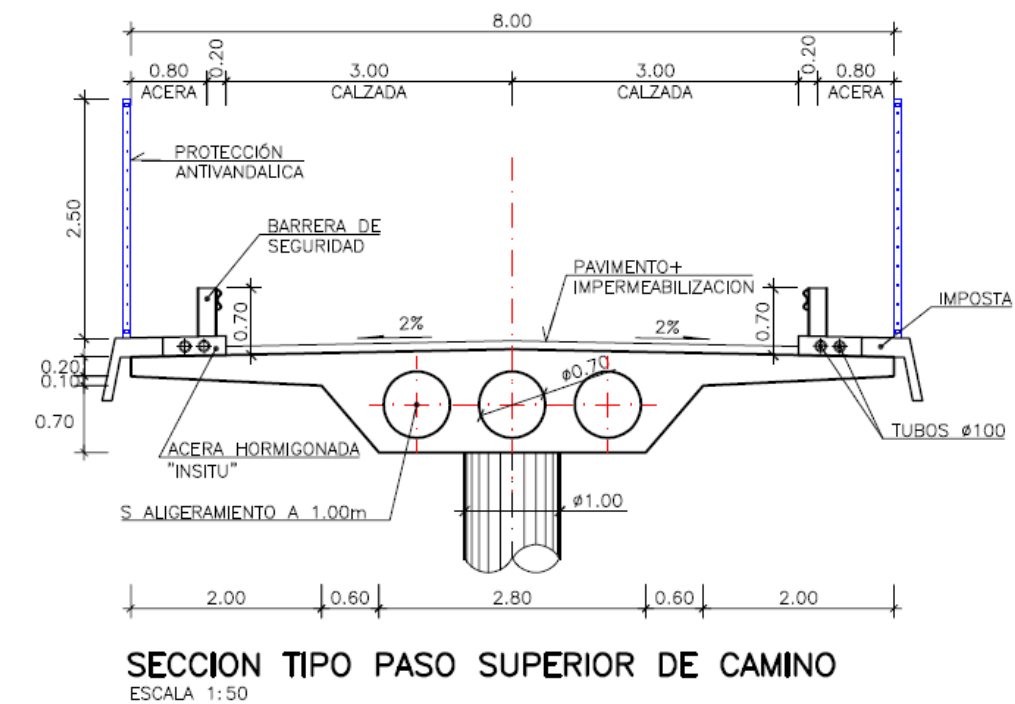
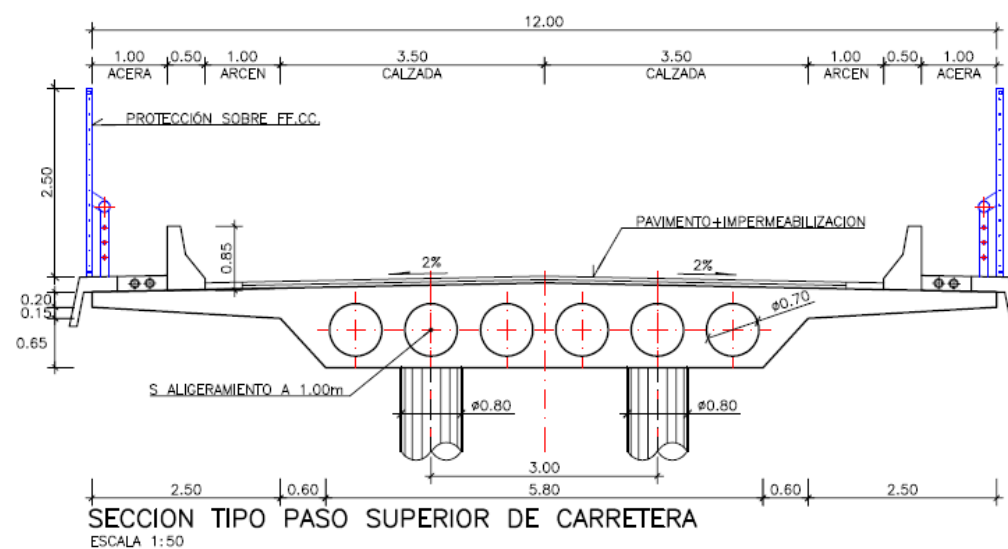
1.3.3. Pasos superiores

El ancho del tablero de los pasos superiores vendrá condicionado por el de la sección transversal de la vía a la que da servicio. Al objeto de homogeneizar las soluciones propuestas en esta fase de Estudio Informativo se han considerado dos tipologías, pasos superiores de carreteras y pasos superiores de caminos, cuyas características y geometría se explican en los apartados siguientes.

1.3.3.1. Pasos superiores de carreteras

Para la reposición de carreteras, se considera una anchura mínima de calzada y arcenes de 9 m, a los que se añaden aceras de 1,0 m de anchura en ambos lados. Estas quedarán separadas de los arcenes por barreras rígidas de hormigón de 0,50 m. Todos estos elementos dan lugar a un ancho de tablero de 12,0 m, quedando éste rematado en ambos lados por sendas impostas sobre la que se dispondrán barreras antivandálicas.

Se empleará una solución de losa postesada hiperestática con tres vanos y la siguiente sección transversal



La longitud de cada estructura y la distribución de luces dependen del esviaje con el que la carretera cruza las vías, y de la cota relativa de la rasante de la carretera respecto a éstas.

El gálibo vertical mínimo a respetar en los pasos superiores, medido entre la cota superior de carril e intradós de la estructura, será de 7,00 m.

Las pilas situadas a cada lado de la plataforma ferroviaria se situarán de modo que su cara interior quede al menos a 5 m del eje de la vía más próxima

1.3.3.2. Pasos superiores de caminos

Los pasos superiores de camino contarán con una anchura de calzada mínima de 6 m, y dos aceras laterales de 0,8m, separadas de la calzada por elementos de protección necesarios consistentes en barreras metálicas tipo bionda. La anchura total del tablero será, por tanto, de 8,0 m, quedando éste rematado en ambos lados por sendas impostas sobre la que se dispondrán barreras antivandálicas.

La solución propuesta para los pasos superiores de caminos consiste igualmente en puentes de tres vanos, cuyo tablero estará constituido por una losa maciza de hormigón postesado "in situ" con voladizos laterales como la que se observa en la figura.

Al igual que en los pasos superiores de carreteras, las pilas situadas a ambos lados de la plataforma ferroviaria se situarán de modo que su cara interior quede como mínimo a 5 m del eje de la vía más próxima.

Del mismo modo, el gálibo vertical mínimo entre cota superior del carril e intradós de la estructura será de 7 m.

1.3.4. Pasos inferiores

Las estructuras previstas para los pasos inferiores tanto de carreteras como de caminos consisten en marcos de hormigón armado ejecutados "in situ", que constan de un dintel superior del que parten sendos hastiales solidarios, los cuales se empotran a su vez en la losa de fondo del cajón (solera).

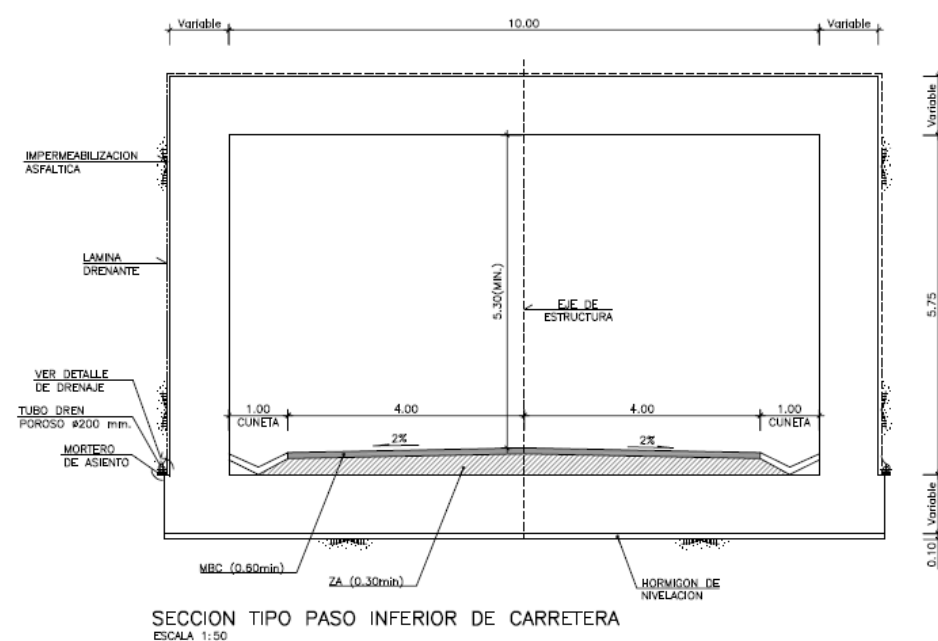
El canto del dintel y la solera así como el ancho de los hastiales se ha de estimar en función de la altura de tierras que gravita sobre cada estructura.

En general, y salvo que por condiciones estéticas, ecológicas o de geometría sea necesario modificar el criterio, se dispondrán aletas triangulares rectas a 30° con el eje del vial inferior. En las embocaduras de las obras enterradas (de tipo marco, pórtico, bóveda o tubo) con cobertera de tierras y esviadas, el plano de corte en el encuentro de la obra con el talud del terraplén en uno y otro extremo de la misma se mantendrá paralelo al eje del trazado principal.

1.3.4.1. Pasos inferiores de carreteras

El gálibo horizontal libre de los pasos inferiores deberá respetar al menos la anchura de la plataforma más dos metros, correspondientes a dos cunetas pisables de hormigón. En el caso de los pasos inferiores, se considera una anchura de plataforma mínima de 8.0 m. Las cunetas tendrán una anchura de 1 m, por lo que el gálibo interior libre del paso será de 10 m.

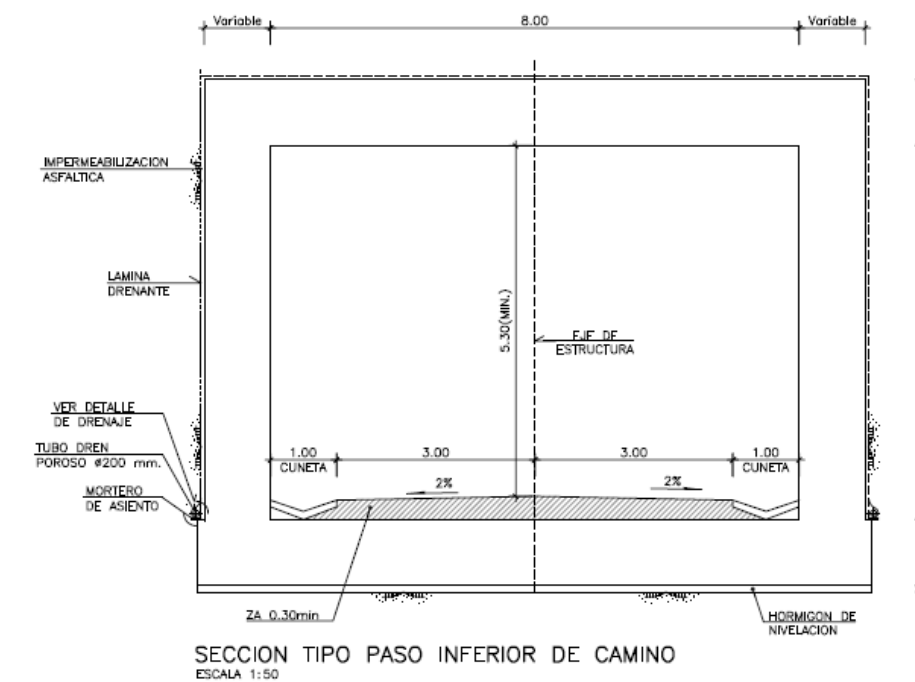
El gálibo vertical en el punto más desfavorable de la plataforma deberá ser de al menos 5,30 m.



SECCION TIPO PASO INFERIOR DE CARRETERA
ESCALA 1:50

1.3.4.2. Pasos inferiores de caminos

La anchura interior del marco en este caso será de 8 m, correspondientes a un ancho de plataforma de 6 m más cunetas de 1 m a cada lado. El gálibo vertical en el punto más desfavorable de la plataforma deberá ser de al menos 5,30 m. Una sección tipo se puede observar en la siguiente figura



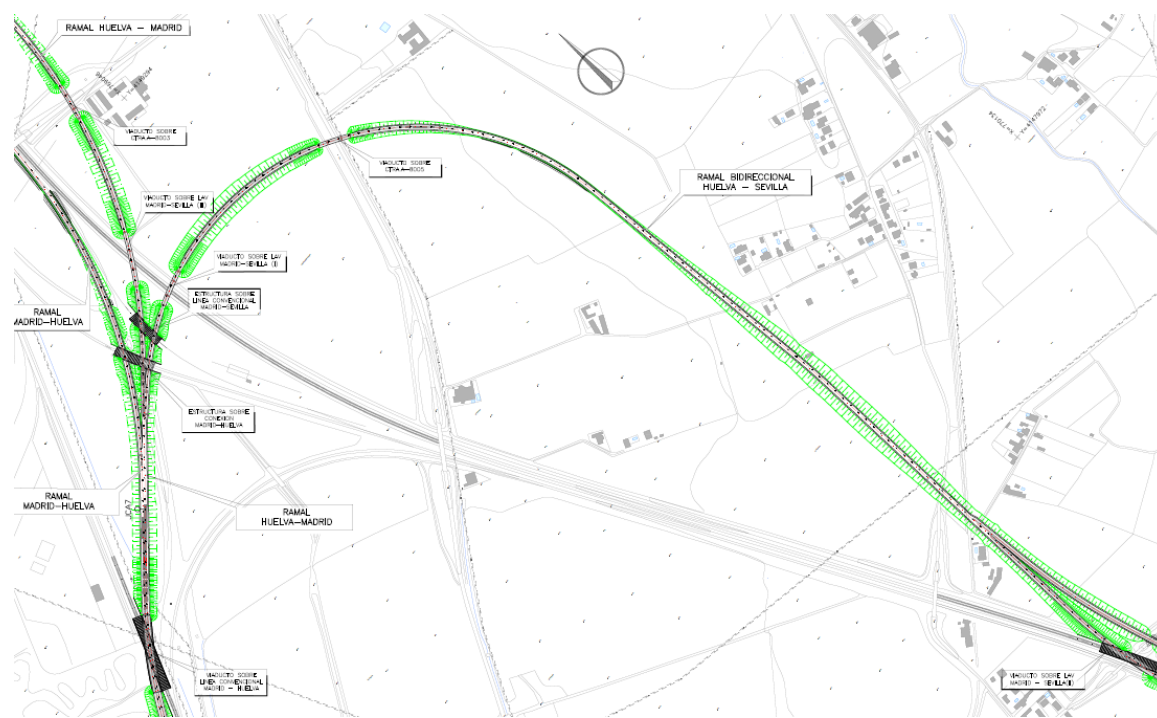
SECCION TIPO PASO INFERIOR DE CAMINO
ESCALA 1:50

1.4. Relación de estructuras. viaductos

En los siguientes apartados se incluyen una serie de tablas correspondientes a la ubicación y características básicas de las estructuras de cada una de las alternativas de trazado desarrolladas en este estudio, así como del nudo de Majarabique que es común a todas las alternativas.

1.4.1. Nudo de Majarabique

Este Nudo es común a todas las alternativas analizadas. En él se dispone un total de ocho estructuras, todas ellas motivadas por el cruce de la nueva vías con vías actualmente existentes, bien sean de ferrocarril o de carreteras.



Esquema general del nudo

Las estructuras afectan a tres ramales ferroviarios, pudiendo en algunos casos ser comunes a varios:

- Ramal Bidireccional Huelva - Sevilla
- Ramal Huelva – Madrid
- Ramal Madrid – Huelva

En general nos encontramos con dos tipos de estructuras:

- Viaductos de vía única. Sección Tipo 5

- Pérgolas

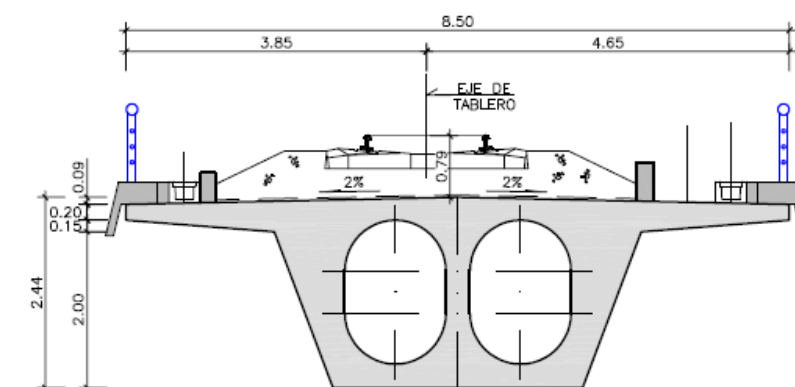
1.4.1.1. Viaductos sección tipo 5.

Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 30.0 o 35.0 metros y vía única. Este tipo de viaductos se resolverá mediante losa postesada aligerada

El ancho de los tableros en vía doble será de 8.50 m.

En la alternativa tratada se encuentra un total de cuatro viaductos con la tipología analizada,

| Ramal | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|---------------|-------------|------------|--------------|---|--------------|-------------|
| Bidireccional | 50+220 | 50+290 | 70 | Viaducto sobre LAV Madrid-Sevilla (I) | 20 - 30 -20 | Profunda |
| Bidireccional | 50+660 | 50+722 | 62 | Viaducto sobre Ctra. A-8005 | 17 - 28 - 17 | Profunda |
| Huelva-Madrid | 31+029 | 31+134 | 105 | Viaducto sobre LAV Madrid-Sevilla (III) | 35 - 35 - 35 | Profunda |
| Huelva-Madrid | 31+370 | 31+440 | 70 | Viaducto sobre Ctra. A-8003 | 20 - 30 - 20 | Profunda |



SECCION TRANSVERSAL TIPO 5
ESCALA 1:50

1.4.1.2. Pérgolas

Es la solución empleada para solventar el cruce con esviaje elevado, o cuando confluye el cruce de varios ramales adyacentes. Consiste en realizar una estructura recta de longitud considerable, función del esviaje en el cruce, sobre una de las vías cruzando la otra sobre esta.

La tipología a emplear para estas estructuras será la de un tablero prefabricado, ejecutado con vigas doble T sobre las que se ejecuta una losa in situ.

En esta alternativa nos encontramos con dos tipos fundamentales de estructuras:

- Estructuras con un esviaje elevado.

El esviaje es tan elevado que se ha optado por ampliar parcialmente el gálibo imprescindible para el cruce de la vía inferior en ambos extremos, de forma que permita un corte de la estructura perpendicular a la vía superior.

Con ello se evita una transición incorrecta del carril de terreno a estructura debido al elevado esviaje. Existen dos estructuras de este tipo:

| Ramal | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|---------------|-------------|------------|--------------|--|---------|-------------|
| Bidireccional | 52+523 | 52+638 | 115 | Pérgola sobre LAV Madrid-Sevilla (II) | Pérgola | Profunda |
| Huelva-Madrid | 30+250 | 30+399 | 149 | Pérgola sobre Línea convencional Madrid-Huelva | Pérgola | Profunda |

- Estructuras con cruces múltiples

Es el caso de varios ramales pasando por encima de una vía existente muy próximas entre sí. Se diseña así una estructura de mayor longitud, que abarca todos los cruces, cubriendo únicamente las zonas necesarias para el paso de plataformas.

Existen otras dos estructuras de este tipo:

| Ramal | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|---------------|-------------|------------|--------------|--|---------|-------------|
| Bidireccional | 50+101 | 50+101 | - | Estructura sobre Conexión Madrid-Sevilla | Pérgola | Profunda |
| Bidireccional | 50+157 | 50+157 | - | Viaducto sobre Línea convencional Madrid-Sevilla | Pérgola | Profunda |

1.4.2. Alternativa 1.1

En la alternativa analizada aparecen un total de 28 estructuras que se han agrupado según tipologías para poder tratarles a continuación.

1.4.2.1. Viaductos sección tipo 1.

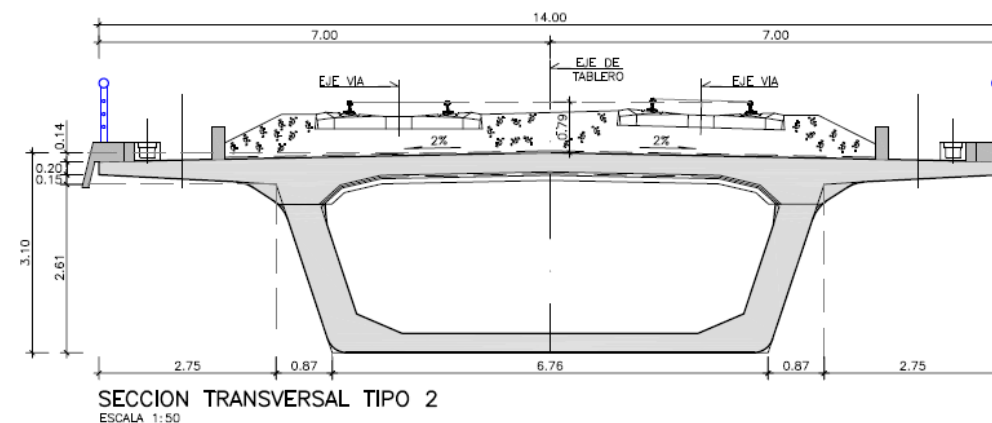
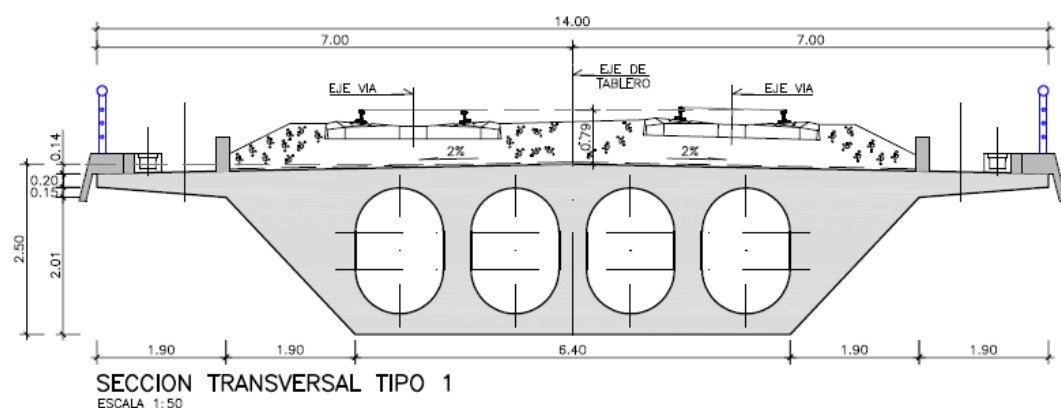
Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 30.0 o 35.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante losa postesada aligerada

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un total de 19 viaductos con la tipología analizada,

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|---------------------------------|---------------|-------------|
| 12+582 | 12+652 | 70 | Viaducto Arroyo del Judío | 20 - 30 -20 | Profunda |
| 12+700 | 12+880 | 180 | Viaducto Autovia SE-40 | 20- 35x4 - 20 | Profunda |
| 19+837 | 19+907 | 70 | Viaducto Arroyo Valdegallinas | 20 - 30 -20 | Profunda |
| 22+973 | 23+083 | 110 | Viaducto Arroyo Valdarrago | 20-35-35-20 | Profunda |
| 31+417 | 31+487 | 70 | Viaducto Arroyo Santa María | 20 - 30 -20 | Profunda |
| 32+007 | 32+084 | 77 | Viaducto Arroyo Tamujoso | 21-35-21 | Profunda |
| 32+425 | 32+502 | 77 | Viaducto Garganta de Barbacena | 21-35-21 | Profunda |
| 34+087 | 34+253 | 166 | Viaducto Arroyo de la Tejada | 21- 30x4 -25 | Profunda |
| 39+858 | 39+920 | 62 | Viaducto Arroyo del Cahozo | 17 - 28 -17 | Profunda |
| 50+010 | 50+150 | 140 | Viaducto Arroyo Fuente Santa II | 35x4 | Profunda |
| 50+520 | 50+590 | 70 | Viaducto Arroyo Giraldo | 20 - 30 -20 | Profunda |
| 51+528 | 51+598 | 70 | Viaducto 1 | 20 - 30 -20 | Profunda |
| 59+148 | 58+210 | 62 | Viaducto Arroyo Bayas | 17 - 28 - 17 | Profunda |
| 60+859 | 60+921 | 62 | Viaducto Sapo Hondo | 17 - 28 - 17 | Profunda |
| 63+749 | 63+819 | 70 | Viaducto Arroyo Arzobispo | 20 - 30 -20 | Profunda |
| 80+645 | 80+715 | 70 | Arroyo de Canillas | 20 - 30 - 20 | Profunda |

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|------------|--------------|-------------|
| 83+579 | 83+641 | 62 | Viaducto 2 | 17 - 28 - 17 | Profunda |
| 83+719 | 83+781 | 62 | Viaducto 3 | 17 - 28 - 17 | Profunda |



1.4.2.2. Viaductos sección tipo 2.

Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 40.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante una sección cajón postesada de canto constante

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un total de 3 viaductos con la tipología analizada,

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|---------------------------------|------------------------|-------------|
| 2+925 | 3+222 | 297 | Viaducto Tapón del Guadalquivir | 28.5 - 40x6 - 28.5 | Profunda |
| 75+379 | 75+679 | 300 | Viaducto Arroyo Candon | 28 - 40x6 - 32 | Profunda |
| 87+695 | 87+845 | 150 | Ribera de Nicoba | 20 - 30 - 35 - 40 - 25 | Profunda |

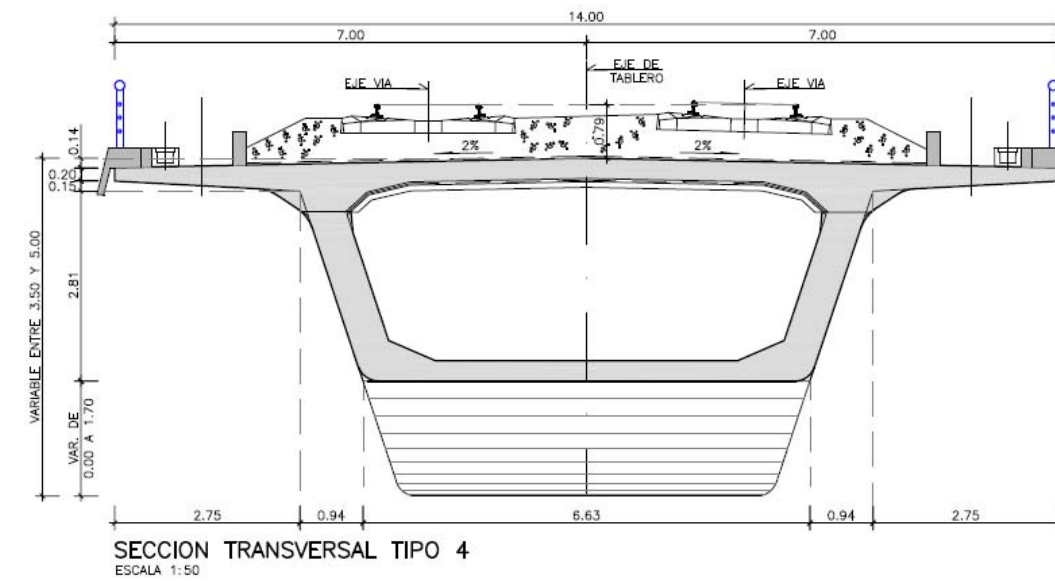
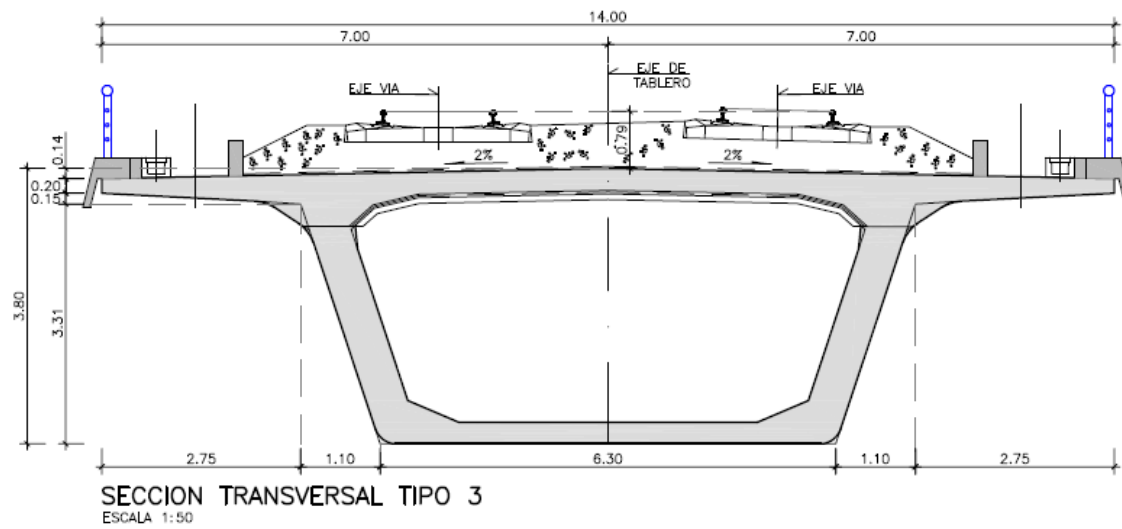
1.4.2.3. Viaductos sección tipo 3.

Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 50.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante una sección cajón postesada de canto constante

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un total de 3 viaductos con la tipología analizada,

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|---------------------------|--|-------------|
| 4+023 | 5+093 | 1070 | Viaducto del Guadalquivir | 45 - 55x18 - 35 | Profunda |
| 5+661 | 7+145 | 1484 | Viaducto de Camas | 31-55x3-50x2-55x7-30-50-55-40-35-45x2-55x7-45x2-28 | Profunda |
| 69+791 | 70+850 | 1059 | Viaducto Rio Tinto | 41 - 55x18 - 28 | Profunda |



1.4.2.4. viaductos sección tipo 4.

Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 65.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante una sección cajón postesada de canto variable. El canto es máximo en pilas, de 5.0 metros. Y mínimo en centro de vano, de 3.50 metros

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un único viaducto con esta tipología:

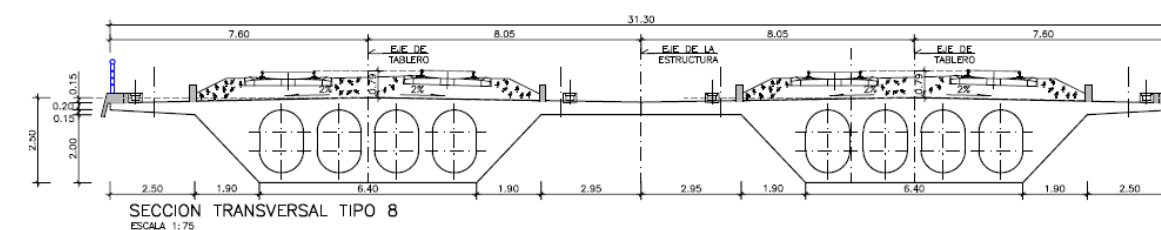
| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|------------------------|-----------------------------|-------------|
| 23+720 | 24+770 | 1050 | Viaducto Río Guadiamar | 35 - 54x4 - 65 - 54x13 - 32 | Profunda |

1.4.2.5. Viaductos sección tipo 8.

Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 30.0 o 35.0 metros y ancho 31.3.40. Este tipo de viaductos, correspondientes a zonas de estacionamiento y adelantamiento de trenes, cuentan con un ancho de tablero muy superior a lo habitual. Por ello se ha diseñado mediante dos tableros adyacentes de losa postesada aligerada

En la alternativa tratada se encuentra un viaducto con la tipología analizada,

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|----------------------|--------------|-------------|
| 77+531 | 77+593 | 62 | Arroyo del Valcarejo | 17 - 28 - 17 | Profunda |



1.4.2.6. Pérgolas

Es la solución empleada para solventar el cruce con esviaje elevado, consiste en realizar una estructura recta de longitud considerable, función del esviaje en el cruce, sobre una de las vías cruzando la otra sobre esta.

La tipología a emplear para estas estructuras será la de un tablero prefabricado, ejecutado con vigas doble T sobre las que se ejecuta una losa in situ.

En esta alternativa nos encontramos con dos estructuras de este tipo:

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|-------------------------------------|---------|-------------|
| 57+784 | 57+955 | 171 | Pérgola sobre ffcc Sevilla - Huelva | Pérgola | Profunda |
| 92+420 | 92+625 | 205 | Pérgola | Pérgola | Profunda |

1.4.3. Alternativa 1.2

En la alternativa analizada aparecen un total de 28 estructuras que se han agrupado según tipologías para poder tratarles a continuación.

1.4.3.1. Viaductos sección tipo 1.

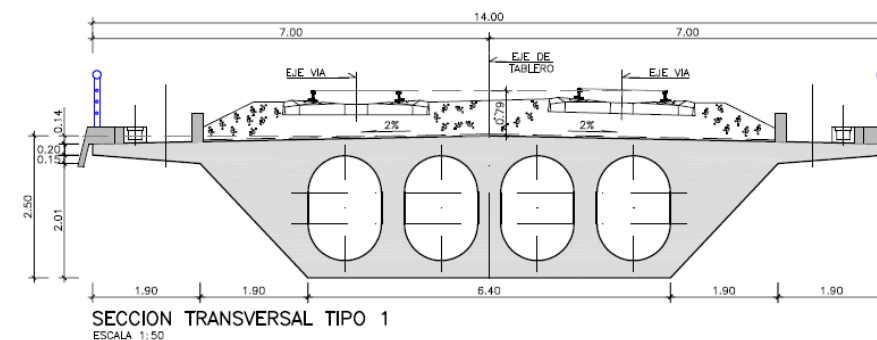
Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 30.0 o 35.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante losa postesada aligerada

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un total de 15 viaductos con la tipología analizada,

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|-------------------------------|---------------|-------------|
| 12+582 | 12+652 | 70 | Viaducto Arroyo del Judío | 20 - 30 -20 | Profunda |
| 12+582 | 12+652 | 70 | Viaducto Arroyo del Judío | 20 - 30 -20 | Profunda |
| 12+700 | 12+880 | 180 | Viaducto Autovía SE-40 | 20- 35x4 - 20 | Profunda |
| 19+837 | 19+907 | 70 | Viaducto Arroyo Valdegallinas | 20 - 30 -20 | Profunda |
| 22+973 | 23+083 | 110 | Viaducto Arroyo Valdarrago | 20-35-35-20 | Profunda |

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|--------------------------------|-----------------------|-------------|
| 31+417 | 31+487 | 70 | Viaducto Arroyo Santa María | 20 - 30 -20 | Profunda |
| 32+007 | 32+084 | 77 | Viaducto Arroyo Tamujoso | 21-35-21 | Profunda |
| 32+425 | 32+502 | 77 | Viaducto Garganta de Barbacena | 21-35-21 | Profunda |
| 34+087 | 34+253 | 166 | Viaducto Arroyo de la Tejada | 21- 30x4 -25 | Profunda |
| 39+878 | 39+898 | 62 | Viaducto Arroyo del Cahozo | 17 - 28 -17 | Profunda |
| 50+940 | 51+050 | 110 | Viaducto Arroyo Giraldo | 20 - 35 -35 - 35 - 20 | Profunda |
| 51+500 | 51+650 | 150 | Viaducto Arroyo del Juncal | 18 - 30x3 - 25 - 17 | Profunda |
| 56+510 | 56+638 | 128 | Viaducto Carretera A-493 | 23 - 35 - 35 - 35 | Profunda |
| 60+763 | 60+825 | 62 | Viaducto Sapo Hondo | 17 - 28 - 17 | Profunda |
| 63+653 | 63+723 | 70 | Viaducto Arroyo Arzobispo | 20 - 30 -20 | Profunda |
| 77+435 | 77+497 | 62 | Arroyo de Valcarejo | 17 - 28 - 17 | Profunda |
| 80+549 | 80+619 | 70 | Arroyo de canillas | 20 - 30 - 20 | Profunda |
| 83+483 | 83+545 | 62 | Viaducto 2 | 17 - 28 - 17 | Profunda |
| 83+623 | 83+685 | 62 | Viaducto 3 | 17 - 28 - 17 | Profunda |



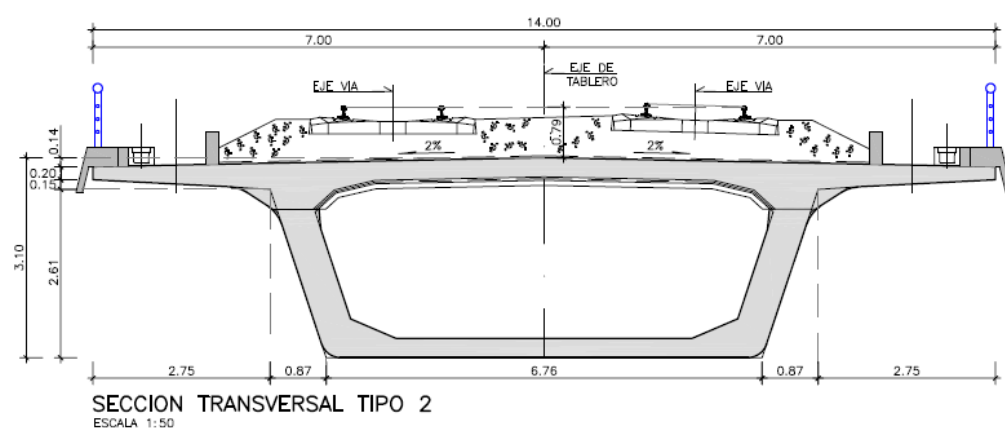
1.4.3.2. Viaductos sección tipo 2.

Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 40.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante una sección cajón postesada de canto constante

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un total de 4 viaductos con la tipología analizada,

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|---------------------------------|------------------------|-------------|
| 2+925 | 3+222 | 297 | Viaducto Tapón del Guadalquivir | 28.5 - 40x6 - 28.5 | Profunda |
| 54+120 | 54+220 | 100 | Viaducto Arroyo Tortillo | 30 - 40 - 30 | Profunda |
| 75+280 | 75+580 | 300 | Viaducto Arroyo Candon | 28 - 40x6 - 32 | Profunda |
| 87+600 | 87+750 | 150 | Ribera de Nicoba | 20 - 30 - 35 - 40 - 25 | Profunda |



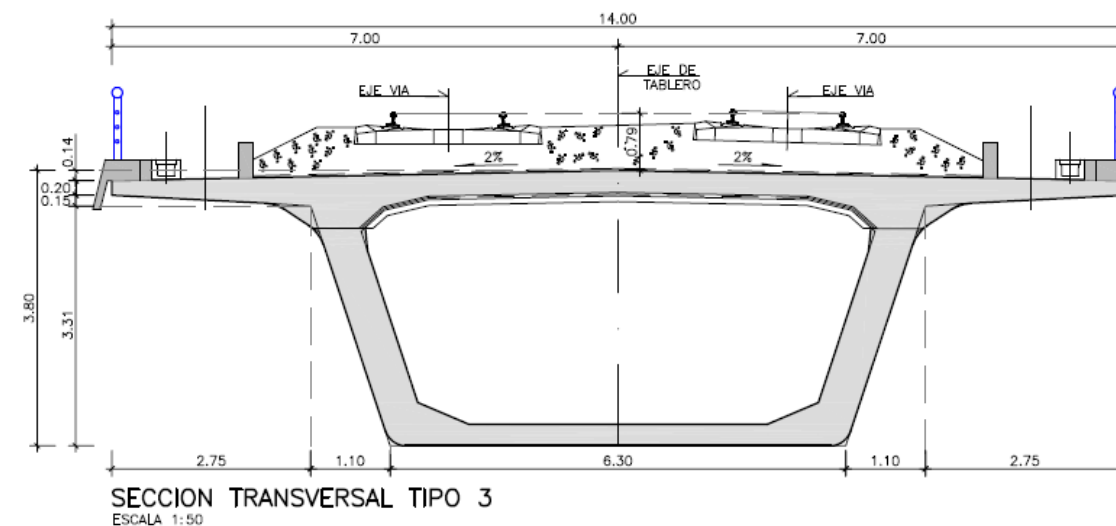
1.4.3.3. Viaductos sección tipo 3.

Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 50.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante una sección cajón postesada de canto constante

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un total de 3 viaductos con la tipología analizada,

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|---------------------------|--|-------------|
| 4+023 | 5+093 | 1070 | Viaducto del Guadalquivir | 45 - 55x18 - 35 | Profunda |
| 5+661 | 7+145 | 1484 | Viaducto de Camas | 31-55x3-50x2-55x7-30-50-55-40-35-45x2-55x7-45x2-28 | Profunda |
| 69+695 | 70+754 | 1059 | Viaducto Rio Tinto | 41 - 55x18 - 28 | Profunda |



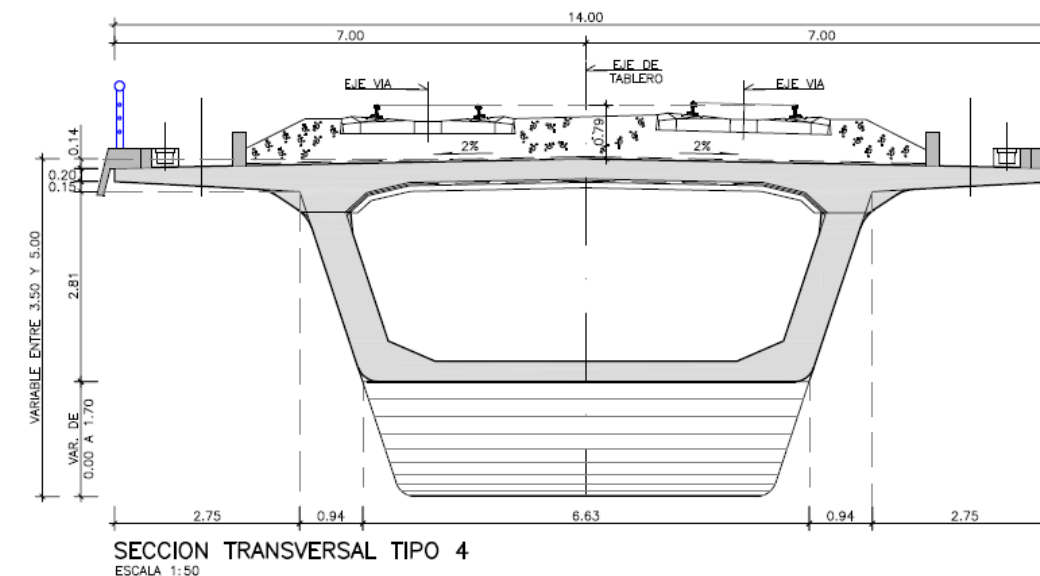
1.4.3.4. Viaductos sección tipo 4.

Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 65.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante una sección cajón postesada de canto variable. El canto es máximo en pilas, de 5.0 metros. Y mínimo en centro de vano, de 3.50 metros

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un único viaducto con esta tipología:

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|------------------------|-----------------------------|-------------|
| 23+720 | 24+770 | 1050 | Viaducto Río Guadiamar | 35 - 54x4 - 65 - 54x13 - 32 | Profunda |



1.4.3.5. Pérgolas

Es la solución empleada para solventar el cruce con esviaje elevado, consiste en realizar una estructura recta de longitud considerable, función del esviaje en el cruce, sobre una de las vías cruzando la otra sobre esta.

La tipología a emplear para estas estructuras será la de un tablero prefabricado, ejecutado con vigas doble T sobre las que se ejecuta una losa in situ.

En esta alternativa nos encontramos con dos estructuras de este tipo:

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|--|---------|-------------|
| 58+734 | 58+996 | 262 | Pérgola FFCC Sevilla-Huelva/Arroyo Bayas | Pérgola | Profunda |
| 92+323 | 92+528 | 205 | Pérgola | Pérgola | Profunda |

1.4.4. Alternativa 2.1

En la alternativa analizada aparecen un total de 31 estructuras, treinta en el eje principal de la nueva vía y una consecuencia de una de las reposiciones de vía propuestas. Todas ellas se han agrupado según tipologías para poder tratarles a continuación.

1.4.4.1. Viaductos sección tipo 1.

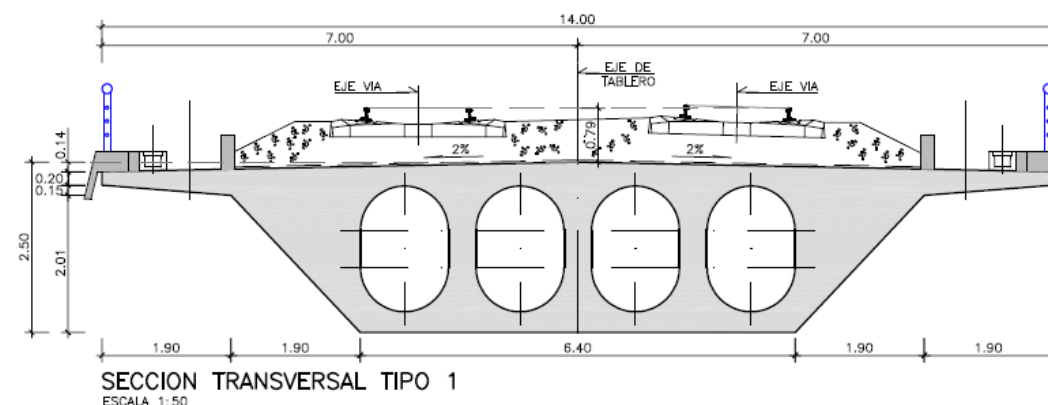
Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 30.0 o 35.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante losa postesada aligerada

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un total de 13 viaductos con la tipología analizada,

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|------------------------------|------------------|-------------|
| 12+365 | 12+475 | 110 | Viaducto Arroyo del Judio | 20 - 35 - 35 -20 | Profunda |
| 27+850 | 27+970 | 120 | Viaducto Arroyo de la Tejada | 25 - 35 -35 - 25 | Profunda |
| 49+210 | 49+310 | 100 | Viaducto Arroyo de la Fuente | 20 - 30 - 30 -20 | Profunda |
| 58+198 | 58+260 | 62 | Viaducto Arroyo Bayas | 17 - 28 - 17 | Profunda |

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|--------------------------------|------------------------|-------------|
| 59+911 | 59+973 | 62 | Viaducto Sapo Hondo | 17 - 28 - 17 | Profunda |
| 66+988 | 67+163 | 175 | Viaducto Arroyo de Lavapies | 20 - 35x4 -20 | Superficial |
| 67+858 | 67+920 | 62 | Viaducto Arroyo de la Adelfa | 17 - 28 - 17 | Superficial |
| 75+935 | 76+055 | 120 | Viaducto Arroyo del Valcarejo | 25 - 35 - 35 -25 | Superficial |
| 79+491 | 79+631 | 140 | Viaducto Arroyo Canillas | 20 - 35 - 35 - 30 - 20 | Superficial |
| 83+732 | 83+794 | 62 | Viaducto Arroyo de los Prados | 17 - 28 - 17 | Profunda |
| 86+707 | 86+832 | 125 | Viaducto Autovia A-49 | 30 - 30 -35 -30 | Profunda |
| 87+242 | 87+312 | 70 | Viaducto sobre carretera N-431 | 20 - 30 - 20 | Profunda |



1.4.4.2. Viaductos sección tipo 2.

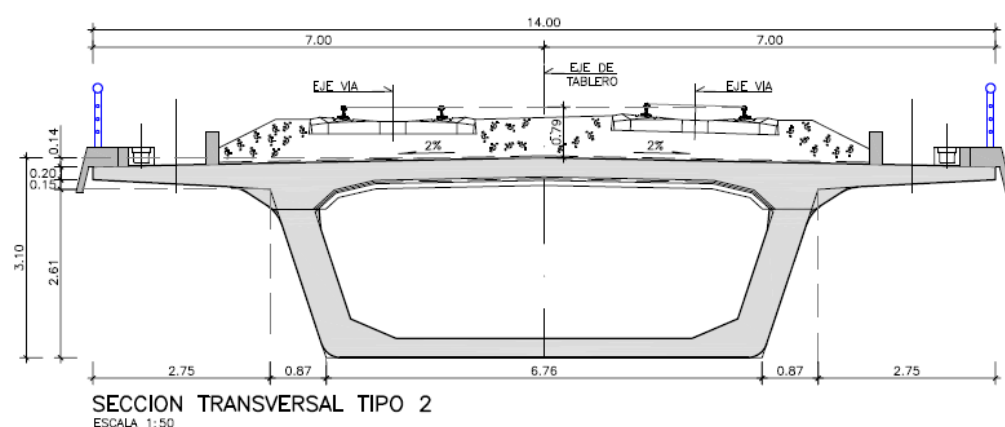
Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 40.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante una sección cajón postesada de canto constante

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un total de 8 viaductos con la tipología analizada:

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|-----------------------------------|--------------------|-------------|
| 2+925 | 3+222 | 297 | Viaducto Tapón del Guadalquivir | 28.5 - 40x6 - 28.5 | Profunda |
| 17+570 | 17+800 | 230 | Viaducto Arroyo De la Coriana. OK | 25-40-45-45-40-35 | Profunda |

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|--|--|-------------|
| 37+815 | 37+925 | 110 | Ferrocarril | 40 - 40 - 30 Esviado | Profunda |
| 41+215 | 41+545 | 330 | Viaducto Arroyo Alcarayon | 20 - 35x4 - 40x2 -35x2 - 20 | Profunda |
| 63+380 | 63+590 | 210 | Viaducto Arroyo del Arzobispo | 25 - 40x4 - 25 | Superficial |
| 73+424 | 73+724 | 300 | Viaducto Arroyo Candón | 25 - 40x6 -35 | Superficial |
| 74+043 | 74+253 | 210 | Viaducto Arrollo Bajondillo | 25 - 40x4 - 25 | Superficial |
| 87+945 | 88+888 | 943 | Viaducto sobre H-31 y fcc Huelva-Zafra | 28 - 40X3 - 45X7 - 40x12 Esviaje parcial | Profunda |



1.4.4.3. Viaductos sección tipo 3.

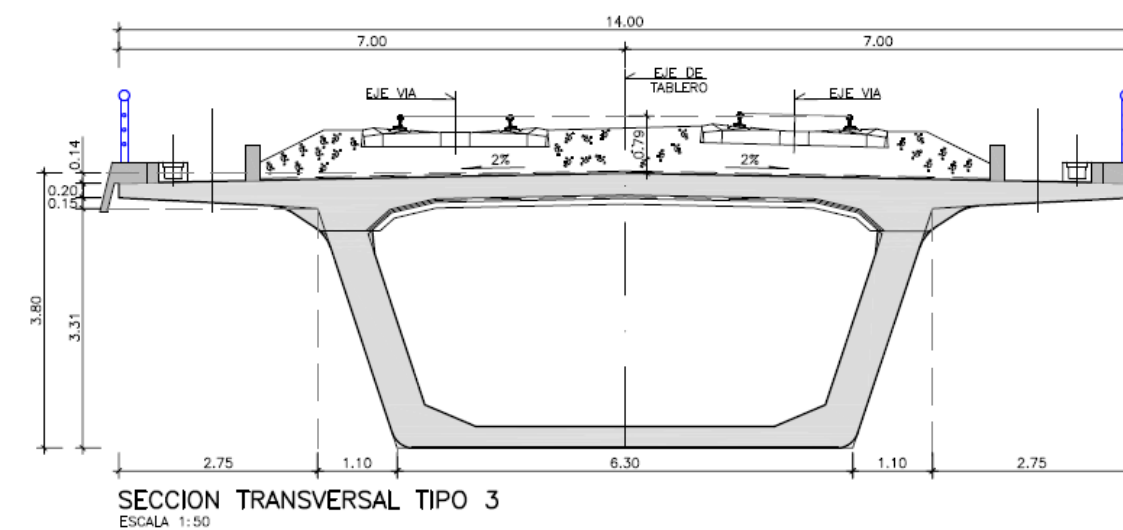
Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 50.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante una sección cajón postesada de canto constante

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un total de 5 viaductos con la tipología analizada,

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|---------------------------|--|-------------|
| 4+023 | 5+093 | 1070 | Viaducto del Guadalquivir | 45 - 55x18 - 35 | Profunda |
| 5+661 | 7+145 | 1484 | Viaducto de Camas | 31-55x3-50x2-55x7-30-50-55-40-35-45x2-55x7-45x2-28 | Profunda |
| 23+072 | 24+270 | 1198 | Viaducto Rio Guadimar | 26 -45 -55x4 -50x3 -55x13 -42 | Profunda |

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|--------------------|---------------------|-------------|
| 64+690 | 65+250 | 560 | Viaducto Rio Tinto | 45 - 55x8 - 45 - 30 | Superficial |

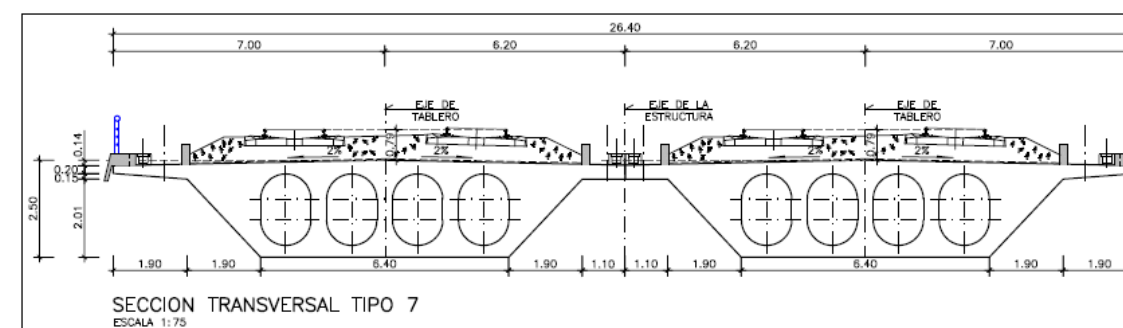


1.4.4.4. Viaductos sección tipo 7.

Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 30.0 o 35.0 metros y ancho 26.40. Este tipo de viaductos, correspondientes a zonas de estacionamiento y adelantamiento de trenes, cuentan con un ancho de tablero muy superior a lo habitual. Por ello se ha diseñado mediante dos tableros adyacentes de losa postesada aligerada

En la alternativa tratada se encuentra un viaducto con la tipología analizada,

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|---------------------------|--------------|-------------|
| 25+440 | 25+510 | 70 | Viaducto Arroyo Acebuchal | 20 - 30 - 30 | |

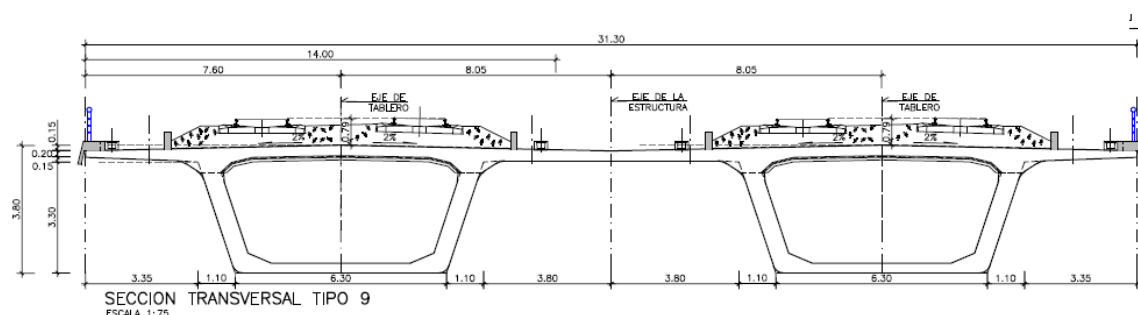


1.4.4.5. Viaductos sección tipo 9.

Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 55.0 y ancho 31.30. Este tipo de viaductos, correspondientes a zonas de estacionamiento y adelantamiento de trenes, cuentan con un ancho de tablero muy superior a lo habitual. Por ello se ha diseñado mediante dos tableros adyacentes sección cajón de hormigón postesado.

En la alternativa tratada se encuentra un viaducto con la tipología analizada,

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|----------------|----------------|-------------|
| 25+920 | 26+330 | 410 | Viaducto Balsa | 40 - 55x6 - 40 | Profunda |



1.4.4.6. Pérgolas

Es la solución empleada para solventar el cruce con esviaje elevado, consiste en realizar una estructura recta de longitud considerable, función del esviaje en el cruce, sobre una de las vías cruzando la otra sobre esta.

La tipología a emplear para estas estructuras será la de un tablero prefabricado, ejecutado con vigas doble T sobre las que se ejecuta una losa in situ.

En esta alternativa nos encontramos con cinco estructuras de este tipo:

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|--|---------|-------------|
| 48+460 | 48+660 | 200 | Pérgola FFCC | Pérgola | Profunda |
| 56+800 | 56+953 | 153 | Pérgola FFCC Sevilla - Huelva | Pérgola | Profunda |
| 61+760 | 62+210 | 450 | Pérgola sobre FFCC Sevilla-Huelva y CTRA A+472 | Pérgola | Profunda |
| 90+300 | 90+740 | 440 | Pérgola sobre Ctra. A-5000 y fcc Huelva-Zafra | Pérgola | Profunda |
| 93+530 | 93+735 | 205 | Pérgola sobre fcc | Pérgola | Profunda |

1.4.5. Alternativa 2.2

En la alternativa analizada aparecen un total de 36 estructuras, treinta y cinco en el eje principal de la nueva vía y una consecuencia de una de las reposiciones debía propuestas. Todas ellas se han agrupado según tipologías para poder tratarlas a continuación.

1.4.5.1. Viaductos sección tipo 1.

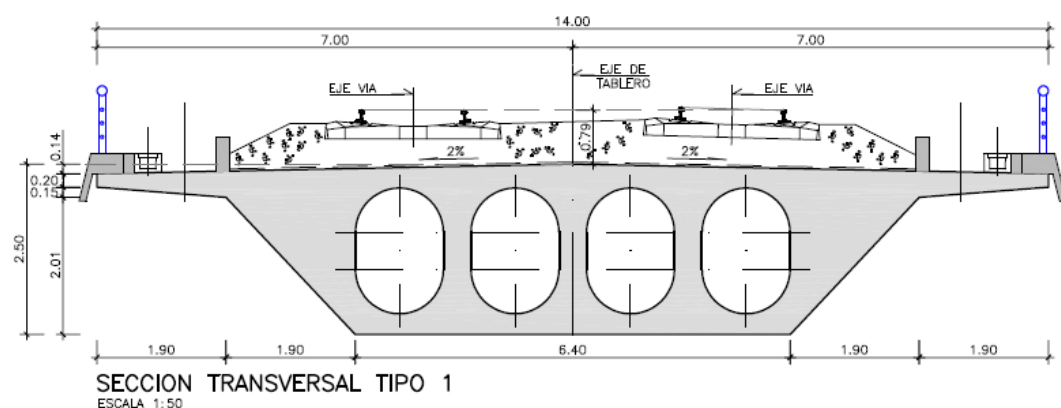
Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 30.0 o 35.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante losa postesada aligerada

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un total de 16 viaductos con la tipología analizada,

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|-----------------------------------|------------------------|-------------|
| 12+365 | 12+475 | 110 | Viaducto Arroyo del Judio | 20 - 35 - 35 -20 | Profunda |
| 27+850 | 27+970 | 120 | Viaducto Arroyo de la Tejada | 25 - 35 -35 - 25 | Profunda |
| 47+908 | 47+970 | 62 | Viaducto Ferrocarril | 14 - 28 -17 Esviado | Profunda |
| 48+150 | 48+270 | 120 | Viaducto Carretera-Fuente Santa I | 15 - 30x3 - 15 | Profunda |
| 49+264 | 49+326 | 62 | Viaducto Fuente Santa I (B) | 17 - 28 - 17 | Profunda |
| 50+317 | 50+429 | 112 | Arroyo de los Morantes | 21 - 35 - 35 - 21 | Profunda |
| 50+877 | 51+027 | 150 | Viaducto Fuente Santa II | 15 - 30x4 -15 | Profunda |
| 55+887 | 56+015 | 128 | Viaducto A-493 | 23 - 35 - 35 - 35 | Profunda |
| 60+140 | 60+202 | 62 | Viaducto Sapo Hondo | 17 - 28 - 17 | Profunda |
| 67+218 | 67+393 | 175 | Viaducto Arroyo de Lavapies | 20 - 35x4 -20 | Superficial |
| 68+083 | 68+145 | 62 | Viaducto Arroyo de la Adelfa | 17 - 28 - 17 | Superficial |
| 76+166 | 76+286 | 120 | Viaducto Arroyo del Valcarejo | 25 - 35 - 35 -25 | Superficial |
| 79+723 | 79+863 | 140 | Viaducto Arroyo Canillas | 20 - 35 - 35 - 30 - 20 | Superficial |
| 83+963 | 84+025 | 62 | Viaducto Arroyo de los Prados | 17 - 28 - 17 | Profunda |

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|--------------------------------|-----------------|-------------|
| 86+939 | 87+064 | 125 | Viaducto Autovia A-49 | 30 - 30 -35 -30 | Profunda |
| 87+474 | 87+544 | 70 | Viaducto sobre carretera N-431 | 20 - 30 - 20 | Profunda |



1.4.5.2. Viaductos sección tipo 2.

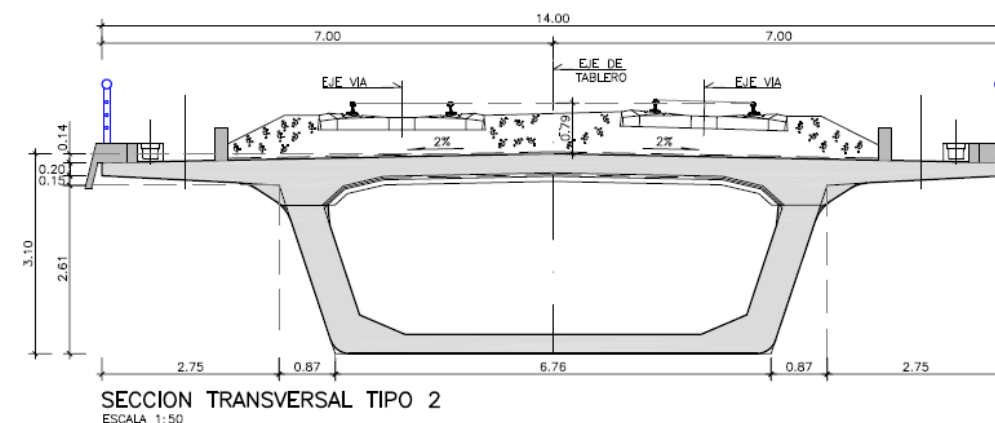
Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 40.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante una sección cajón postesada de canto constante

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un total de 10 viaductos con la tipología analizada:

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------|
| 2+925 | 3+222 | 297 | Viaducto Tapón del Guadalquivir | 28.5 - 40x6 - 28.5 | Profunda |
| 17+570 | 17+800 | 230 | Viaducto Arroyo De la Coriana | 25-40-45-45-40-35 | Profunda |
| 37+815 | 37+925 | 110 | Ferrocarril | 40 - 40 - 30 Esviado | Profunda |
| 41+215 | 41+545 | 330 | Viaducto Arroyo Alcarayon | 20 - 35x4 - 40x2 -35x2 - 20 | Profunda |
| 48+560 | 48+810 | 250 | Viaducto Fuente Santa I (A) | 25 - 40x5 - 25 | Profunda |
| 53+497 | 53+597 | 100 | Viaducto Arroyo Río Tortillo | 30 - 40 - 30 | Profunda |
| 63+606 | 63+816 | 210 | Viaducto Arroyo del Arzobispo | 25 - 40x4 - 25 | Superficial |
| 73+656 | 73+956 | 300 | Viaducto Arroyo Candón | 25 - 40x6 -35 | Superficial |

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|--|--------------------------|-------------|
| 74+275 | 74+485 | 210 | Viaducto Arrollo Bajondillo | 25 - 40x4 - 25 | Superficial |
| 88+183 | 89+126 | 943 | Viaducto sobre H-31 y fcc Huelva-Zafra | 28 - 40X3 - 45X7 - 40x12 | Profunda |



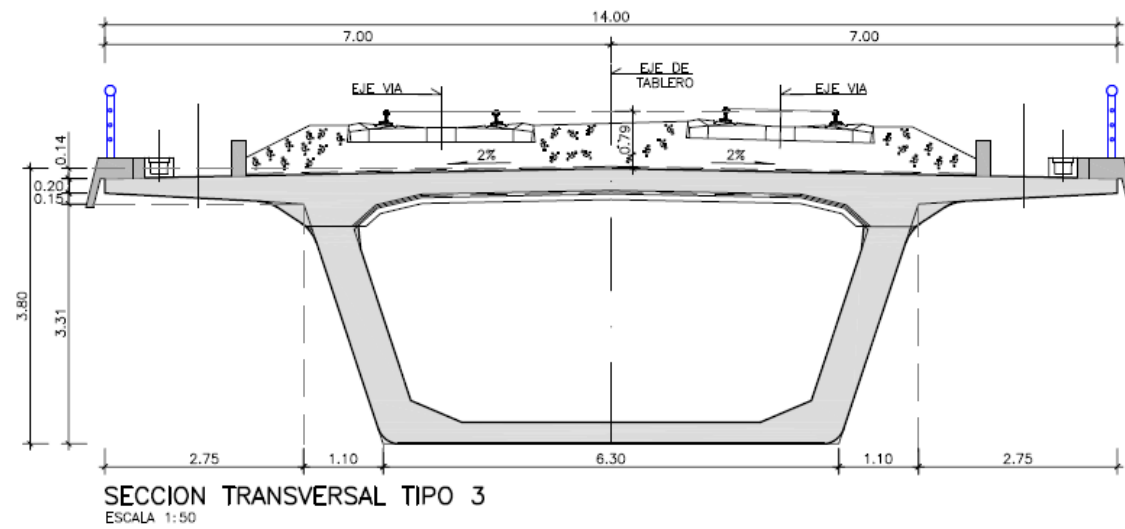
1.4.5.3. Viaductos sección tipo 3.

Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 50.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante una sección cajón postesada de canto constante

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un total de 5 viaductos con la tipología analizada,

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|---------------------------|--|-------------|
| 4+023 | 5+093 | 1070 | Viaducto del Guadalquivir | 45 - 55x18 - 35 | Profunda |
| 5+661 | 7+145 | 1484 | Viaducto de Camas | 31-55x3-50x2-55x7-30-50-55-40-35-45x2-55x7-45x2-28 | Profunda |
| 23+072 | 24+270 | 1198 | Viaducto Río Guadimar | 26 -45 -55x4 -50x3 -55x13 -42 | Profunda |
| 25+920 | 26+330 | 410 | Viaducto Balsa | 40 - 55x6 - 40 | Profunda |
| 64+916 | 65+476 | 560 | Viaducto Río Tinto | 45 - 55x8 - 45 - 30 | Superficial |

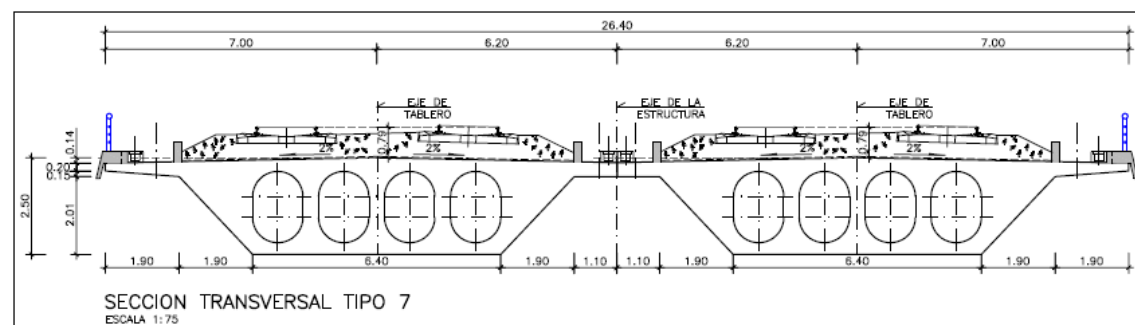


1.4.5.4. Viaductos sección tipo 7.

Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 30.0 o 35.0 metros y ancho 26.40. Este tipo de viaductos, correspondientes a zonas de estacionamiento y adelantamiento de trenes, cuentan con un ancho de tablero muy superior a lo habitual. Por ello se ha diseñado mediante dos tableros adyacentes de losa postesada aligerada

En la alternativa tratada se encuentra un viaducto con la tipología analizada,

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|---------------------------|--------------|-------------|
| 25+450 | 25+520 | 70 | Viaducto Arroyo Acebuchal | 20 - 30 - 30 | Profunda |

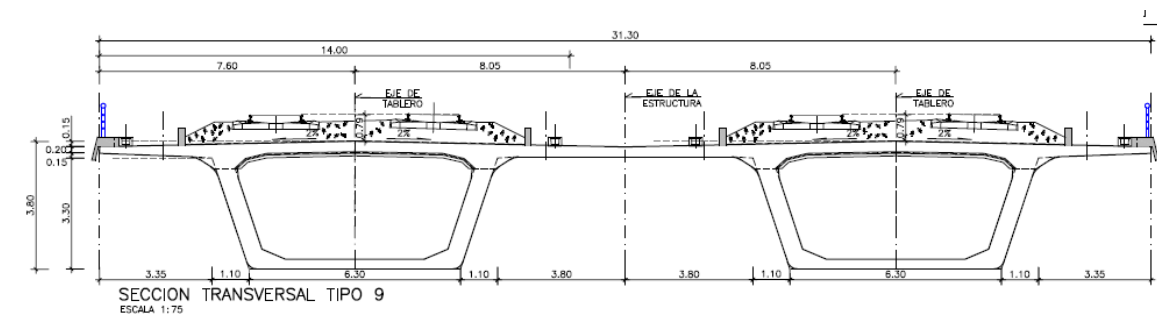


1.4.5.5. Viaductos sección tipo 9.

Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 55.0 y ancho 31.30. Este tipo de viaductos, correspondientes a zonas de estacionamiento y adelantamiento de trenes, cuentan con un ancho de tablero muy superior a lo habitual. Por ello se ha diseñado mediante dos tableros adyacentes sección cajón de hormigón postesado.

En la alternativa tratada se encuentra un viaducto con la tipología analizada,

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|----------------|----------------|-------------|
| 25+920 | 26+330 | 410 | Viaducto Balsa | 40 - 55x6 - 40 | Profunda |



1.4.5.6. Pérgolas

Es la solución empleada para solventar el cruce con esviaje elevado, consiste en realizar una estructura recta de longitud considerable, función del esviaje en el cruce, sobre una de las vías cruzando la otra sobre esta.

La tipología a emplear para estas estructuras será la de un tablero prefabricado, ejecutado con vigas doble T sobre las que se ejecuta una losa in situ.

En esta alternativa nos encontramos con cuatro estructuras de este tipo:

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|--|---------|-------------|
| 58+115 | 58+377 | 262 | Pérgola FC Sevilla - Huelva - Arroyo Bayas | Pérgola | Profunda |
| 62+000 | 62+450 | 450 | Pérgola sobre FFCC Sevilla-Huelva y CTRA A+472 | Pérgola | Profunda |
| 90+560 | 91+000 | 440 | Pérgola sobre Ctra. A-5000 y fcc Huelva-Zafra | Pérgola | Profunda |
| 93+796 | 94+001 | 205 | Pérgola sobre fcc | Pérgola | Profunda |

1.4.6. Alternativa 3.1

En la alternativa analizada aparecen un total de 34 estructuras, treinta y tres en el eje principal de la nueva vía y una consecuencia de una de las reposiciones de vía propuestas. Todas ellas se han agrupado según tipologías para poder tratarles a continuación.

1.4.6.1. Viaductos sección tipo 1.

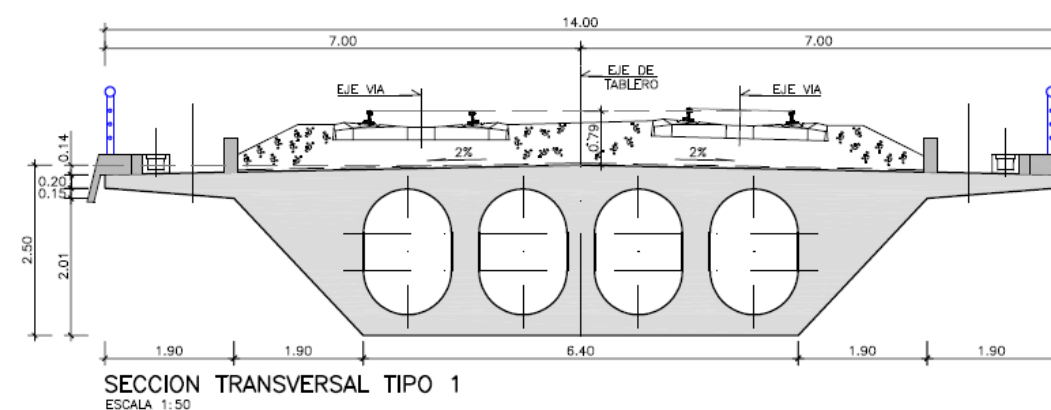
Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 30.0 o 35.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante losa postesada aligerada

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un total de 21 viaductos con la tipología analizada,

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|---------------------------------|-------------------|-------------|
| 12+582 | 12+652 | 70 | Viaducto Arroyo del Judio | 20 - 30 -20 | Profunda |
| 12+700 | 12+880 | 180 | Viaducto Autovía SE-40 | 20- 35x4 - 20 | Profunda |
| 19+837 | 19+907 | 70 | Viaducto Arroyo Valdegallinas | 20 - 30 -20 | Profunda |
| 22+973 | 23+083 | 110 | Viaducto Arroyo Valdarrago | 20-35-35-20 | Profunda |
| 31+417 | 31+487 | 70 | Viaducto Arroyo Santa María | 20 - 30 -20 | Profunda |
| 32+007 | 32+084 | 77 | Viaducto Arroyo Tamujoso | 21-35-21 | Profunda |
| 32+425 | 32+502 | 77 | Viaducto Garganta de Barbacena | 21-35-21 | Profunda |
| 34+087 | 34+253 | 166 | Viaducto Arroyo de la Tejada | 21- 30x4 -25 | Profunda |
| 39+858 | 39+920 | 62 | Viaducto Arroyo del Cahozo | 17 - 28 -17 | Profunda |
| 50+010 | 50+150 | 140 | Viaducto Arroyo Fuente Santa II | 35x4 | Profunda |
| 50+520 | 50+590 | 70 | Viaducto Arroyo Giraldo | 20 - 30 -20 | Profunda |
| 51+528 | 51+598 | 70 | Viaducto 1 | 20 - 30 -20 | Profunda |
| 59+148 | 58+210 | 62 | Viaducto Arroyo Bayas | 17 - 28 - 17 | Profunda |
| 60+859 | 60+921 | 62 | Viaducto Sapo Hondo | 17 - 28 - 17 | Profunda |
| 67+937 | 68+112 | 175 | Viaducto Arroyo de Lavapies | 20-35-30-35-35-20 | Superficial |

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|--------------------------------|------------------------|-------------|
| 68+802 | 68+864 | 62 | Viaducto Arroyo de la Adelfa | 17 - 28 - 17 | Superficial |
| 76+885 | 77+005 | 120 | Viaducto Arroyo del Valcarejo | 25 - 35 - 35 -25 | Superficial |
| 80+442 | 80+582 | 140 | Viaducto Arroyo Canillas | 20 - 35 - 35 - 30 - 20 | Superficial |
| 84+683 | 84+745 | 62 | Viaducto Arroyo de los Prados | 17 - 28 - 17 | Profunda |
| 87+658 | 87+783 | 125 | Viaducto Autovía A-49 | 30 - 30 -35 -30 | Profunda |
| 88+193 | 88+263 | 70 | Viaducto sobre carretera N-431 | 20 - 30 - 20 | Profunda |



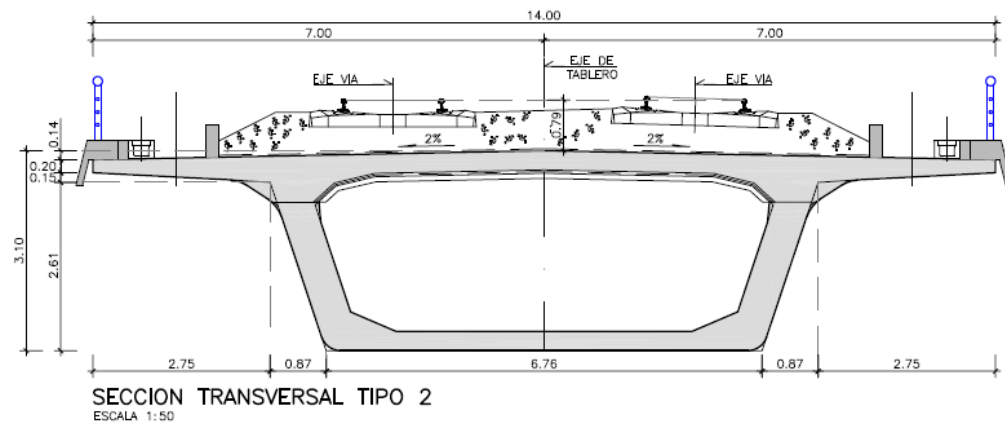
1.4.6.2. Viaductos sección tipo 2.

Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 40.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante una sección cajón postesada de canto constante

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un total de 5 viaductos con la tipología analizada:

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|--|--------------------------|-------------|
| 2+925 | 3+222 | 297 | Viaducto Tapón del Guadalquivir | 28.5 - 40x6 - 28.5 | Profunda |
| 64+325 | 64+535 | 210 | Viaducto Arroyo del Arzobispo | 25 - 40x4 - 25 | Superficial |
| 74+375 | 74+675 | 300 | Viaducto Arroyo Candón | 25 - 40x6 -35 | Superficial |
| 74+994 | 75+204 | 210 | Viaducto Arrollo Bajondillo | 25 - 40x4 - 25 | Superficial |
| 88+900 | 89+843 | 943 | Viaducto sobre H-31 y fcc Huelva-Zafra | 28 - 40X3 - 45X7 - 40x12 | Profunda |



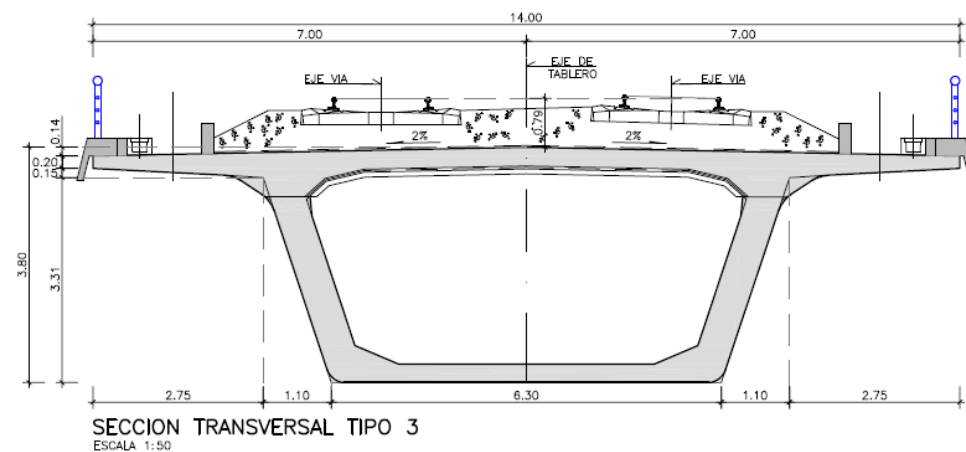
1.4.6.3. Viaductos sección tipo 3.

Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 50.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante una sección cajón postesada de canto constante

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un total de 3 viaductos con la tipología analizada,

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|---------------------------|--|-------------|
| 4+023 | 5+093 | 1070 | Viaducto del Guadalquivir | 45 - 55x18 - 35 | Profunda |
| 5+661 | 7+145 | 1484 | Viaducto de Camas | 31-55x3-50x2-55x7-30-50-55-40-35-45x2-55x7-45x2-28 | Profunda |
| 65+635 | 66+195 | 560 | Viaducto Rio Tinto | 45 - 55x8 - 45 - 30 | Superficial |



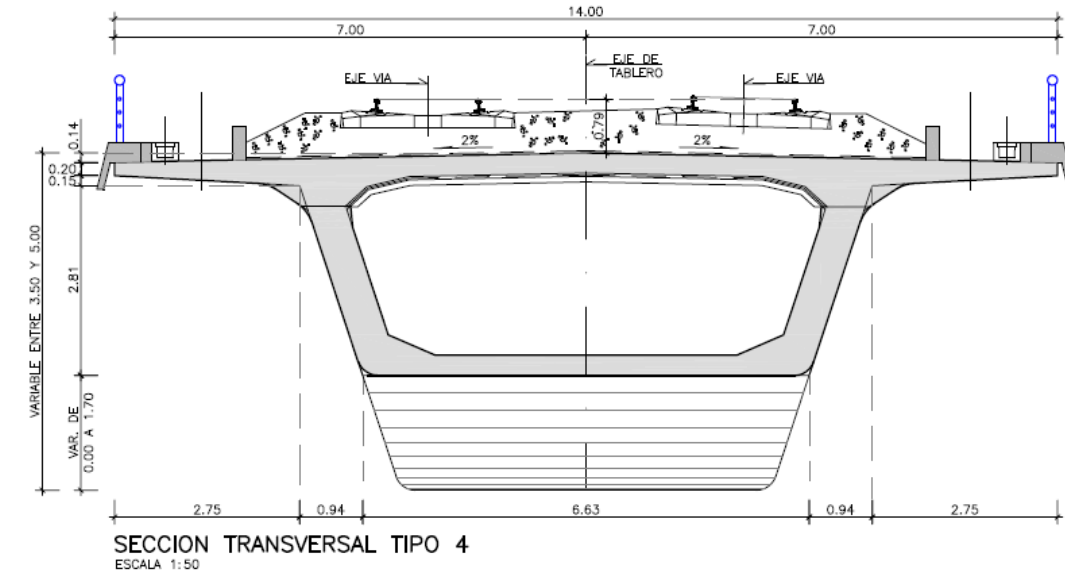
1.4.6.4. Viaductos sección tipo 4.

Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 65.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante una sección cajón postesada de canto variable. El canto es máximo en pilas, de 5.0 metros. Y mínimo en centro de vano, de 3.50 metros

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un único viaducto con esta tipología:

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|------------------------|-----------------------------|-------------|
| 23+720 | 24+770 | 1050 | Viaducto Río Guadiamar | 35 - 54x4 - 65 - 54x13 - 32 | Profunda |



1.4.6.5. Pérgolas

Es la solución empleada para solventar el cruce con esviaje elevado, consiste en realizar una estructura recta de longitud considerable, función del esviaje en el cruce, sobre una de las vías cruzando la otra sobre esta.

La tipología a emplear para estas estructuras será la de un tablero prefabricado, ejecutado con vigas doble T sobre las que se ejecuta una losa in situ.

En esta alternativa nos encontramos con tres estructuras de este tipo:

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|--|---------|-------------|
| 57+784 | 57+955 | 171 | Pérgola sobre fcc Sevilla - Huelva | Pérgola | Profunda |
| 62+720 | 63+170 | 450 | Pérgola sobre FFCC Sevilla-Huelva y CTRA A+472 | Pérgola | Profunda |
| 91+290 | 91+700 | 410 | Pérgola sobre Ctra. A-5000 y fcc Huelva-Zafra | Pérgola | Profunda |
| 94+515 | 94+720 | 205 | Pérgola sobre fcc | Pérgola | Profunda |

1.4.7. Alternativa 3.2

En la alternativa analizada aparecen un total de 34 estructuras, treinta y tres en el eje principal de la nueva vía y una consecuencia de una de las reposiciones de vía propuestas. Todas ellas se han agrupado según tipologías para poder tratarles a continuación.

1.4.7.1. Viaductos sección tipo 1.

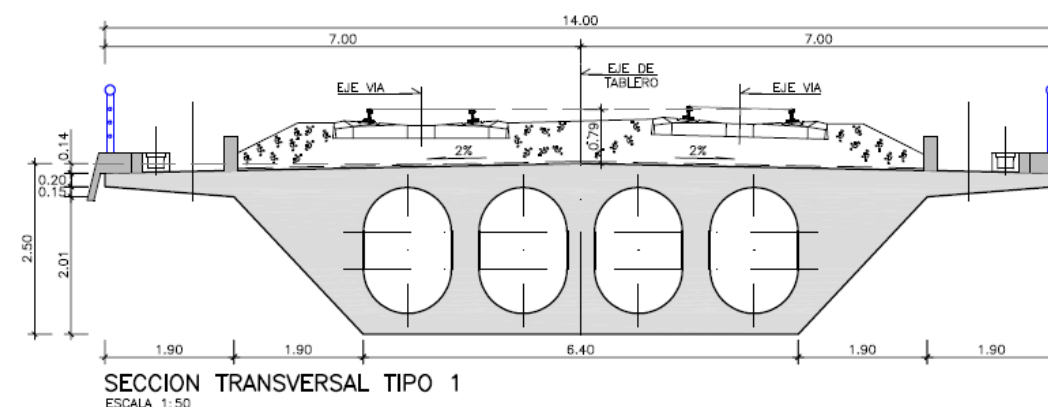
Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 30.0 o 35.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante losa postesada aligerada

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un total de 20 viaductos con la tipología analizada,

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|--------------------------------|---------------|-------------|
| 12+582 | 12+652 | 70 | Viaducto Arroyo del Judio | 20 - 30 -20 | Profunda |
| 12+700 | 12+880 | 180 | Viaducto Autovia SE-40 | 20- 35x4 - 20 | Profunda |
| 19+837 | 19+907 | 70 | Viaducto Arroyo Valdegallinas | 20 - 30 -20 | Profunda |
| 22+973 | 23+083 | 110 | Viaducto Arroyo Valdárrago | 20-35-35-20 | Profunda |
| 31+417 | 31+487 | 70 | Viaducto Arroyo Santa María | 20 - 30 -20 | Profunda |
| 32+007 | 32+084 | 77 | Viaducto Arroyo Tamujoso | 21-35-21 | Profunda |
| 32+425 | 32+502 | 77 | Viaducto Garganta de Barbacena | 21-35-21 | Profunda |

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------|
| 34+087 | 34+253 | 166 | Viaducto Arroyo de la Tejada | 21- 30x4 -25 | Profunda |
| 39+858 | 39+920 | 62 | Viaducto Arroyo del Cahozo | 17 - 28 -17 | |
| 50+940 | 51+050 | 110 | Viaducto Arroyo Giraldo | 20 - 35 -35 - 35 - 20 | Profunda |
| 51+500 | 51+650 | 150 | Viaducto Arroyo del Juncal | 18 - 30x3 - 25 - 17 | Profunda |
| 56+510 | 56+638 | 128 | Viaducto Carretera A-493 | 23 - 35 - 35 - 35 (SEMI Esviado) | Profunda |
| 60+763 | 60+825 | 62 | Viaducto Sapo Hondo | 17 - 28 - 17 | Profunda |
| 67+842 | 68+017 | 175 | Viaducto Arroyo de Lavapies | 20 - 35x4 -20 | Superficial |
| 68+707 | 68+769 | 62 | Viaducto Arroyo de la Adelfa | 17 - 28 - 17 | |
| 76+790 | 76+910 | 120 | Viaducto Arroyo del Valcarejo | 25 - 35 - 35 -25 | Superficial |
| 80+346 | 80+486 | 140 | Viaducto Arroyo Canillas | 20 - 35 - 35 - 30 - 20 | Superficial |
| 84+587 | 84+649 | 62 | Viaducto Arroyo de los Prados | 17 - 28 - 17 | |
| 87+562 | 87+687 | 125 | Viaducto Autovia A-49 | 30 - 30 -35 -30 | Profunda |
| 88+097 | 88+167 | 70 | Viaducto sobre carretera N-431 | 20 - 30 - 20 | Profunda |



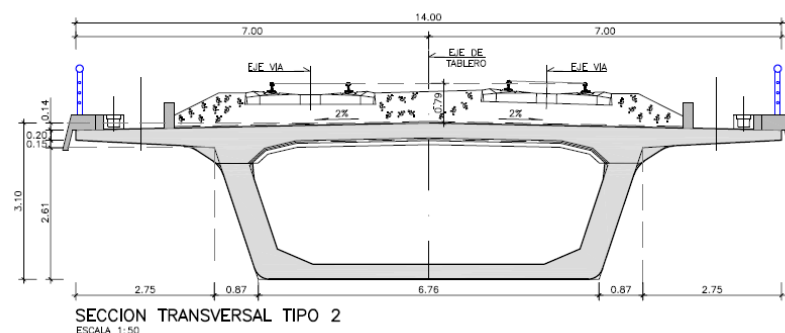
1.4.7.2. Viaductos sección tipo 2.

Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 40.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante una sección cajón postesada de canto constante

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un total de 6 viaductos con la tipología analizada:

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|--|--|-------------|
| 2+925 | 3+222 | 297 | Viaducto Tapón del Guadalquivir | 28.5 - 40x6 - 28.5 | Profunda |
| 54+120 | 54+220 | 100 | Viaducto Arroyo Tortillo | 30 - 40 - 30 | Profunda |
| 64+230 | 64+440 | 210 | Viaducto Arroyo del Arzobispo | 25 - 40x4 - 25 | Superficial |
| 74+280 | 74+580 | 300 | Viaducto Arroyo Candón | 25 - 40x6 -35 | Superficial |
| 74+898 | 75+108 | 210 | Viaducto Arrollo Bajondillo | 25 - 40x4 - 25 | Superficial |
| 88+800 | 89+743 | 943 | Viaducto sobre H-31 y fcc Huelva-Zafra | 28 - 40X3 - 45X7 - 40x12 Esviaje parcial | Profunda |



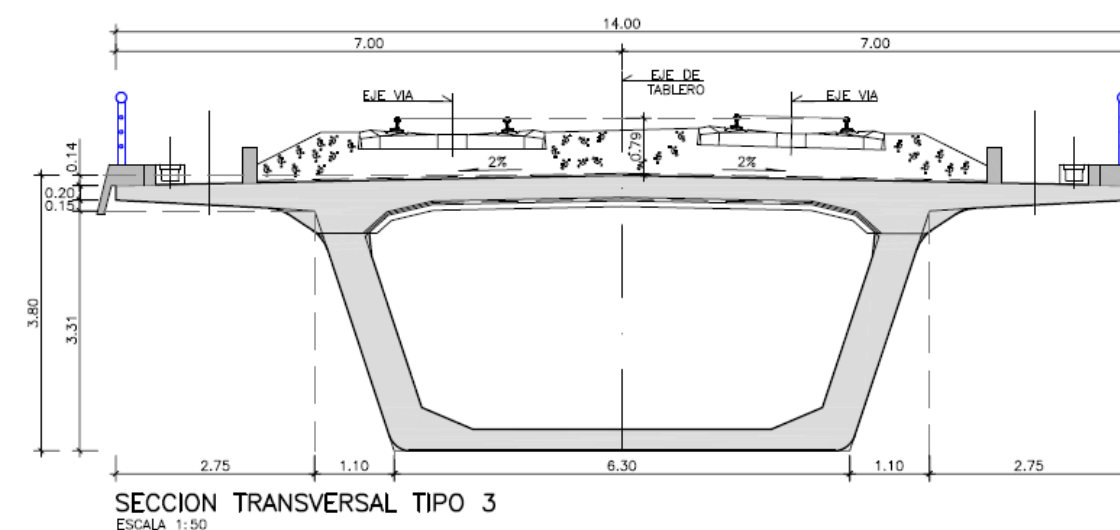
1.4.7.3. Viaductos sección tipo 3.

Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 50.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante una sección cajón postesada de canto constante

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un total de 3 viaductos con la tipología analizada,

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|---------------------------|--|-------------|
| 4+023 | 5+093 | 1070 | Viaducto del Guadalquivir | 45 - 55x18 - 35 | Profunda |
| 5+661 | 7+145 | 1484 | Viaducto de Camas | 31-55x3-50x2-55x7-30-50-55-40-35-45x2-55x7-45x2-28 | Profunda |
| 65+540 | 66+100 | 560 | Viaducto Rio Tinto | 45 - 55x8 - 45 - 30 | Superficial |



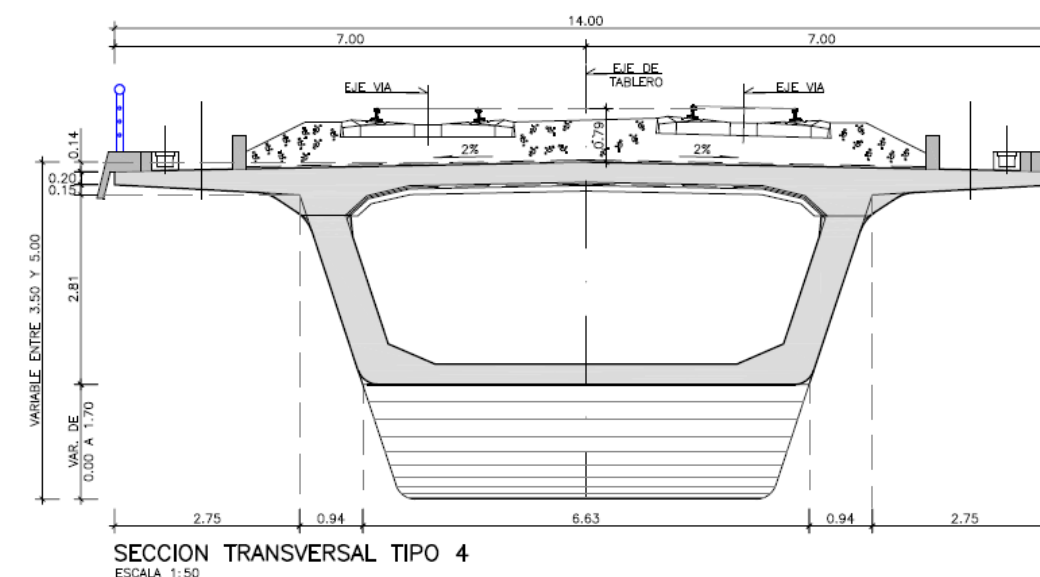
1.4.7.4. Viaductos sección tipo 4.

Este grupo comprende aquellos viaductos con luces máximas de 65.0 metros y vía doble. Este tipo de viaductos se resolverá mediante una sección cajón postesada de canto variable. El canto es máximo en pilas, de 5.0 metros. Y mínimo en centro de vano, de 3.50 metros

El ancho de los tableros en vía doble será de 14 m.

En la alternativa tratada se encuentra un único viaducto con esta tipología:

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|------------------------|-----------------------------|-------------|
| 23+720 | 24+770 | 1050 | Viaducto Río Guadiamar | 35 - 54x4 - 65 - 54x13 - 32 | Profunda |



1.4.7.5. Pérgolas

Es la solución empleada para solventar el cruce con esviaje elevado, consiste en realizar una estructura recta de longitud considerable, función del esviaje en el cruce, sobre una de las vías cruzando la otra sobre esta.

La tipología a emplear para estas estructuras será la de un tablero prefabricado, ejecutado con vigas doble T sobre las que se ejecuta una losa in situ.

En esta alternativa nos encontramos con tres estructuras de este tipo:

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación |
|-------------|------------|--------------|--|---------|-------------|
| 58+660 | 59+110 | 450 | Pérgola FFCC Sevilla-Huelva/Arroyo Bayas | Pérgola | Profunda |
| 62+620 | 63+070 | 450 | Pérgola sobre FFCC Sevilla-Huelva y CTRA A+472 | Pérgola | Profunda |
| 91+200 | 91+610 | 410 | Viaducto sobre Ctra. A-5000 y fcc Huelva-Zafra | Pérgola | Profunda |
| 94+420 | 94+625 | 205 | Pérgola sobre fcc | Pérgola | Profunda |

1.5. Falsos túneles

1.5.1. Solución estructural

Con respecto a los falsos túneles se pueden emplear varias modalidades estructurales, entre las que cabe destacar:

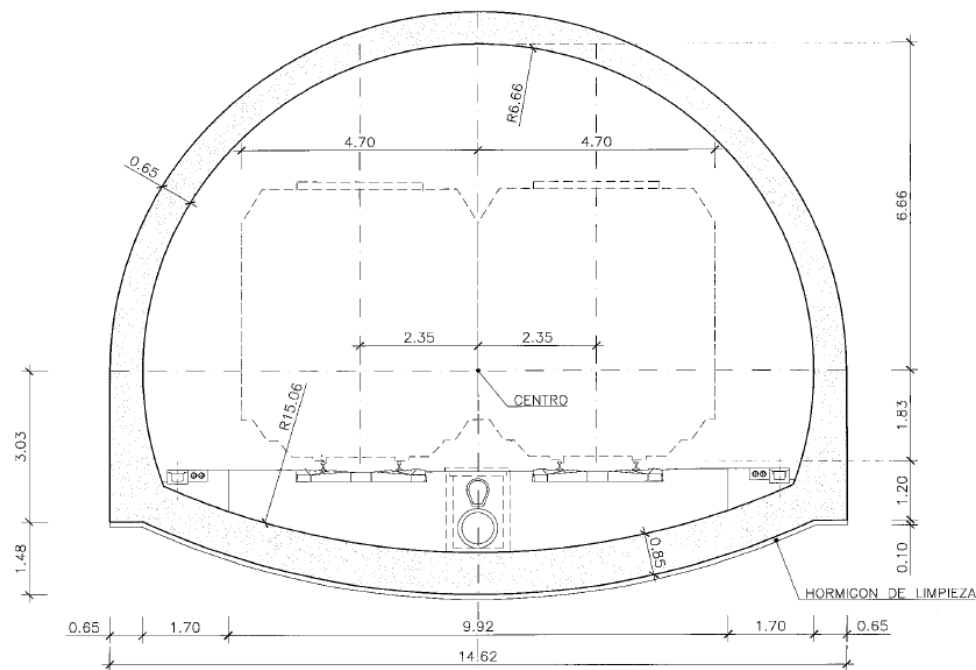
1.5.1.1. Túneles entre pantallas

La primera de las tipologías a estudiar se basa en la ejecución de un túnel a través de pantallas laterales (continuas o de pilotes). Esta tipología consigue reducir la zona de obra al limitar la anchura de la trinchera excavada provisionalmente durante la construcción del falso túnel. Se trata de una tipología adecuada en casos donde se debe limitar la banda de afección por la construcción del túnel (zonas urbanas), ya que permite limitar el ancho de excavación al ancho libre entre pantallas.

1.5.1.2. Falso túnel en bóveda

Esta segunda tipología se corresponde con una estructura del túnel compuesta por una bóveda de hormigón armado apoyada sobre una solera "in situ" de hormigón armado. Esta sección requiere una excavación previa que sería un inconveniente en el caso de existir elementos que no pudieran verse afectados por las obras en la zona a excavar. A su favor cuenta con el mejor comportamiento estructural de la bóveda frente a la losa y las pantallas en casos de elevada cobertura de tierras

Dadas las características de las estructuras de este proyecto, la ubicación de los falsos túneles y la cobertura de tierras, se ha optado en todos los casos por una solución tipo bóveda



Sección transversal Falso Túnel

Se prevé el siguiente proceso constructivo:

- Excavación del terreno natural hasta la cota de la solera.
- Ejecución de la solera del túnel.
- Ejecución de la bóveda.
- Relleno final sobre la bóveda hasta cota definitiva.

1.5.2. Relación de falsos túneles

Los falsos túneles presentes en cada una de las alternativas se muestran en las tablas siguientes:

ALTERNATIVA 1.1

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Sección Tipo | Geotecnia |
|-------------|------------|--------------|---------------|---------------------------------|
| 16+220 | 16+380 | 160 | Falso Túnel 1 | Mioceno Formación Margas Azules |

ALTERNATIVA 1.2

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Sección Tipo | Geotecnia |
|-------------|------------|--------------|---------------|---------------------------------|
| 16+220 | 16+380 | 160 | Falso Túnel 1 | Mioceno Formación Margas Azules |

ALTERNATIVA 2.1

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Sección Tipo | Geotecnia |
|-------------|------------|--------------|---------------|----------------------------------|
| 14+880 | 15+060 | 180 | Falso túnel 2 | Mioceno Margas marrones y arenas |
| 22+580 | 22+780 | 200 | Falso túnel 3 | Mioceno Formación Margas azules |
| 29+420 | 29+690 | 270 | Falso túnel 4 | Mioceno Formación Margas azules |
| 35+830 | 36+160 | 330 | Falso túnel 5 | Mioceno Limos arenosos calcáreos |
| 45+200 | 45+450 | 250 | Falso túnel 6 | Mioceno Limos calcáreos |

ALTERNATIVA 2.2

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Sección Tipo | Geotecnia |
|-------------|------------|--------------|---------------|----------------------------------|
| 14+880 | 15+060 | 180 | Falso túnel 2 | Mioceno Margas marrones y arenas |
| 22+580 | 22+780 | 200 | Falso túnel 3 | Mioceno Formación Margas azules |
| 29+420 | 29+690 | 270 | Falso túnel 4 | Mioceno Formación Margas azules |
| 35+830 | 36+160 | 330 | Falso túnel 5 | Mioceno Limos arenosos calcáreos |
| 45+200 | 45+450 | 250 | Falso túnel 6 | Mioceno Limos calcáreos |

ALTERNATIVA 3.1

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Sección Tipo | Geotecnia |
|-------------|------------|--------------|---------------|---------------------------------|
| 16+220 | 16+380 | 160 | Falso Túnel 1 | Mioceno Formación Margas Azules |

ALTERNATIVA 3.2

| P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Sección Tipo | Geotecnia |
|-------------|------------|--------------|---------------|---------------------------------|
| 16+220 | 16+380 | 160 | Falso Túnel 1 | Mioceno Formación Margas Azules |

1.6. Cuadros resumen estructuras

1.6.1. Nudo de Majarabique

RAMAL BIDIRECCIONAL HUELVA-SEVILLA

VIADUCTOS

| Nº | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación | Sección |
|----|-------------|------------|--------------|---|--------------|-------------|---------|
| 1 | 50+101 | 50+101 | - | Estructura sobre Conexión Madrid-Sevilla | Pérgola | Profunda | |
| 2 | 50+157 | 50+157 | - | Pérgola sobre Línea convencional Madrid-Sevilla | Pérgola | Profunda | |
| 3 | 50+220 | 50+290 | 70 | Viaducto sobre LAV Madrid-Sevilla (I) | 20 - 30 - 20 | Profunda | 1 |
| 4 | 50+660 | 50+722 | 62 | Viaducto sobre Ctra. A-8005 | 17 - 28 - 17 | Profunda | 1 |
| 5 | 52+523 | 52+638 | 115 | Pérgola sobre LAV Madrid-Sevilla (II) | Pérgola | Profunda | |

RAMAL HUELVA-MADRID

VIADUCTOS

| Nº | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación | Sección |
|----|-------------|------------|--------------|--|--------------|-------------|---------|
| 6 | 30+250 | 30+399 | 149 | Pérgola sobre Línea convencional Madrid-Huelva | Pérgola | Profunda | |
| 1 | 30+883 | 30+883 | - | Estructura sobre Conexión Madrid-Sevilla | | | |
| 2 | 30+955 | 30+955 | - | Estructura sobre Línea convencional Madrid-Sevilla | | | |
| 7 | 31+029 | 31+134 | 105 | Viaducto sobre LAV Madrid-Sevilla (III) | 35 - 35 - 35 | Profunda | 1 |
| 8 | 31+370 | 31+440 | 70 | Viaducto sobre Ctra. A-8003 | 20 - 30 - 20 | Profunda | 1 |

RAMAL MADRID-HUELVA

VIADUCTOS

| Nº | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación | Sección |
|----|-------------|------------|--------------|---|-------|-------------|---------|
| 1 | 20+500 | 20+500 | - | Estructura sobre Conexión Madrid-Sevilla | | | |
| 6 | 20+999 | 21+148 | 149 | Viaducto sobre Línea convencional Madrid-Huelva | | | |

1.6.2. Alternativa 1.1

VIADUCTOS

| Nº | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación | Sección |
|----|-------------|------------|--------------|-------------------------------------|--|-------------|---------|
| 1 | 2+925 | 3+222 | 297 | Viaducto Tapón del Guadalquivir | 28.5 - 40x6 - 28.5 | Profunda | 2 |
| 2 | 4+023 | 5+093 | 1070 | Viaducto del Guadalquivir | 45 - 55x18 - 35 | Profunda | 3 |
| 3 | 5+661 | 7+145 | 1484 | Viaducto de Camas | 31-55x3-50x2-55x7-30-50-55-40-35-45x2-55x7-45x2-28 | Profunda | 3 |
| 4 | 12+582 | 12+652 | 70 | Viaducto Arroyo del Judio | 20 - 30 -20 | Profunda | 1 |
| 5 | 12+700 | 12+880 | 180 | Viaducto Autovia SE-40 | 20- 35x4 - 20 | Profunda | 1 |
| 6 | 19+837 | 19+907 | 70 | Viaducto Arroyo Valdegallinas | 20 - 30 -20 | Profunda | 1 |
| 7 | 22+973 | 23+083 | 110 | Viaducto Arroyo Valdarrago | 20-35-35-20 | Profunda | 1 |
| 8 | 23+720 | 24+770 | 1050 | Viaducto Río Guadiamar | 35 - 54x4 - 65 - 54x13 - 32 | Profunda | 4 |
| 9 | 31+417 | 31+487 | 70 | Viaducto Arroyo Santa María | 20 - 30 -20 | Profunda | 1 |
| 10 | 32+007 | 32+084 | 77 | Viaducto Arroyo Tamujoso | 21-35-21 | Profunda | 1 |
| 11 | 32+425 | 32+502 | 77 | Viaducto Garganta de Barbacena | 21-35-21 | Profunda | 1 |
| 12 | 34+087 | 34+253 | 166 | Viaducto Arroyo de la Tejada | 21- 30x4 -25 | Profunda | 1 |
| 13 | 39+858 | 39+920 | 62 | Viaducto Arroyo del Cahozo | 17 - 28 -17 | Profunda | 1 |
| 14 | 50+010 | 50+150 | 140 | Viaducto Arroyo Fuente Santa II | 35x4 | Profunda | 1 |
| 15 | 50+520 | 50+590 | 70 | Viaducto Arroyo Giraldo | 20 - 30 -20 | Profunda | 1 |
| 16 | 51+528 | 51+598 | 70 | Viaducto 1 | 20 - 30 -20 | Profunda | 1 |
| 17 | 57+784 | 57+955 | 171 | Pergola sobre ffcc Sevilla - Huelva | Pérgola | Profunda | |
| 18 | 59+148 | 58+210 | 62 | Viaducto Arroyo Bayas | 17 - 28 - 17 | Profunda | 1 |
| 19 | 60+859 | 60+921 | 62 | Viaducto Sapo Hondo | 17 - 28 - 17 | Profunda | 1 |
| 20 | 63+749 | 63+819 | 70 | Viaducto Arroyo Arzobispo | 20 - 30 -20 | Profunda | 1 |
| 21 | 69+791 | 70+850 | 1059 | Viaducto Rio Tinto | 41 - 55x18 - 28 | Profunda | 3 |
| 22 | 75+379 | 75+679 | 300 | Viaducto Arroyo Candon | 28 - 40x6 - 32 | Profunda | 2 |
| 23 | 77+531 | 77+593 | 62 | Arroyo del Valcarejo | 17 - 28 - 17 | Profunda | 8 |
| 24 | 80+645 | 80+715 | 70 | Arroyo de Canillas | 20 - 30 - 20 | Profunda | 1 |
| 25 | 83+579 | 83+641 | 62 | Viaducto 2 | 17 - 28 - 17 | Profunda | 1 |
| 26 | 83+719 | 83+781 | 62 | Viaducto 3 | 17 - 28 - 17 | Profunda | 1 |
| 27 | 87+695 | 87+845 | 150 | Ribera de Nicoba | 20 - 30 - 35 - 40 - 25 | Profunda | 2 |
| 28 | 92+420 | 92+625 | 205 | Pergola | Pérgola | Profunda | |

FALSO TUNEL

| Nº | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Sección Tipo | Observaciones |
|----|-------------|------------|--------------|--------------|---------------------------------|
| 29 | 16+220 | 16+380 | 160 | Bóveda | Mioceno Formación Margas Azules |

1.6.3. Alternativa 1.2

VIADUCTOS

| Nº | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación | Sección |
|----|-------------|------------|--------------|--|--|-------------|---------|
| 1 | 2+925 | 3+222 | 297 | Viaducto Tapón del Guadalquivir | 28.5 - 40x6 - 28.5 | Profunda | 2 |
| 2 | 4+023 | 5+093 | 1070 | Viaducto del Guadalquivir | 45 - 55x18 - 35 | Profunda | 3 |
| 3 | 5+661 | 7+145 | 1484 | Viaducto de Camas | 31-55x3-50x2-55x7-30-50-55-40-35-45x2-55x7-45x2-28 | Profunda | 3 |
| 4 | 12+582 | 12+652 | 70 | Viaducto Arroyo del Judio | 20 - 30 -20 | Profunda | 1 |
| 5 | 12+700 | 12+880 | 180 | Viaducto Autovia SE-40 | 20- 35x4 - 20 | Profunda | 1 |
| 6 | 19+837 | 19+907 | 70 | Viaducto Arroyo Valdegallinas | 20 - 30 -20 | Profunda | 1 |
| 7 | 22+973 | 23+083 | 110 | Viaducto Arroyo Valdárrago | 20-35-35-20 | Profunda | 1 |
| 8 | 23+720 | 24+770 | 1050 | Viaducto Río Guadiamar | 35 - 54x4 - 65 - 54x13 - 32 | Profunda | 4 |
| 9 | 31+417 | 31+487 | 70 | Viaducto Arroyo Santa María | 20 - 30 -20 | Profunda | 1 |
| 10 | 32+007 | 32+084 | 77 | Viaducto Arroyo Tamujoso | 21-35-21 | Profunda | 1 |
| 11 | 32+425 | 32+502 | 77 | Viaducto Garganta de Barbacena | 21-35-21 | Profunda | 1 |
| 12 | 34+087 | 34+253 | 166 | Viaducto Arroyo de la Tejada | 21- 30x4 -25 | Profunda | 1 |
| 13 | 39+878 | 39+898 | 62 | Viaducto Arroyo del Cahozo | 17 - 28 -17 | Profunda | 1 |
| 14 | 50+940 | 51+050 | 110 | Viaducto Arroyo Giraldo | 20 - 35 -35 - 20 | Profunda | 1 |
| 15 | 51+500 | 51+650 | 150 | Viaducto Arroyo del Juncal | 18 - 30x3 - 25 - 17 | Profunda | 1 |
| 16 | 54+120 | 54+220 | 100 | Viaducto Arroyo Tortillo | 30 - 40 - 30 | Profunda | 2 |
| 17 | 56+510 | 56+638 | 128 | Viaducto Carretera A-493 | 23 - 35 - 35 - 35 | Profunda | 1 |
| 18 | 58+734 | 58+996 | 262 | Pérgola FFCC Sevilla-Huelva/Arroyo Bayas | Pérgola | Profunda | |
| 19 | 60+763 | 60+825 | 62 | Viaducto Sapo Hondo | 17 - 28 - 17 | Profunda | 1 |
| 20 | 63+653 | 63+723 | 70 | Viaducto Arroyo Arzobispo | 20 - 30 -20 | Profunda | 1 |
| 21 | 69+695 | 70+754 | 1059 | Viaducto Rio Tinto | 41 - 55x18 - 28 | Profunda | 3 |
| 22 | 75+284 | 75+584 | 300 | Viaducto Arroyo Candon | 28 - 40x6 - 32 | Profunda | 2 |
| 23 | 77+435 | 77+497 | 62 | Arroyo de Valcarejo | 17 - 28 - 17 | Profunda | 8 |
| 24 | 80+549 | 80+619 | 70 | Arroyo de canillas | 20 - 30 - 20 | Profunda | 1 |
| 25 | 83+483 | 83+545 | 62 | Puente | 17 - 28 - 17 | Profunda | 1 |
| 26 | 83+623 | 83+685 | 62 | Puente | 17 - 28 - 17 | Profunda | 1 |
| 27 | 87+600 | 87+750 | 150 | Ribera de Nicoba | 20 - 30 - 35 - 40 - 25 | Profunda | 2 |
| 28 | 92+323 | 92+528 | 205 | Pergola | Pérgola | Profunda | |

FALSO TUNEL

| Nº | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Sección Tipo | Observaciones |
|----|-------------|------------|--------------|--------------|---------------------------------|
| 29 | 16+220 | 16+380 | 160 | Bóveda | Mioceno Formación Margas Azules |

1.6.4. Alternativa 2.1

VIADUCTOS

| Nº | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación | Sección |
|----|-------------|------------|--------------|--|--|-------------|---------|
| 1 | 2+925 | 3+222 | 297 | Viaducto Tapón del Guadalquivir | 28.5 - 40x6 - 28.5 | Profunda | 2 |
| 2 | 4+023 | 5+093 | 1070 | Viaducto del Guadalquivir | 45 - 55x18 - 35 | Profunda | 3 |
| 3 | 5+661 | 7+145 | 1484 | Viaducto de Camas | 31-55x3-50x2-55x7-30-50-55-40-35-45x2-55x7-45x2-28 | Profunda | 3 |
| 4 | 12+365 | 12+475 | 110 | Viaducto Arroyo del Judío | 20 - 35 - 35 - 20 | Profunda | 1 |
| 5 | 17+570 | 17+800 | 230 | Viaducto Arroyo De la Coriana. OK | 25-40-45-45-40-35 | Profunda | 2 |
| 6 | 23+072 | 24+270 | 1198 | Viaducto Rio Guadimar | 26 -45 -55x4 -50x3 -55x13 -42 | Profunda | 3 |
| 7 | 25+440 | 25+510 | 70 | Viaducto Arroyo Acebuchal | 20 - 30 - 20 | Profunda | 7 |
| 8 | 25+920 | 26+330 | 410 | Viaducto Balsa | 40 - 55x6 - 40 | Profunda | 9 |
| 9 | 27+850 | 27+970 | 120 | Viaducto Arroyo de la Tejada | 25 - 35 -35 - 25 | Profunda | 1 |
| 10 | 37+815 | 37+925 | 110 | Ferrocarril | 40 - 40 - 30 | Profunda | 2 |
| 11 | 41+215 | 41+545 | 330 | Viaducto Arroyo Alcarayon | 20 - 35x4 - 40x2 -35x2 - 20 | Profunda | 2 |
| 12 | 48+230 | 48+310 | 80 | Pérgola FFCC | Pérgola | Profunda | |
| 13 | 49+210 | 49+310 | 100 | Viaducto Arroyo de la Fuente | 20 - 30 - 30 -20 | Profunda | 1 |
| 14 | 56+838 | 56+991 | 153 | Pérgola FFCC Sevilla - Huelva | Pérgola | Profunda | |
| 15 | 58+198 | 58+260 | 62 | Viaducto Arroyo Bayas | 17 - 28 - 17 | Profunda | 1 |
| 16 | 59+911 | 59+973 | 62 | Viaducto Sapo Hondo | 17 - 28 - 17 | Profunda | 1 |
| 17 | 61+760 | 62+210 | 450 | Pérgola sobre FFCC Sevilla Huelva y CTRA A-472 | Pérgola | Profunda | 1 |
| 18 | 63+380 | 63+590 | 210 | Viaducto Arroyo del Arzobispo | 25 - 40x4 - 25 | Superficial | 2 |
| 19 | 64+690 | 65+250 | 560 | Viaducto Rio Tinto | 45 - 55x8 - 45 - 30 | Superficial | 3 |
| 20 | 66+988 | 67+163 | 175 | Viaducto Arroyo de Lavapies | 20-35-30-35-35-20 | Superficial | 1 |
| 21 | 67+858 | 67+920 | 62 | Viaducto Arroyo de la Adelfa | 17 - 28 - 17 | Superficial | 1 |
| 22 | 73+424 | 73+724 | 300 | Viaducto Arroyo Candón | 25 - 40x6 -35 | Superficial | 2 |
| 23 | 74+043 | 74+253 | 210 | Viaducto Arrollo Bajondillo | 25 - 40x4 - 25 | Superficial | 2 |
| 24 | 75+935 | 76+055 | 120 | Viaducto Arroyo del Valcarejo | 25 - 35 - 35 -25 | Superficial | 1 |
| 25 | 79+491 | 79+631 | 140 | Viaducto Arroyo Canillas | 20 - 35 - 35 - 30 - 20 | Superficial | 1 |
| 26 | 83+732 | 83+794 | 62 | Viaducto Arroyo de los Prados | 17 - 28 - 17 | Profunda | 1 |

| Nº | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación | Sección |
|----|-------------|------------|--------------|---|--------------------------|-------------|---------|
| 27 | 86+707 | 86+832 | 125 | Viaducto Autovia A-49 | 30 - 30 -35 -30 | Profunda | 1 |
| 28 | 87+242 | 87+312 | 70 | Viaducto sobre carretera N-431 | 20 - 30 - 20 | Profunda | 1 |
| 29 | 87+945 | 88+888 | 943 | Viaducto sobre H-31 y fcc Huelva-Zafra | 28 - 40X3 - 45X7 - 40x12 | Profunda | 2 |
| 30 | 90+340 | 90+780 | 440 | Pérgola sobre Ctra. A-5000 y fcc Huelva-Zafra | Pérgola | Profunda | |
| 31 | 93+565 | 93+770 | 205 | Pérgola sobre fcc | Pérgola | Profunda | |

FALSO TUNELE

| Nº | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Observaciones |
|----|-------------|------------|--------------|---------------|----------------------------------|
| 32 | 14+880 | 15+060 | 180 | Falso túnel 2 | Mioceno Margas marrones y arenas |
| 33 | 22+580 | 22+780 | 200 | Falso túnel 3 | Mioceno Formación Margas azules |
| 34 | 29+420 | 29+690 | 270 | Falso túnel 4 | Mioceno Formación Margas azules |
| 35 | 35+830 | 36+160 | 330 | Falso túnel 5 | Mioceno Limos arenosos calcáreos |
| 36 | 45+200 | 45+450 | 250 | Falso túnel 6 | Mioceno Limos calcáreos |

1.6.5. Alternativa 2.2

VIADUCTO

| Nº | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación | Sección |
|----|-------------|------------|--------------|--|--|-------------|---------|
| 1 | 2+925 | 3+222 | 297 | Viaducto Tapón del Guadalquivir | 28.5 - 40x6 - 28.5 | Profunda | 2 |
| 2 | 4+023 | 5+093 | 1070 | Viaducto del Guadalquivir | 45 - 55x18 - 35 | Profunda | 3 |
| 3 | 5+661 | 7+145 | 1484 | Viaducto de Camas | 31-55x3-50x2-55x7-30-50-55-40-35-45x2-55x7-45x2-28 | Profunda | 3 |
| 4 | 12+365 | 12+475 | 110 | Viaducto Arroyo del Judio | 20 - 35 - 35 -20 | Profunda | 1 |
| 5 | 17+570 | 17+800 | 230 | Viaducto Arroyo De la Coriana | 25-40-45-45-40-35 | Profunda | 2 |
| 6 | 23+072 | 24+270 | 1198 | Viaducto Rio Guadimar | 26 -45 -55x4 -50x3 -55x13 -42 | Profunda | 3 |
| 7 | 25+450 | 25+520 | 70 | Viaducto Arroyo Acebuchal | 20 - 30 - 20 | Profunda | 7 |
| 8 | 25+920 | 26+330 | 410 | Viaducto Balsa | 40 - 55x6 - 40 | Profunda | 9 |
| 9 | 27+850 | 27+970 | 120 | Viaducto Arroyo de la Tejada | 25 - 35 -35 - 25 | Profunda | 1 |
| 10 | 37+815 | 37+925 | 110 | Ferrocarril | 40 - 40 - 30 Esviado | Profunda | 2 |
| 11 | 41+215 | 41+545 | 330 | Viaducto Arroyo Alcarayon | 20 - 35x4 - 40x2 -35x2 - 20 | Profunda | 2 |
| 12 | 47+908 | 47+970 | 62 | Viaducto Ferrocarril | 17 - 28 -17 Esviado | Profunda | 1 |
| 13 | 48+150 | 48+270 | 120 | Viaducto Carretera-Fuente Santa I | 15 - 30x3 - 15 | Profunda | 1 |
| 14 | 48+560 | 48+810 | 250 | Viaducto Fuente Santa I (A) | 25 - 40x5 - 25 | Profunda | 2 |
| 15 | 49+264 | 49+326 | 62 | Viaducto Fuente Santa I (B) | 17 - 28 - 17 | Profunda | 1 |
| 16 | 50+317 | 50+429 | 112 | Arroyo de los Morantes | 21 - 35 - 35 - 21 | Profunda | 1 |
| 17 | 50+877 | 51+027 | 150 | Viaducto Fuente Santa II | 15 - 30x4 -15 | Profunda | 1 |
| 18 | 53+497 | 53+597 | 100 | Viaducto Arroyo Río Tortillo | 30 - 40 - 30 | Profunda | 2 |
| 19 | 55+887 | 56+015 | 128 | Viaducto A-493 | 23 - 35 - 35 - 35 (SEMI Esviado) | Profunda | 1 |
| 20 | 58+115 | 58+377 | 262 | Pérgola FC Sevilla - Huelva - Arroyo Bayas | Pérgola | Profunda | |
| 21 | 60+140 | 60+202 | 62 | Viaducto Sapo Hondo | 17 - 28 - 17 | Profunda | 1 |
| 22 | 62+000 | 62+450 | 450 | Pérgola sobre FFCC Sevilla Huelva y CTRA A-472 | Pérgola | Profunda | |
| 23 | 63+606 | 63+816 | 210 | Viaducto Arroyo del Arzobispo | 25 - 40x4 - 25 | Superficial | 2 |
| 24 | 64+916 | 65+476 | 560 | Viaducto Rio Tinto | 45 - 55x8 - 45 - 30 | Superficial | 3 |
| 25 | 67+218 | 67+393 | 175 | Viaducto Arroyo de Lavapiés | 20 - 35x4 -20 | Superficial | 1 |
| 26 | 68+083 | 68+145 | 62 | Viaducto Arroyo de la Adelfa | 17 - 28 - 17 | Superficial | 1 |

| Nº | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación | Sección |
|----|-------------|------------|--------------|---|--|-------------|---------|
| 27 | 73+656 | 73+956 | 300 | Viaducto Arroyo Candón | 25 - 40x6 -35 | Superficial | 2 |
| 28 | 74+275 | 74+485 | 210 | Viaducto Arrollo Bajondillo | 25 - 40x4 - 25 | Superficial | 2 |
| 29 | 76+166 | 76+286 | 120 | Viaducto Arroyo del Valcarejo | 25 - 35 - 35 -25 | Superficial | 1 |
| 30 | 79+723 | 79+863 | 140 | Viaducto Arroyo Canillas | 20 - 35 - 35 - 30 - 20 Esviado | Superficial | 1 |
| 31 | 83+978 | 84+008 | 30 | Viaducto Arroyo de los Prados | 17 - 28 - 17 | Profunda | 1 |
| 32 | 86+963 | 87+064 | 125 | Viaducto Autovia A-49 | 30 - 30 -35 -30 | Profunda | 1 |
| 33 | 87+474 | 87+544 | 70 | Viaducto sobre carretera N-431 | 20 - 30 - 20 | Profunda | 1 |
| 34 | 88+183 | 89+126 | 943 | Viaducto sobre H-31 y fcc Huelva-Zafra | 28 - 40X3 - 45X7 - 40x12 Esviaje parcial | Profunda | 2 |
| 35 | 90+560 | 91+000 | 440 | Pérgola sobre Ctra. A-5000 y fcc Huelva-Zafra | Pérgola | Profunda | |
| 36 | 93+796 | 94+001 | 205 | Pérgola sobre fcc | Pérgola | Profunda | |

FALSO TUNEL

| Nº | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Observaciones |
|----|-------------|------------|--------------|---------------|----------------------------------|
| 37 | 14+880 | 15+060 | 180 | Falso túnel 2 | Mioceno Margas marrones y arenas |
| 38 | 22+580 | 22+780 | 200 | Falso túnel 3 | Mioceno Formación Margas azules |
| 39 | 29+420 | 29+690 | 270 | Falso túnel 4 | Mioceno Formación Margas azules |
| 40 | 35+830 | 36+160 | 330 | Falso túnel 5 | Mioceno Limos arenosos calcáreos |
| 41 | 45+200 | 45+450 | 250 | Falso túnel 6 | Mioceno Limos calcáreos |

1.6.6. Alternativa 3.1

VIADUCTOS

| Nº | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación | Sección |
|----|-------------|------------|--------------|--|--|-------------|---------|
| 1 | 2+925 | 3+222 | 297 | Viaducto Tapón del Guadalquivir | 28.5 - 40x6 - 28.5 | Profunda | 2 |
| 2 | 4+023 | 5+093 | 1070 | Viaducto del Guadalquivir | 45 - 55x18 - 35 | Profunda | 3 |
| 3 | 5+661 | 7+145 | 1484 | Viaducto de Camas | 31-55x3-50x2-55x7-30-50-55-40-35-45x2-55x7-45x2-28 | Profunda | 3 |
| 4 | 12+582 | 12+652 | 70 | Viaducto Arroyo del Judio | 20 - 30 -20 | Profunda | 1 |
| 5 | 12+700 | 12+880 | 180 | Viaducto Autovia SE-40 | 20- 35x4 - 20 | Profunda | 1 |
| 6 | 19+837 | 19+907 | 70 | Viaducto Arroyo Valdegallinas | 20 - 30 -20 | Profunda | 1 |
| 7 | 22+973 | 23+083 | 110 | Viaducto Arroyo Valdárrago | 20-35-35-20 | Profunda | 1 |
| 8 | 23+720 | 24+770 | 1050 | Viaducto Río Guadiamar | 35 - 54x4 - 65 - 54x13 - 32 | Profunda | 4 |
| 9 | 31+417 | 31+487 | 70 | Viaducto Arroyo Santa María | 20 - 30 -20 | Profunda | 1 |
| 10 | 32+007 | 32+084 | 77 | Viaducto Arroyo Tamujoso | 21-35-21 | Profunda | 1 |
| 11 | 32+425 | 32+502 | 77 | Viaducto Garganta de Barbacena | 21-35-21 | Profunda | 1 |
| 12 | 34+087 | 34+253 | 166 | Viaducto Arroyo de la Tejada | 21- 30x4 -25 | Profunda | 1 |
| 13 | 39+858 | 39+920 | 62 | Viaducto Arroyo del Cahozo | 17 - 28 -17 | Profunda | 1 |
| 14 | 50+010 | 50+150 | 140 | Viaducto Arroyo Fuente Santa II | 35x4 | Profunda | 1 |
| 15 | 50+520 | 50+590 | 70 | Viaducto Arroyo Giraldo | 20 - 30 -20 | Profunda | 1 |
| 16 | 51+528 | 51+598 | 70 | Viaducto 1 | 20 - 30 -20 | Profunda | 1 |
| 17 | 57+784 | 57+955 | 171 | Pergola sobre ffcc Sevilla - Huelva | Pérgola | Profunda | |
| 18 | 59+148 | 58+210 | 62 | Viaducto Arroyo Bayas | 17 - 28 - 17 | Profunda | 1 |
| 19 | 60+859 | 60+921 | 62 | Viaducto Sapo Hondo | 17 - 28 - 17 | Profunda | 1 |
| 20 | 62+720 | 63+170 | 450 | Pérgola fobre FFCC Sevilla Huelva y CTRA A-472 | Pérgola | Profunda | |
| 21 | 64+325 | 64+535 | 210 | Viaducto Arroyo del Arzobispo | 25 - 40x4 - 25 | Superficial | 2 |
| 22 | 65+635 | 66+195 | 560 | Viaducto Rio Tinto | 45 - 55x8 - 45 - 30 | Superficial | 3 |
| 23 | 67+937 | 68+112 | 175 | Viaducto Arroyo de Lavapies | 20 - 35-30-35-35 -20 | Superficial | 1 |
| 24 | 68+802 | 68+864 | 62 | Viaducto Arroyo de la Adelfa | 17 - 28 - 17 | Superficial | 1 |
| 25 | 74+375 | 74+675 | 300 | Viaducto Arroyo Candón | 25 - 40x6 -35 | Superficial | 2 |
| 26 | 74+994 | 75+204 | 210 | Viaducto Arrollo Bajondillo | 25 - 40x4 - 25 | Superficial | 2 |

| Nº | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación | Sección |
|----|-------------|------------|--------------|---|--|-------------|---------|
| 27 | 76+885 | 77+005 | 120 | Viaducto Arroyo del Valcarejo | 25 - 35 - 35 -25 | Superficial | 1 |
| 28 | 80+442 | 80+582 | 140 | Viaducto Arroyo Canillas | 20 - 35 - 35 - 30 - 20 Esviado | Superficial | 1 |
| 29 | 84+683 | 84+745 | 62 | Viaducto Arroyo de los Prados | 17 - 28 - 17 | Profunda | 1 |
| 30 | 87+658 | 87+783 | 125 | Viaducto Autovia A-49 | 30 - 30 -35 -30 | Profunda | 1 |
| 31 | 88+193 | 88+263 | 70 | Viaducto sobre carretera N-431 | 20 - 30 - 20 | Profunda | 1 |
| 32 | 88+900 | 89+843 | 943 | Viaducto sobre H-31 y fcc Huelva-Zafra | 28 - 40X3 - 45X7 - 40x12 Esviaje parcial | Profunda | 2 |
| 33 | 91+290 | 91+700 | 410 | Pérgola sobre Ctra. A-5000 y fcc Huelva-Zafra | Pérgola | Profunda | |
| 34 | 94+515 | 94+720 | 205 | Pérgola sobre fcc | Pérgola | Profunda | |

FALSO TUNEL

| Nº | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Sección Tipo | Observaciones |
|----|-------------|------------|--------------|--------------|---------------------------------|
| 35 | 16+220 | 16+380 | 160 | Bóveda | Mioceno Formación Margas Azules |

1.6.7. Alternativa 3.2

VIADUCTOS

| Nº | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación | Sección |
|----|-------------|------------|--------------|--|--|-------------|---------|
| 1 | 2+925 | 3+222 | 297 | Viaducto Tapón del Guadalquivir | 28.5 - 40x6 - 28.5 | Profunda | 2 |
| 2 | 4+023 | 5+093 | 1070 | Viaducto del Guadalquivir | 45 - 55x18 - 35 | Profunda | 3 |
| 3 | 5+661 | 7+145 | 1484 | Viaducto de Camas | 31-55x3-50x2-55x7-30-50-55-40-35-45x2-55x7-45x2-28 | Profunda | 3 |
| 4 | 12+582 | 12+652 | 70 | Viaducto Arroyo del Judio | 20 - 30 -20 | Profunda | 1 |
| 5 | 12+700 | 12+880 | 180 | Viaducto Autovia SE-40 | 20- 35x4 - 20 | Profunda | 1 |
| 6 | 19+837 | 19+907 | 70 | Viaducto Arroyo Valdegallinas | 20 - 30 -20 | Profunda | 1 |
| 7 | 22+973 | 23+083 | 110 | Viaducto Arroyo Valdárrago | 20-35-35-20 | Profunda | 1 |
| 8 | 23+720 | 24+770 | 1050 | Viaducto Río Guadamar | 35 - 54x4 - 65 - 54x13 - 32 | Profunda | 4 |
| 9 | 31+417 | 31+487 | 70 | Viaducto Arroyo Santa María | 20 - 30 -20 | Profunda | 1 |
| 10 | 32+007 | 32+084 | 77 | Viaducto Arroyo Tamujoso | 21-35-21 | Profunda | 1 |
| 11 | 32+425 | 32+502 | 77 | Viaducto Garganta de Barbacena | 21-35-21 | Profunda | 1 |
| 12 | 34+087 | 34+253 | 166 | Viaducto Arroyo de la Tejada | 21- 30x4 -25 | Profunda | 1 |
| 13 | 39+858 | 39+920 | 62 | Viaducto Arroyo del Cahozo | 17 - 28 -17 | Profunda | 1 |
| 14 | 50+940 | 51+050 | 110 | Viaducto Arroyo Giraldo | 20 - 35 -35 - 20 | Profunda | 1 |
| 15 | 51+500 | 51+650 | 150 | Viaducto Arroyo del Juncal | 18 - 30x3 - 25 - 17 | Profunda | 1 |
| 16 | 54+120 | 54+220 | 100 | Viaducto Arroyo Tortillo | 30 - 40 - 30 | Profunda | 2 |
| 17 | 56+510 | 56+638 | 128 | Viaducto Carretera A-493 | 23 - 35 - 35 - 35 (SEMI Esviado) | Profunda | 1 |
| 18 | 58+660 | 59+110 | 450 | Pérgola FFCC Sevilla-Huelva/Arroyo Bayas | Pérgola | Profunda | |
| 19 | 60+763 | 60+825 | 62 | Viaducto Sapo Hondo | 17 - 28 - 17 | Profunda | 1 |
| 20 | 62+620 | 63+070 | 450 | Pérgola sobre FFCC Sevilla Huelva y CTRA A-472 | Pérgola | Profunda | |
| 21 | 64+230 | 64+440 | 210 | Viaducto Arroyo del Arzobispo | 25 - 40x4 - 25 | Superficial | 2 |
| 22 | 65+540 | 66+100 | 560 | Viaducto Rio Tinto | 45 - 55x8 - 45 - 30 | Superficial | 3 |
| 23 | 67+842 | 68+017 | 175 | Viaducto Arroyo de Lavapies | 20 - 35x4 -20 | Superficial | 1 |
| 24 | 68+707 | 68+769 | 62 | Viaducto Arroyo de la Adelfa | 17 - 28 - 17 | Superficial | 1 |
| 25 | 74+280 | 74+580 | 300 | Viaducto Arroyo Candón | 25 - 40x6 -35 | Superficial | 2 |
| 26 | 74+898 | 75+108 | 210 | Viaducto Arrollo Bajondillo | 25 - 40x4 - 25 | Superficial | 2 |

| Nº | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Nombre | Luces | Cimentación | Sección |
|----|-------------|------------|--------------|---|--|-------------|---------|
| 27 | 76+790 | 76+910 | 120 | Viaducto Arroyo del Valcarejo | 25 - 35 - 35 -25 | Superficial | 1 |
| 28 | 80+346 | 80+486 | 140 | Viaducto Arroyo Canillas | 20 - 35 - 35 - 30 - 20 Esviado | Superficial | 1 |
| 29 | 84+587 | 84+649 | 62 | Viaducto Arroyo de los Prados | 17 - 28 - 17 | Profunda | 1 |
| 30 | 87+562 | 87+687 | 125 | Viaducto Autovia A-49 | 30 - 30 -35 -30 | Profunda | 1 |
| 31 | 88+097 | 88+167 | 70 | Viaducto sobre carretera N-431 | 20 - 30 - 20 | Profunda | 1 |
| 32 | 88+800 | 89+743 | 943 | Viaducto sobre H-31 y fcc Huelva-Zafra | 28 - 40X3 - 45X7 - 40x12 Esviaje parcial | Profunda | 2 |
| 33 | 91+200 | 91+610 | 410 | Pérgola sobre Ctra. A-5000 y fcc Huelva-Zafra | Pérgola | Profunda | |
| 34 | 94+420 | 94+625 | 205 | Pérgola sobre fcc | Pérgola | Profunda | |

FALSO TUNEL

| Nº | P.K. inicio | P.K. final | Longitud (m) | Sección Tipo | Observaciones |
|----|-------------|------------|--------------|--------------|---------------------------------|
| 35 | 16+220 | 16+380 | 160 | Bóveda | Mioceno Formación Margas Azules |

2. Túneles

2.1. Introducción y objeto

El presente Anejo, incluido dentro del ESTUDIO INFORMATIVO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD SEVILLA-HUELVA, tiene por objeto analizar los túneles y estructuras definidos en las distintas alternativas que se describirán a continuación:

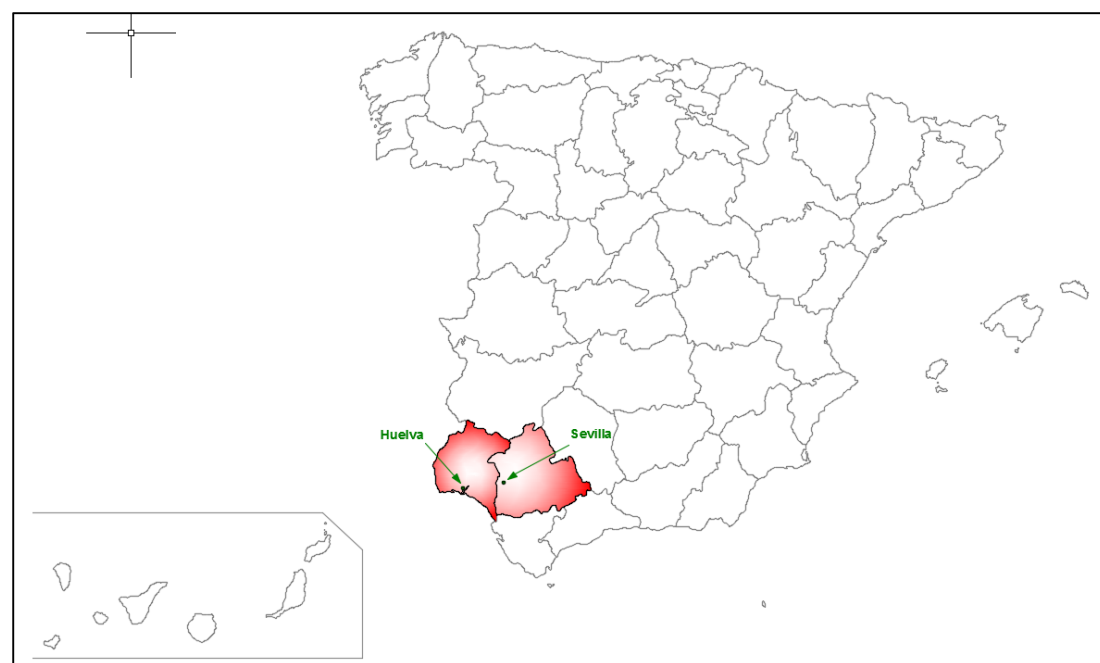


Figura 1. Situación. Fuente: Ineco 2018

La normativa específica de aplicación para la realización del presente anejo es la siguiente:

- Norma ADIF Plataforma Túneles, NAP 2-3-1.0. Edición Julio 2015.
- Reglamento (UE) nº 1303/2014 de la Comisión del 18 de noviembre de 2014, Especificación Técnica de Interoperabilidad relativa a la “Seguridad en los túneles ferroviarios” del sistema ferroviario de la Unión Europea.
- Ficha UIC 779-11 en fase de prediseño.
- Recomendaciones para dimensionar túneles ferroviarios por efectos aerodinámicos de presión sobre viajeros, Ministerio de Fomento.

Además de ello, se ha tenido en cuenta la geología del túnel, cuyo perfil se incluyen en el Apéndice 4 del Anejo 03 Geología y Geotecnia.

2.2. Descripción de la actuación

El presente Estudio Informativo presenta seis posibles alternativas de trazado:

- Alternativa 1-1 y 1-2
- Alternativa 2-1 y 2-2
- Alternativa 3-1 y 3-2

La Alternativa 2 es la única en cuya traza se ha proyectado la ejecución de un túnel, denominado túnel de La Muela, por ser el nombre del cerro que atraviesa. Dicha alternativa presenta dos variantes, que no afectan a la planta y alzado del túnel. En la siguiente tabla se adjunta la información de cada una de ellas.

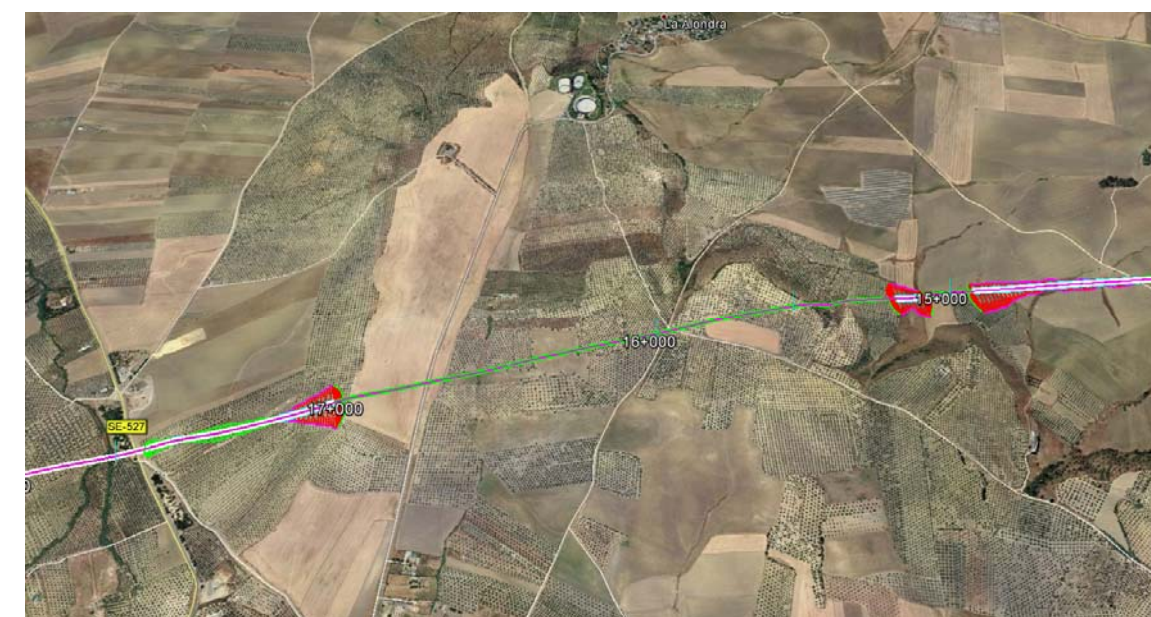


Imagen 1. Ubicación del túnel de La Muela. Fuente: Google Earth

| | Túnel | PK Inicio | PK Final | Longitud (m) |
|-----------------|----------|-----------|----------|--------------|
| Alternativa 2.1 | La Muela | 15+160 | 17+010 | 1.850 |
| Alternativa 2.2 | | | | |

Tabla 1. Ubicación del túnel de La Muela

2.2.1. Estructura de la traza

El túnel de La Muela está ubicado entre los PK 15+160 a 17+010, lo que le confiere una longitud de 1850 metros.

El emboquille de entrada se encuentra al Este del Cerro Quemado, y el de salida, al Oeste de Las Alberquillas, atravesando materiales miocenos, predominantemente compuestos por margas, y con una cobertera máxima en torno a los 70 metros sobre clave de túnel. Se trata de un trazado en recta con una pendiente máxima del 15‰.

2.2.2. Recorrido geológico-geotécnico

La geología de la zona por donde discurre el túnel de La Muela está formada por una secuencia estratigráfica que, de base a techo, comienza con la formación de margas azules expansivas, sobre ellas una secuencia de margas marrones, y a techo unos limos arenosos calcáreos de poca entidad. La secuencia margas marrones (Mm) y limos arenosos (La) forman la unidad TI cuyas características se describen en detalle en el anejo de Geología y Geotecnia.

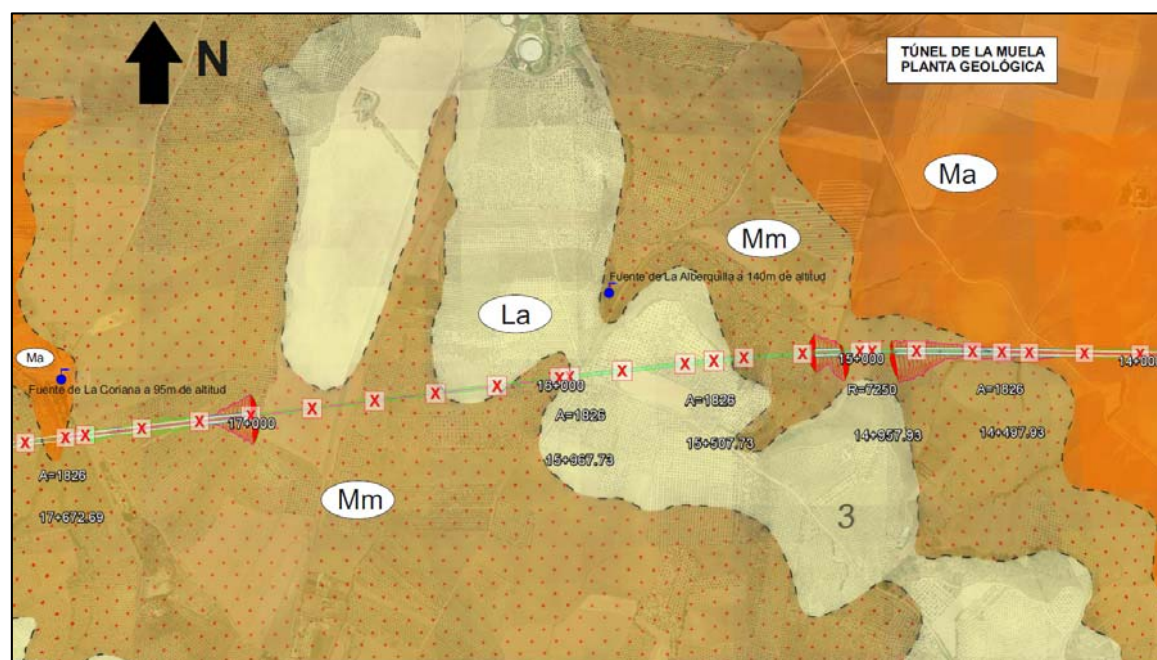


Figura 2. Planta geológica del túnel de La Muela

El túnel de La Muela, incluidos los emboquilles, discurren completamente por la unidad de margas marrones (Mm). Su potencia es variable y presentan un contenido en finos muy elevado (más de un 90%).

Según los datos de los ensayos de laboratorio, se ha obtenido un valor por debajo de 0,5 kp/cm² para presiones de hinchamiento, y valores de hinchamiento libre inferiores al 0,5%, de forma que el material inalterado presentará en general expansividad baja a media.

En condiciones de humedad natural, los materiales se sitúan en general dentro de la zona de materiales de baja expansividad, si se observa la gráfica que correlaciona el índice de desecación y el límite líquido (ver anejo de geología y geotecnia, descripción de la unidad TI. Margas marrones y limos arenosos).

Los contenidos en sulfatos solubles, se sitúan en torno al 0,15%, aunque puntualmente se han encontrado valores elevados, de hasta el 1,4%. De acuerdo con estos datos, puede considerarse que estos materiales serán en general no agresivos, aunque puntualmente pueden presentar un tipo de ataque alto (Qc), de acuerdo con la clasificación de agresividad química de la Instrucción de Hormigón Estructural EHE.

Los materiales serán excavables por medios mecánicos, no siendo necesario el uso de explosivos.

Desde el punto de vista hidrogeológico, los materiales pueden considerarse con una permeabilidad baja. La naturaleza arcillosa de estos materiales hace que se produzcan pocas variaciones estacionales de los niveles freáticos. Pueden presentar acuíferos libres, muy escasamente conectados, a través de juntas y diaclasas.

En general, los niveles freáticos se sitúan en las zonas de contacto entre formaciones. El túnel de La Muela no intercepta ninguno de los límites con las unidades supra e infrayacentes, lo cual hace que la probabilidad de encontrar los acuíferos en las zonas de contacto entre litologías sea baja.

2.3. Sección tipo

2.3.1. Túnel principal

2.3.1.1. Sección libre

La sección libre del túnel debe justificarse partiendo de las condiciones de salud y confort según criterios aerodinámicos, de la configuración de vía doble, y de la velocidad máxima de circulación admisible según la geometría de trazado.

La velocidad máxima admisible para este proyecto es de 350 km/h. Según la ficha “UIC 779-11, Determination of railway tunnel cross-sectional areas on the basis of aerodynamic considerations” empleada para esta fase de prediseño, y las “Recomendaciones para dimensionar túneles ferroviarios por efectos aerodinámicos de presión sobre viajeros” del Ministerio de Fomento, la sección mínima para un túnel de vía doble sería de 120 m².

En fases posteriores se realizará un ajuste mayor con herramientas de cálculo más precisas y específicas validadas por la UIC o CEN.

2.3.1.2. Sección geométrica

Para la definición geométrica de la sección tipo se han tomado los siguientes valores:

- Túnel de vía doble en ancho estándar UIC.
- Gálibo uniforme GC.
- Distancia entre ejes de 4,7 m.
- Cota de centro de círculo a 2,8 m sobre la cabeza de carril.
- Nivel de paseo a 55 cm sobre la cota de carril del hilo bajo.
- Acera a ambos lados del túnel, con ancho con ancho de 2,70 m para una sección de 120 m².
- El sistema de drenaje previsto es un sistema unitario de conducción de las aguas de infiltración, escorrentía y vertidos, que se evacúan a un colector central de 50 cm de diámetro, con arquetas de limpieza cada 50 m. Las aguas de infiltración, se conducen a un colector lateral conectados al colector cada 50 m.

Se proyecta una contrabóveda con geometría semicircular debido a las características geotécnicas del terreno a atravesar.

La tipología de la plataforma será la de vía en placa, tal y como se recogen en la orden FOM/3317/2010 “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”, para túneles de más de 1.500 m, siempre que no existan otras circunstancias que puedan desaconsejar ese tipo de vía. Debido al carácter concatenado del falso túnel existente previo al túnel de La Muela, se considera a efectos de seguridad un solo túnel de 2.130m, empezando por el emboquille de entrada del falso túnel y acabando en el emboquille de salida del túnel de La Muela. Esto implica que deberá existir vía en placa en toda la longitud considerada a efectos de seguridad.

2.4. Procedimiento constructivo

2.4.1. Selección del método constructivo

Se desecha la excavación con tuneladora debido a que, desde el punto de vista económico y en base a la experiencia adquirida, las tuneladoras en zonas no urbanas suelen salir rentables en túneles de longitudes superiores a 3 km.

La excavación por métodos convencional permite que los trabajos sean más versátiles, pudiéndose en caso de necesidad o en las siguientes fases del proyecto, ampliar los frentes de avance mediante la ejecución de galerías de ataque intermedio, ya que en este estudio se proyectan galerías de emergencia que podrían utilizarse para aumentar los frentes de excavación, si así fuera necesario durante la fase de obra.

Dentro de los métodos convencionales, se adopta la filosofía constructiva del Nuevo Método Austriaco (N.A.T.M.), que aplica sostenimientos basados en el empleo de hormigón proyectado, bulones, mallazo y cerchas. Con este método se permite una cierta deformación del terreno hasta el momento en que se coloca el sostenimiento, aprovechando así la colaboración del terreno en la estabilidad de la excavación.

Se descarta el método Belga ya que está más indicado para secciones de túneles con un ancho máximo aproximado de 11 m, o en entornos urbanos que requieran limitar los movimientos en superficie.

El terreno a excavar está formado por unas margas que, en base a la información disponible, no presentan un elevado grado de alteración, pero según los datos de laboratorio en muestras ensayadas del entorno, pueden ser evolutivas. En fases posteriores, con la ejecución de una campaña geotécnica de detalle, podrá evaluarse el grado de meteorización de la roca. Mientras tanto, en esta fase de proyecto, y siempre del lado de la seguridad, se propone el uso de sostenimientos más pesados y pases cortos que limiten el tiempo de exposición de las margas de cara a su alteración.

Adicionalmente, podrán emplearse tratamientos complementarios que aumenten la estabilidad de la sección, como el empleo de machón central o gunita sobre-acelerada, entre otros, y que serán descritos más adelante.

2.5. Secciones tipo de sostenimiento

Para realizar una estimación previa del sostenimiento a utilizar en las excavaciones a realizar en el túnel se ha utilizado el índice RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton, los cuales se ha correlacionado mediante la expresión:

$$Q = e^{\frac{RMR-44}{9}}$$

El sostenimiento a utilizar se puede estimar mediante el **ábaco de Barton**, que exige el conocimiento del cociente entre la *dimensión crítica de la excavación y el ESR*.

El **Índice Q de Barton** fue desarrollado en Noruega en 1974 por Barton, Lien y Lunde, del Instituto Geotécnico Noruego. Se basó su desarrollo en el análisis de cientos de casos de túneles construidos principalmente en Escandinavia. Actualmente se denomina Nuevo Método Noruego de túneles al diseño de las excavaciones basándose directamente en los trabajos de Barton.

La Clasificación de Barton asigna a cada terreno un índice de calidad Q, tanto mayor cuanto mejor es la calidad de la roca. Su variación no es lineal como la del

RMR, sino exponencial, y oscila entre Q=0.001 para terrenos muy malos y Q=1000 para terrenos muy buenos.

El valor de Q se obtiene de la siguiente expresión:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

donde cada parámetro representa lo siguiente:

RQD: es el índice Rock Quality Designation, es decir, la relación en tanto por ciento entre la suma de longitudes de testigo de un sondeo mayores de 10 cm y la longitud total. Barton indica que basta tomar el RQD en incrementos de 5 en 5, y que como mínimo tomar RQD=10.

J_n: varía entre 0.5 y 20, y depende del número de familias de juntas que hay en el macizo.

J_r: varía entre 1 y 4, y depende de la rugosidad de las juntas.

J_a: varía entre 0.75 y 20, y depende del grado de alteración de las paredes de las juntas de la roca.

J_w: varía entre 0.05 y 1, dependiendo de la presencia de agua en el túnel.

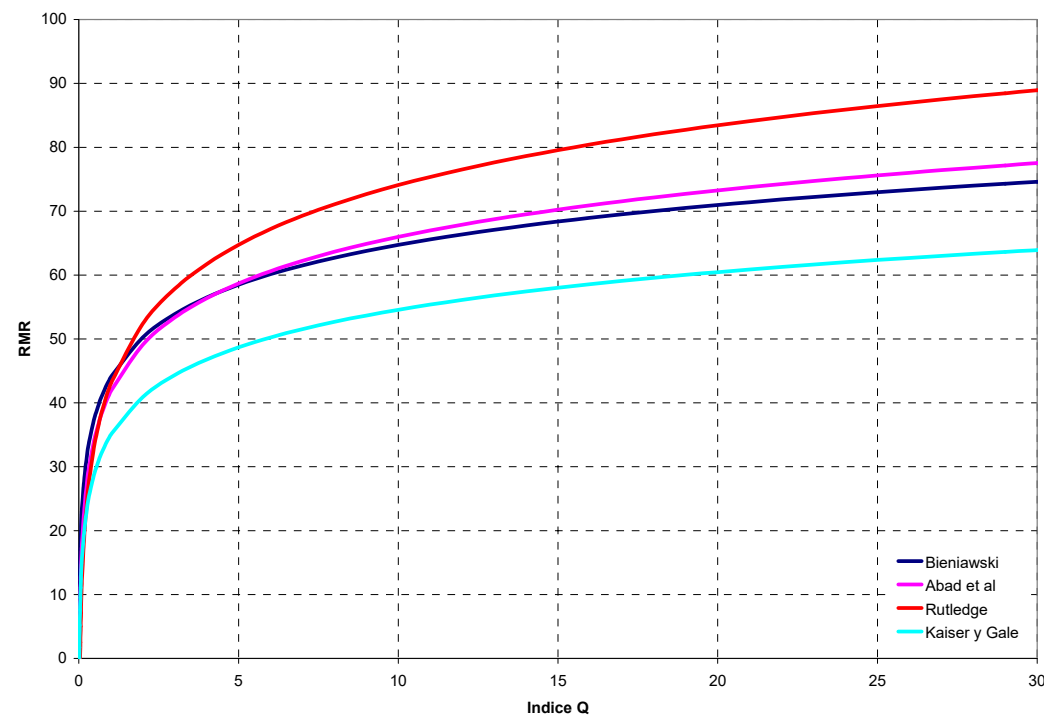
SRF: son las iniciales de Stress Reduction Factor, y depende del estado tensional de la roca que atraviesa el túnel.

Para la obtención de cada uno de los cinco últimos parámetros, Barton aporta unas tablas donde se obtienen los valores correspondientes en función de descripciones generales del macizo rocoso.

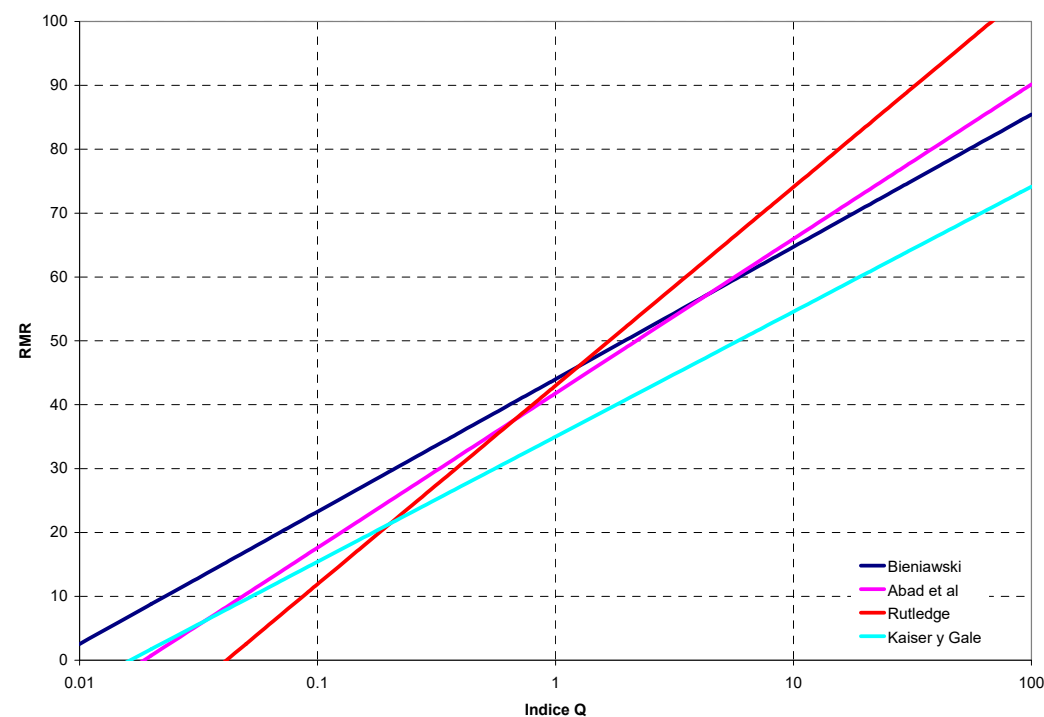
Existen también diversas correlaciones para establecer una estimación entre el índice Q y el RMR, entre estas correlaciones hay que destacar:

- RMR = 9,0 · Ln Q + 44 (Según Bieniawski, 1976)
- RMR = 13,5 · Ln Q + 43 (Según Rutledge, 1978)
- RMR = 4,5 · Ln Q + 55,2 (Según Moreno, 1980)
- RMR = 10,5 · Ln Q + 41,8 (Según Abad et al, 1983)

- $RMR = 8,5 \cdot \ln Q + 35$ (Según Kaiser y Gale, 1985)
- $RMR = 15 \cdot \log Q + 50$ (Según Barton, 1995)



Correlaciones RMR-Q



Correlaciones RMR-Q en escala logarítmica

De entre estas correlaciones se adopta la de Bieniawski para determinar el índice Q, quedando la siguiente expresión empírica:

$$Q = e^{\frac{RMR-44}{9}}$$

2.5.1. Predimensionamiento según el índice Q de Barton

A partir de este índice se realizará un predimensionamiento de los Sostenimientos. La clasificación de Barton está más desarrollada que la del RMR de Bieniawski y permite obtener un sostenimiento más afinado. Para su aplicación es preciso además obtener el parámetro ESR (Excavation Support Ratio). El ESR es un factor que pondera la importancia de la obra de acuerdo a la siguiente tabla:

| TIPO | DESCRIPCIÓN | ESR |
|------|--|---------|
| A | Minas abiertas temporalmente | 3 - 5 |
| B | Pozos verticales | 2,5 - 2 |
| C | Minas abiertas permanentemente. Túneles hidroeléctricos Túneles piloto y galerías de avance para grandes excavaciones | 1,6 |
| D | Cavernas de almacenamiento Plantas de tratamiento de aguas Túneles pequeños de carretera y ferrocarril | 1,3 |
| E | Centrales eléctricas subterráneas Túneles grandes de carretera y ferrocarril Cavernas de defensa civil Boquillas e intersecciones | 1 |
| F | Centrales nucleares subterráneas Estaciones de ferrocarril Pabellones deportivos y de servicios | 0,8 |

Con el Índice Q y la relación Ancho de excavación / ESR, se puede determinar al sostenimiento propuesto por Barton en el Abaco.

En el caso objeto de este estudio, se ha adoptado un ESR de 1,0 al tratarse de túneles ferroviarios de gran sección.

De acuerdo con la metodología descrita, se ha estimado el sostenimiento a aplicar adoptando un ancho de excavación máximo de 15 para el túnel de doble vía, lo que nos da un cociente dimensión crítica de excavación/ESR igual a 15.

A continuación, se presenta la estimación previa del sostenimiento a aplicar en los tipos de terreno que está previsto sean atravesados por los túneles.

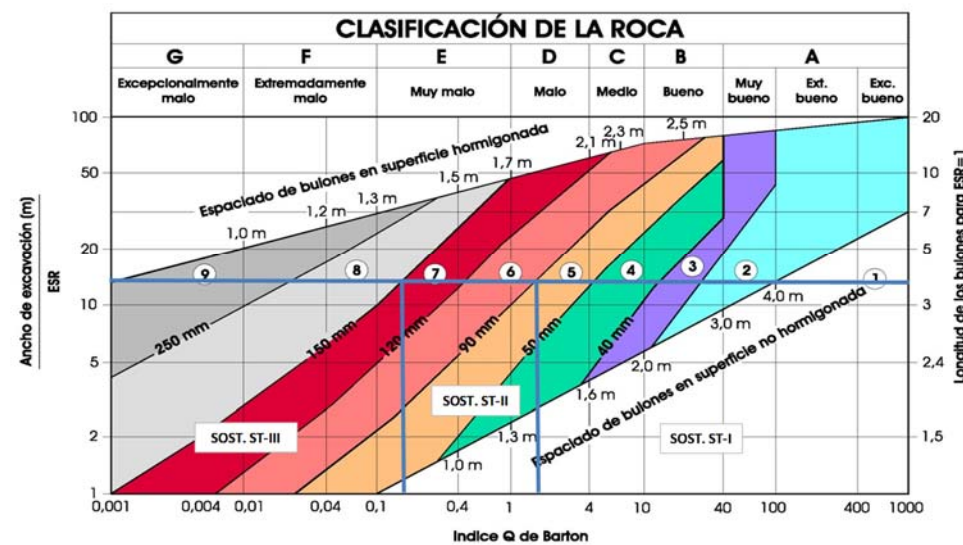


Gráfico de Barton para el Túnel de Vía Doble

Categorías de sostenimiento:

- | | |
|---|--|
| 1. Sin sostenimiento | 6. Hormigón proyectado con fibras, 9-12 cm y bulonado |
| 2. Bulonado puntual | 7. Hormigón proyectado con fibras, 12-15 cm y bulonado |
| 3. Bulonado sistemático | 8. Hormigón proyectado con fibras, >15 cm con bulonado y cerchas |
| 4. Bulonado sistemático con hormigón proyectado | 9. Revestimiento de hormigón |
| 5. Hormigón proyectado con fibras, 5-9 cm, y bulonado | |

Por lo tanto en función de los resultado obtenidos en el ábaco de Barton se establecen tres secciones tipo de sostenimiento (para las zonas singulares como emboquilles, paso de falla, o zonas de escasa cobertera, se ha proyectado una cuarta sección de sostenimiento ST-IV independiente).

En la siguiente tabla, a modo de resumen, pueden observarse los espesores de hormigón proyectado y otros elementos de sostenimientos necesarios según las recomendaciones de Barton.

| SECCION TIPO | CALIDAD GEOTÉCNICA | RANGO APROXIMADO Q | RANGO APROXIMADO RMR | ESPESOR GUNITA | REFUERZO | CERCHA | BULONES |
|--------------|--------------------------------|--------------------|----------------------|----------------|-----------------|--------|----------------------------------|
| ST-I | FAVORABLE | $Q > 2$ | $RMR > 50$ | 9 cm | FIBRAS DE ACERO | NO | LONG. BULON 4 m espaciado 1,8 m |
| ST-II | MEDIA | $2 > Q > 0,2$ | $50 > RMR > 30$ | 15 cm | FIBRAS DE ACERO | NO | LONG. BULON 4 m espaciado 1,35 m |
| ST-III | DESAVORABLE | $Q < 0,2$ | $RMR < 30$ | 25 cm | FIBRAS DE ACERO | SI | LONG. BULON 4 m espaciado 1,0 m |
| ST-IV | EMBOQUILLES Y ZONAS SINGULARES | | | | | | |

Secciones tipo de sostenimientos según recomendaciones de Barton

2.5.2. Predimensionamiento según el índice RMR de Bieniawski

Otra forma para la caracterización del macizo es utilizar la clasificación geomecánica de Bieniawski (1989), calculándose el índice RMR (Rock Mass Rating).

Las clasificaciones geomecánicas son un método de ingeniería geológica que permite evaluar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso, este comportamiento incluye la estimación de los parámetros geotécnicos de diseño y en el tipo de sostenimiento en el túnel.

La clasificación de Bieniawski de 1989 permite valorar la calidad de un determinado macizo atendiendo a una serie de criterios como pueden ser la resistencia a la compresión simple, las condiciones de diaclasado, efecto del agua y la posición relativa de la excavación respecto a las diaclasas.

Para tener en cuenta la incidencia de estos factores, se definen una serie de parámetros, asignándoles unas determinadas valoraciones, cuya suma en cada caso nos da el RMR.

Los cinco parámetros que definen la calidad global del macizo son los siguientes:

| | |
|--------------------------------|-----------|
| Resistencia de la roca matriz: | 0 – 15 % |
| RQD (%): | 3 – 20 % |
| Espaciado de las juntas: | 5 – 20 % |
| Estado de las juntas: | 0 – 30 % |
| Presencia de agua: | 0 – 15 % |
| RANGO VARIACIÓN RMR: | 8 – 100 % |

Adicionalmente el sistema de clasificación considera un factor de minoración en función de la disposición relativa entre las discontinuidades y el eje del túnel, distinguiendo entre cinco posibles estados, que discurren entre muy favorable y muy desfavorable, con una constante de corrección que varía entre 0 y –12. Esta penalización del índice obtenido, así como la presencia o no de agua, sólo deben considerarse cuando se pretenda llevar a cabo una aplicación del índice RMR muy concreta, como por ejemplo la asignación empírica de sostenimientos mediante el cuadro propuesto por Bieniawski.

| Parámetro | | Rango de valores | | | | | | | |
|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-----------|-------------|------------|-----------|----------|---------|---------|
| 1 | Resistencia de la roca intacta | Índice de carga puntual | > 10 MPa | 4-10 MPa | 2-4 MPa | 1-2 MPa | | | |
| | | R. compresión simple | > 250 MPa | 100-250 MPa | 50-100 MPa | 25-50 MPa | 5-25 MPa | 1-5 MPa | < 1 MPa |
| | Valoración | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 | |
| 2 | RQD | 90-100% | 75-90% | 50-75% | 25-50% | <25% | | | |
| | Valoración | 20 | 17 | 13 | 8 | 3 | | | |
| 3 | Espaciado de las discontinuidades | > 2m | 0,6-2 m | 0,2-0,6 m | 6-20 cm | < 6 cm | | | |

| Parámetro | | Rango de valores | | | | | |
|-----------|--------------------------------|---|--|--|---|--|------------------|
| 4 | Valoración | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 | |
| | Estado de las discontinuidades | Superficies muy rugosas. Sin separación. Bordes sanos y duros | Superficies ligeramente rugosas. Separación < 1mm Bordes ligeramente alterados | Superficies ligeramente rugosas. Separación < 1mm Bordes muy alterados | Superficies estriadas o con rellenos < 5mm o abiertas 1-5 mm. Continuas | Rellenos blandos > 5 mm ó apertura > 5 mm. Continuas | |
| | Valoración | 30 | 25 | 20 | 10 | 0 | |
| 5 | Agua subterránea | Caudal por 10 m de túnel | Nulo | < 10 litros/min | 10-25 litros/min | 25-125 litros/min | > 125 litros/min |
| | | Relación: Presión agua / Presión principal mayor | 0 | 0-0,1 | 0,1-0,2 | 0,2-0,5 | > 0,5 |
| | Estado General | Completamente seco | Ligeramente húmedo | Húmedo | Goteando | Fluyendo | |
| | Valoración | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 | |

Cuadro de sostenimientos de Bieniawski

De acuerdo con los criterios de Bieniawski y en función del RMR obtenido, los macizos se clasifican en las cinco categorías (Rocas de Calidad I a VI), los cuales se detallan a continuación:

| RMR | TIPO | CALIDAD |
|----------|------|-----------|
| 81 – 100 | I | Muy bueno |
| 61 – 80 | II | Bueno |
| 41 – 60 | III | Medio |
| 21 – 40 | IV | Malo |
| < 20 | V | Muy malo |

Para la valoración de los diferentes parámetros que conforman el índice RMR, se emplean como fuentes de información principales las estaciones geomecánicas efectuadas, así como los sondeos y ensayos de laboratorio disponibles.

Para túneles de sección en herradura con anchura máxima de 10 m y una tensión vertical máxima de 250 kg/cm² Bieniawski propone los siguientes sostenimientos en función de la calidad de la roca estimada según el RMR (Rock Mass Rating).

| CLASE ROCA | RMR | EXCAVACIÓN | SOSTENIMIENTO PRIMARIO | | |
|------------|----------|--|--|---|---|
| | | | Bulonado (*) (longitudes, túneles de 10 m de luz) | Gunitado | Cerchas |
| I | 100 - 81 | A sección completa. Avances de 3 m | Innecesario, salvo algún bulón ocasional | | |
| II | 80 - 61 | Plena sección. Avances de 1,5 a 3 m | Bulonado local en bóveda, con longitudes de 2-3 m y separación de 2-2,5 m, eventualmente con mallazo | 5 cm en bóveda para impermeabilización | No |
| III | 60 - 41 | Galería en clave y bataches. Avances de 1,5 a 3 m en la galería | Bulonado sistemático de 3-4 m con separaciones de 1,5 a 2 m en bóveda y hastiales. Mallazo en bóveda | 5 a 10 cm en la bóveda y 3 cm en hastiales | No |
| IV | 40 - 21 | Galería en la clave y bataches. Avances de 1 a 1,5 m en la galería | Bulonado sistemático de 4-5 m con separaciones de 1-1,5 m en bóveda y hastiales, con mallazo | 10-15 cm en bóveda y 10 cm en hastiales. Aplicación según avanza la excavación | Entibación ligera ocasional, con separaciones de 1,5 m |
| V | > 20 | Galerías múltiples. Avances de 0,5-1 m en la galería de clave | Bulonado sistemático de 5-6 m, con separaciones de 1-1,5 m en bóveda y hastiales, con mallazo. Bulonado de la solera | 15-20 cm en bóveda, 15 cm en hastiales y 5 cm en el frente. Aplicación inmediata después de cada voladura | Cerchas fuertes separadas 0,75 m con blindaje de chapas, y cerradas en solera |

(*) Bulones de 20 mm de diámetro, con resina.

Por lo tanto, atendiendo a los rangos de RMR utilizados previamente en el Predimensionamiento realizado por el ábaco de Barton, los elementos de sostenimiento recomendados por Bieniawski son los siguientes:

| SECCION TIPO | CALIDAD GEOTÉCNICA | RANGO APROXIMADO Q | RANGO APROXIMADO RMR | ESPESOR GUNITA | REFUERZO | CERCHA | BULONES |
|--------------|--------------------------------|--------------------|----------------------|--|-------------------|-------------------------------------|--|
| ST-I | FAVORABLE | Q > 2 | RMR > 50 | 5 - 10 cm en bóveda 3 cm en hastiales | Mallazo en bóveda | NO | LONG. BULON 3-4 m espaciado 1,5-2 m |
| ST-II | MEDIA | 2 > Q > 0,2 | 50 > RMR > 30 | 10 - 15 cm en bóveda 10 cm en hastiales | Mallazo | OCCASIONAL espaciado 1,5 m | LONG. BULON 4-5 m espaciado 1-1,5 m |
| ST-III | DESFAVORABLE | Q < 0,2 | RMR < 30 | 15 - 20 cm en bóveda 15 cm en hastiales 5 cm frente excavación | Mallazo | CERCHAS FUERTES espaciado 0,75 m | LONG. BULON 5-6 m espaciado 1-1,5 m |
| ST-IV | EMBOQUILLES Y ZONAS SINGULARES | | | | | | |

Secciones tipo de sostenimientos según recomendaciones de Bieniawski

2.5.3. Sostenimientos propuestos.

Una vez valoradas las recomendaciones de sostenimientos para los rangos adoptados, se proponen las siguientes secciones tipo. Son muy similares a las obtenidas en el Predimensionamiento de Barton y Bieniawski. La sección tipo ST-IV se ha diseñado atendiendo a experiencias en terrenos y situaciones similares.

| SECCIONES TIPO DE SOSTENIMIENTO | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------|------------------|----------------|----------------------|--------------------|---|
| SECCION TIPO | CALIDAD GEOTÉCNICA | RANGO APROXIMADO Q BARTON | RANGO APROXIMADO RMR | LONGITUD DE PASE | ESPESOR GUNITA | FIBRAS DE ACERO | CERCHA | BULONES |
| ST-I | FAVORABLE | Q > 2 | RMR > 50 | 3,5 m | 10 cm H/MP-30 | 40 Kg/m ³ | | SWELLEX O SIMILAR 24 T 4 m de longitud en malla 1,75 m x 1,75 m |
| ST-II | MEDIA | 2 > Q > 0,2 | 50 > RMR > 30 | 1,5 m | 18 cm H/MP-30 | 40 Kg/m ³ | TH-29 a 1,5 m | |
| ST-III | DESFAVORABLE | Q < 0,2 | RMR < 30 | 1,0 m | 25 cm H/MP-30 | 40 Kg/m ³ | HEB-180 a 1,0 m | |
| ST-IV | EMBOQUILLES Y ZONAS SINGULARES | | | 0,5 m | 30 cm H/MP-30 | 40 Kg/m ³ | HEB-180 a 0,5 m | Paraguas de micropilotes de refuerzo: Øexc. 150 mm, Øext. tubo 114,3 mm, espesor 10 mm. Longitud 9 m, solape 3 m, espaciado entre tubo 30 cm. Bulones de fibra de vidrio en el frente. Malla 1,75 x 1,75 m, longitud 9, solape 3 m Sellado del frente 10 cm de H/MP-30. Machón central. |

Tabla de sostenimientos propuestos para el Estudio Informativo

2.6. Tratamientos especiales

Una vez definidas las secciones tipo de sostenimiento aplicar, mediante las recomendaciones de Barton y Bieniawski, se logrará estabilizar la excavación en todas las calidades de terreno previstas. No obstante, cabe la posibilidad de que se intercepten zonas en que la calidad geotécnica de los materiales sea tan mala, que puede no ser suficiente con los sostenimientos anteriormente definidos, y sea necesario recurrir a tratamientos de refuerzo complementario, conocido con el nombre genérico de tratamientos especiales.

Los tratamientos especiales se usan de forma puntual, con objeto de atravesar zonas muy concretas de terreno. Se aplicarán, eventualmente, dos tipos, según la misión que tenga encomendada el tratamiento:

- Tratamientos de estabilidad de la bóveda y del frente.
- Tratamientos de impermeabilización.

Con las secciones tipo de sostenimiento que se ha diseñado, junto con los tratamientos especiales, es de esperar que puedan atravesarse las zonas de baja calidad geotécnica sin problemas.

A continuación, se describen los tratamientos especiales inicialmente previstos.

2.6.1. *Tratamientos de estabilidad de la bóveda y de frente de excavación*

En esta fase del Proyecto todos ellos se incluyen en la sección tipo ST-IV, en principio según las características del terreno a atravesar se proyectan asociados a esta sección tipo, sin embargo, es posible que, en futuras fases, con un estudio más ajustado del trazado, en lo que a cualidades geológicas – geotécnicas se refiere, puedan independizarse de esta sección tipo ST-IV. También en ocasiones puede ser necesario la utilización de uno o varios de estos tratamientos asociado a otra sección tipo de sostenimiento.

Estos tratamientos son:

- Paraguas de micropilotes: se empleará para evitar sobre excavaciones en clave. Consiste en la colocación de elementos lineales paralelos al túnel en toda la bóveda de este.

Se emplearán para tubos de acero de diámetro 114 mm y espesor 10 mm. El diámetro de perforación será de 150 mm y se inyectaran lechada de cemento. Cuando la zona a atravesar es muy amplia, se colocan paraguas sucesivos, con un solape mínimo entre uno y otro de 3 metros.
- Gunita sobre-acelerada: se dispondrá en el frente de excavación para evitar la descompresión del terreno y mejorar la estabilidad de la excavación. Este tipo de hormigón proyectado presenta una dosificación de acelerante superior a la empleada para la gunita de sostenimiento, lo que le permite desarrollar altas resistencias iniciales, la reducción en las resistencias finales del hormigón proyectado, que supone el empleo de acelerantes, no resulta problemático en este caso, ya que esta gunita se eliminara con la excavación del siguiente pase.
- Machón central. Es otra medida de estabilización del frente, de esta manera evitamos que la excavación del frente sea completamente vertical, ayudando a la mejora de la estabilidad. El tamaño e inclinación del machón debe de

compatibilizarse con la excavación, de manera que no repercuta en una disminución del rendimiento.

- Bulones de fibra de vidrio. Se disponen en el frente para mejorar su estabilidad. En lugar de utilizar bulones de acero se colocarán bulones de fibra vidrio, estos últimos poseen unas buenas características de resistencia a tracción con la ventaja de son muy fáciles de excavar. Se disponen de forma horizontal, con una ligera inclinación, y se han diseñado con una longitud y solape igual a la del paraguas de micropilotes. Su puesta en obra es sencilla y consiste en un replanteo inicial, perforación de los taladros, colocación de los bulones e inyección de lechada de cemento.

2.6.2. *Tratamientos de impermeabilización*

En las zonas donde se atraviesan formaciones con alta presencia de agua, o cruce bajo arroyos, se proyecta un tratamiento de pre-inyección para la impermeabilización del túnel. Aunque no está previsto interceptar ningún acuífero, ante la incertidumbre y ausencia de datos en esta fase de proyecto, se describe el método en caso de que fuese necesario su aplicación.

El propósito de estas inyecciones previas de lechada es la impermeabilización final del túnel y también una mejora de la calidad geotécnica del terreno. Para evitar afecciones en superficie estas inyecciones se ejecutarán desde el frente de excavación y comenzarán antes de llegar la excavación a la zona de influencia del acuífero. De esta manera se podrá reducir la cantidad de agua en el interior del túnel durante la fase de excavación, además de producir una mejora en la estabilidad del frente y en el material del entorno.

La buena ejecución de estas pre-inyecciones es fundamental para la impermeabilización del túnel. Tal y como se ha comprobado en obras de reciente construcción, la efectividad de las post-inyecciones está muy relacionada con estas inyecciones previas, resultando muy complicado la impermeabilización de un túnel únicamente con tratamiento de post-inyecciones tras la excavación.

El método de inyección, descrito de forma sucinta, consiste en una serie de taladros en abanico en todo el perímetro del túnel, en los cuales se procede a realizar una inyección de lechada de cemento a cierta presión.

Las longitudes de estos taladros son variables, pero habitualmente oscilan entre 15 – 25 m y el espaciamiento entre ellos aproximadamente de 1 o 2 m. Al igual que los paraguas de micropilotes están inclinados respecto a la horizontal un ángulo de $10^\circ \pm 5^\circ$ y se suelen solapar entre 1/2 y 1/3 de su longitud.

El producto de inyección será lechada de cemento, para la cual se utilizarán cementos tipo I. Al poseer los cementos de este tipo un porcentaje mayor de clinker se puede controlar mejor su fraguado con distintos aditivos, la adición de acelerantes a la lechada puede conseguir un fraguado más rápido evitando que el agua “lave” la lechada o ésta se vaya por otras vías. Las relaciones agua/cemento (a/c) oscilarán entre 1 – 2 y se podrán ir disminuyendo siempre y cuando no se sobrepase la presión de inyección máxima prevista.

Un parámetro fundamental en la inyección es la presión de inyección, resulta complicado obtener buenos resultados si la presión de inyección no es la correcta. Las presiones habituales en este tipo de inyecciones oscilan entre los 4 -7 bares, sin embargo, éstas se deben de ajustar según los resultados que se van obteniendo durante los trabajos.

Otro aspecto importante en el diseño de las inyecciones es el volumen de admisión. Este parámetro junto con la presión de inyección son parte importante en el control de las inyecciones, con ellos dos se suele fijar el criterio de finalización de la inyección. Es habitual limitar el volumen de inyección a 100 – 150 l de lechada/m de taladro. En el caso de que se supere este valor sin aumentar la presión de inyección debería de revisarse la inyección, ya que es posible que existan fugas de lechada por otras vías distintas de las que se quieren tratar.

Evidentemente un aumento de la presión de inyección por encima de los límites de presión fijados también significará la finalización de la misma.

2.7. Impermeabilización y drenaje

Para proteger el revestimiento de la acción de las aguas subterráneas, y para evitar posibles goteos sobre la plataforma, así como aliviar las presiones intersticiales sobre aquel, se considera conveniente la impermeabilización completa de los túneles.

El sistema que se considera más eficaz está constituido por una lámina porosa de protección, situada en contacto con el sostenimiento, lámina de tipo geotextil, y otra lámina de impermeabilización propiamente dicha colocada a continuación, ésta de tipo sintético (P.V.C. o P.E.). El geotextil se ocupará de filtrar los finos procedentes del lavado del sostenimiento y drenar los caudales para aliviar las presiones intersticiales, así como proteger la lámina frente a las irregularidades del sostenimiento.

Estas láminas se aplican sobre el hormigón proyectado, sujetándolas con anclajes mecánicos y soldando térmicamente las distintas piezas necesarias para recubrir los paramentos del túnel.

La lámina de impermeabilización tendrá continuidad, mediante termo-soldado, hasta alcanzar los tubos dren de PVC ranurado que se colocarán longitudinalmente a lo largo de los túneles, cerca de los paramentos y que conectarán con un canal de pequeñas dimensiones adosado al paramento.

2.8. Revestimiento

Toda obra subterránea debe tener un revestimiento que no ejerza un papel estructural a corto plazo, pero que pueda asegurar la estabilidad de la obra a largo plazo ante una eventual degradación de las características mecánicas del terreno o de los elementos de sostenimiento.

El problema que se plantea es definir qué tipo de exigencias debe tener el revestimiento de un túnel para que sea compatible con las condiciones de utilización y con un costo de ejecución razonable.

A continuación, se señalan algunos de los motivos por los que se considera que su colocación es necesaria:

- El revestimiento aporta un coeficiente de seguridad adicional, colaborando con el sostenimiento a corto plazo. A largo plazo no se puede confiar plenamente en el sostenimiento, pues al estar en contacto directo con las humedades del terreno, éste tiende a alterarse perdiendo alguna de sus características resistentes. La estabilidad a largo plazo se garantiza con el revestimiento.
- El revestimiento de hormigón permite disminuir significativamente las labores de mantenimiento y conservación, crecientes con la edad del túnel, que son normalmente muy costosas y que además entorpecen el tráfico.
- Evita la posible incidencia de convergencias residuales.
- El revestimiento reduce la rugosidad y por tanto mejora la circulación del aire y gases.
- Protege al sostenimiento frente a un posible incendio, el efecto de la agresividad y envejecimiento.

Se procederá al revestimiento del túnel una vez estabilizadas las convergencias e impermeabilizado el túnel.

Antes de proceder al revestimiento del túnel, se comprobará mediante laser escáner las secciones que entren dentro de la sección de revestimiento, procediendo al picado de estas zonas puntuales, y siempre reponiendo el sostenimiento en el caso de que se destruya el que había con anterioridad.

Se propone un espesor de revestimiento de 30 cm de HM-30 reforzado con 2 kg de fibra de polipropileno por cada m³ de hormigón.

2.9. Salidas de emergencia

Tal y como recoge la Especificación Técnica de Interoperabilidad (ETI) relativa a la "Seguridad en los túneles ferroviarios" del sistema ferroviario de la Unión Europea, en su artículo "4.2.1.5.2 Acceso a la zona segura", este apartado se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud. De esta forma:

- a) *Las zonas seguras serán accesibles para las personas que inicien la auto-evacuación desde el tren, así como para los servicios de intervención en emergencias.*
- b) *Se elegirá una de las siguientes soluciones para el acceso desde el tren hasta la zona segura:*
 - 1) *salidas de emergencia a la superficie laterales y/o verticales. Deberá haber este tipo de salidas, como mínimo, cada 1.000 m;*
 - 2) *galerías de conexión transversales entre tubos independientes y contiguos del túnel que permitan utilizar el tubo contiguo del túnel como zona segura. Deberán disponerse estas galerías transversales, como mínimo, cada 500 m;*
 - 3) *se permiten soluciones técnicas alternativas que proporcionen una zona segura con un nivel de seguridad, como mínimo, equivalente. El nivel de seguridad equivalente para pasajeros y personal del tren se verificará mediante el método común de seguridad para la evaluación del riesgo. Se ha definido una galería de evacuación vehicular ya que la longitud del túnel es mayor de 1.000 metros.*

Por otro lado, en su artículo 4.2.1.7 Puntos de lucha contra incendios, se recoge lo siguiente:

Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud.

- a) *A los efectos de la presente cláusula, dos o más túneles consecutivos serán considerados como un túnel único, a menos que se cumplan las dos condiciones siguientes:*
 - 1) *la separación a cielo abierto entre ellos supere en más de 100 m la longitud máxima del tren que vaya a circular en la línea, y*

2) el área a cielo abierto alrededor de la vía y su situación respecto de esta, en el tramo de separación entre los dos túneles, permiten a los pasajeros alejarse del tren hacia un espacio seguro. El espacio seguro deberá tener un tamaño suficiente para acoger a todos los pasajeros correspondientes al tren de mayor capacidad que se prevea que va a circular por la línea.

b) Se crearán puntos de lucha contra incendios:

- 1) fuera de ambas bocas de todos los túneles de menos de 1 km, y
- 2) dentro del túnel, según la categoría del material rodante previsto para circular, tal y como se resume en el siguiente cuadro:

| Longitud del túnel | Categoría del material rodante con arreglo al apartado 4.2.3 | Distancia máxima desde las bocas hasta un punto de lucha contra incendios y entre dos de ellos |
|--------------------|--|--|
| 1 a 5 km | Categoría A o B | No se requiere ningún punto de lucha contra incendios |
| 5 a 20 km | Categoría A | 5 km |
| 5 a 20 km | Categoría B | No se requiere ningún punto de lucha contra incendios |
| más de 20 km | Categoría A | 5 km |
| más de 20 km | Categoría B | 20 km |

Tabla de distancias de puntos de lucha contra incendio en función de la longitud del túnel

c) Requisitos para todos los puntos de lucha contra incendios:

- 1) los puntos de lucha contra incendios estarán equipados con suministro de agua (de al menos 800 l/min durante dos horas) cerca de los puntos previstos para la detención del tren. El método de suministro del agua se describirá en el plan de emergencia;
- 2) se deberá indicar al maquinista del tren el punto previsto para la detención del tren. Esto no requerirá equipamiento específico a bordo (todos los trenes que cumplan la presente ETI podrán usar el túnel);
- 3) los puntos de lucha contra incendios serán accesibles a los servicios de intervención en emergencias. En el plan de emergencia se describirá la forma en que los servicios de intervención en emergencias accederán al punto de lucha contra incendios y desplegarán el equipo;

4) se podrá interrumpir la alimentación eléctrica de tracción y poner a tierra la instalación eléctrica en los puntos de lucha contra incendios, ya sea de forma presencial o por control remoto.

d) Requisitos de los puntos de lucha contra incendios situados fuera de las bocas del túnel. Además de los requisitos descritos en la cláusula 4.2.1.7, letra c), los puntos de lucha contra incendios fuera de las bocas del túnel cumplirán las siguientes condiciones:

1) La zona a cielo abierto en torno al punto de lucha contra incendios dispondrá de una superficie de al menos 500 m².

e) Requisitos de puntos de lucha contra incendios dentro del túnel. Además de los requisitos descritos en la cláusula 4.2.1.7, letra c), los puntos de lucha contra incendios dentro del túnel cumplirán las siguientes condiciones:

- 1) se podrá acceder a una zona segura desde el punto de detención del tren. En las dimensiones de la ruta de evacuación hacia la zona segura se deberá considerar el tiempo de evacuación (según lo especificado en la cláusula 4.2.3.4.1) y la capacidad prevista de los trenes (mencionada en la cláusula 4.2.1.5.1) que vayan a circular por el túnel. Se deberá demostrar que el tamaño de la ruta de evacuación resulta adecuado;
- 2) la zona segura asociada con el punto de lucha contra incendios tendrá una superficie suficiente para que los pasajeros esperen de pie hasta ser evacuados a una zona segura final;
- 3) existirá un acceso al tren afectado para los servicios de intervención en emergencias sin que tengan que atravesar la zona segura ocupada;
- 4) el diseño del punto de lucha contra incendios y de su equipamiento deberá tener en cuenta el control de humos para, en particular, proteger a las personas que utilicen las instalaciones de auto-evacuación para acceder a la zona segura.

Teniendo en cuenta ambos artículos, se hacen las siguientes consideraciones:

- 1) A efectos de lo recogido en el artículo 4.2.1.7, la distancia entre el falso túnel de 180 m que precede al túnel de La Muela y éste es inferior a 100 m, de forma que no se cumple el punto a.1) del citado artículo. Por tanto, debemos considerar como un único túnel la concatenación de los dos. Esto implica que, a efectos de seguridad (que no de obra civil), tenemos un túnel que empieza en el p.k. 14+880 y acaba en el 17+010, otorgándole una longitud de 2.130 m.
- 2) Según el artículo 4.2.1.5.2 *Acceso a la zona segura*, en su apartado b.1), deberán existir salidas de emergencia a la superficie laterales y/o verticales como mínimo, cada 1.000 m. De esta forma, puesto que el túnel a efectos de seguridad tiene una longitud de 2.130 m, deberán existir al menos 2 salidas al exterior, siendo la distancia entre ambas, y entre cada una de ellas con el emboquille más cercano, inferior a 1.000m.

Se han proyectado dos pozos con salida al exterior ubicados en los siguientes puntos:

- Pozo 1: p.k. 15+330, de 50 m de altura
- Pozo 2: p.k. 16+300, de 45 m de altura

Se proponen dos métodos constructivos distintos para su ejecución, cuya elección queda supeditada a fases posteriores, donde se habrá obtenido un mayor nivel de detalle en la geología y geotecnia, justo en el punto exacto de ubicación.:

- Anillos de hormigón in situ
- Excavación con rozadora vertical

Anillos de hormigón in situ

Se ejecutarán mediante anillos de hormigón en masa “in situ” contra el terreno mediante un encofrado deslizante.

Se excava el terreno en bataches siguiendo la forma circular o prismática, con un diámetro que será el del encofrado más el espesor del anillo, que está en el

entorno de 0,50 – 0,7 m. La profundidad de la excavación debe ser la misma que la altura del encofrado.

Se coloca el encofrado y, a través de los bebederos, se hormigona el anillo.

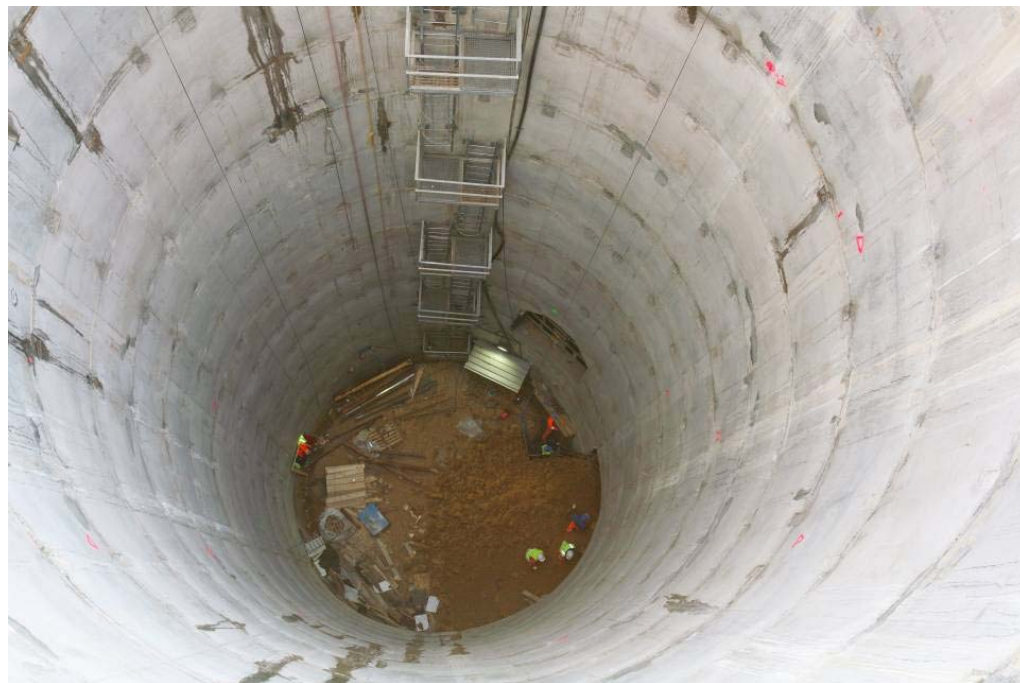
Después, transcurrido un tiempo mínimo de fraguado, con el encofrado colocado en el anillo que se acaba de ejecutar, se continúa la excavación del siguiente anillo siguiendo el mismo procedimiento que se ha explicado antes, salvo que las llaves de apoyo contra el terreno deben estar alternadas (al tresbolillo) en planta con respecto a las del anillo anterior, para conseguir que el rozamiento contra el terreno sea el máximo posible.

Una vez realizada la excavación, se baja el encofrado que estaba colocado en el anillo anterior, se hormigona el anillo siguiente sellando la junta mediante una junta water-stop y así sucesivamente.

Cuando ya se hayan ejecutado todos los anillos, se realiza una solera para cerrar el pozo por la parte inferior, que vendrá determinada por las subpresiones a las que está sometida la estructura.



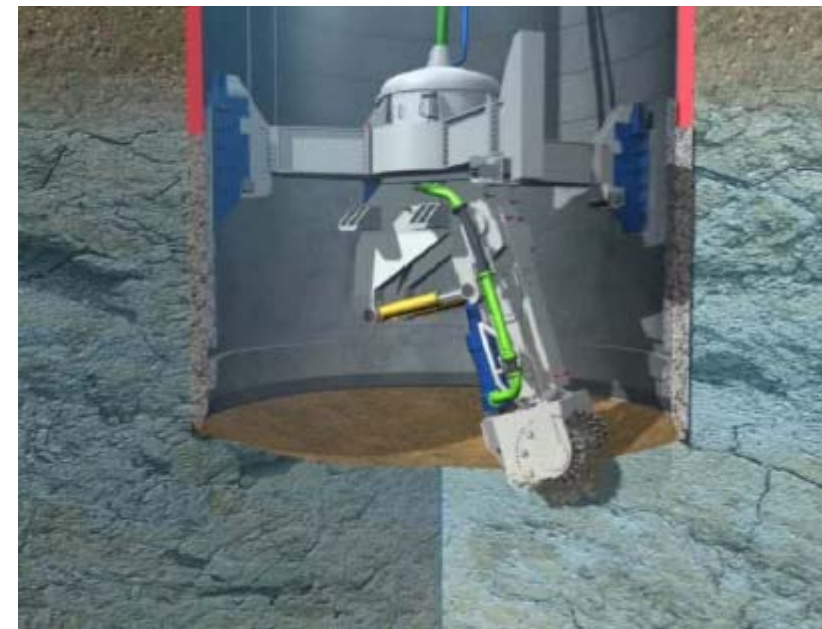
Encofrado colocado en el primer anillo.



Vista general de un pozo tipo, de 34 m. de profundidad y 13 m. de diámetro

Rozadora vertical

Se trata de una máquina provista de un brazo rozador, el cual se mueve y excava radialmente desde el centro del pozo hacia el exterior, que excava al abrigo del revestimiento que se encuentra suspendido, sujeto mediante cables desde la superficie. Una vez finalizado cada avance de excavación, se baja el revestimiento ya montado previamente, para montar después un nuevo anillo de dovelas. Las dovelas de hormigón armado del revestimiento se instalan y atornillan por la parte superior, pudiendo simultanear esta maniobra con la excavación del terreno en el fondo.



Rozadora vertical

Previo a la excavación será necesario realizar un cimiento anular de hormigón armado que repartirá las cargas del proceso de excavación, así como instalar todas las unidades auxiliares necesarias para el anclaje de la maquinaria.

La obtención del macroprecio de pozo vertical se basa en la experiencia del consultor en otros proyectos constructivos, o incluso en precios reales de proyectos ya ejecutados y en explotación.

Los precios para pozos en torno a los 45 – 50 metros de profundidad completamente terminados (sostenimiento incluso excavación, impermeabilización, drenaje, galería de conexión con túnel principal, instalaciones y todo lo necesario para su construcción), oscila entre los 5.500.000€ en el caso de pozos verticales con rozadora (precio real de pozo ejecutado y en explotación en Montcada), y 1.000.000€ para los pozos ejecutados con métodos manuales (precio de proyecto constructivo). Así pues, se ha optado por utilizar un precio medio 3.000.000€.

Por otro lado, se ha ubicado en el emboquille de entrada del falso túnel, y en el de salida del túnel de La Muela una zona de al menos 500 m² a cielo abierto que

servirá como puntos de lucha contra incendio. Esta superficie también se ha replanteado en las salidas de los pozos de evacuación.

Los cuatro puntos mencionados deberán tener un camino de acceso para que los servicios de emergencia puedan atender a los evacuados, sin perjuicio de que también puedan acceder al interior del túnel circulando sobre la vía en placa en la que quedará embebida el carril.

2.10. Auscultación

El presente apartado tiene como objeto servir de base para el desarrollo del futuro Plan de Auscultación que deberá quedar definido en fases posteriores, adaptándolo en detalle a la construcción de la obra.

La auscultación tiene como finalidad controlar los movimientos de las estructuras, así como el comportamiento de los terrenos anejos, durante las distintas fases de construcción.

Para cumplir tales objetivos se instalarán los instrumentos y sistemas de auscultación que, en cada momento, informen de las reacciones con las que el terreno, estructuras e instalaciones, responden a las distintas fases constructivas que se lleven a cabo.

2.10.1. Magnitudes a controlar e instrumentos

En el caso del trazado propuesto, las distintas magnitudes a controlar serían las siguientes:

- Comportamiento estructural del revestimiento del túnel. Para ello se instalarán secciones instrumentadas formadas por células de presión en clave y contrabóveda, y extensómetros de cuerda vibrante. Llevarán asociadas una sección de convergencias formada por 5 puntos de control, uno en clave y dos en cada hastial para el seguimiento de las deformaciones del terreno sobre el túnel.
- Movimientos en el terreno. El control de los movimientos en el terreno en profundidad se realizará mediante la instalación de extensómetros de varillas desde el interior del túnel, sobre todo en las zonas de peor calidad geotécnica, para verificar las condiciones de estabilidad del terreno circundante. También se instalarán inclinómetros en el entorno de los

emboquilles para comprobar si se están produciendo movimientos horizontales que puedan generar subsidencias en el entorno, sobre todo si existen estructuras próximas al túnel. Los movimientos del terreno en superficie se controlarán mediante la instalación de hitos de nivelación que serán controlados mediante topografía de precisión.

- Nivel freático. Las variaciones en el nivel freático, sobre todo cuando se producen depresiones del mismo, originará un cambio de volumen en el suelo, que se suele manifestar en forma de movimientos verticales en la superficie (subsidencias), o presiones elevadas en el sostenimiento. Para controlar las variaciones del nivel freático se instalarán piezómetros.

A continuación, se expone un cuadro resumen con las magnitudes que serán controladas y los instrumentos que se emplearán para ello:

| | MAGNITUDES A CONTROLAR | SENSORES |
|--|--|--|
| COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL REVESTIMIENTO DEL TÚNEL | Esfuerzos en el revestimiento-sostenimiento. | • Células de presión total. |
| | Deformaciones del revestimiento-sostenimiento. | • Extensómetros de cuerda vibrante. |
| | Empuje del terreno sobre el revestimiento-sostenimiento. | • Pernos de convergencia. |
| MOVIMIENTOS DEL TERRENO | Movimientos en profundidad del terreno. | • Extensómetros de varillas • Inclinómetros |
| | Movimientos en superficie | • Verticales: Hitos de nivelación |
| NIVEL FREÁTICO | Variaciones del nivel freático | • Piezómetros |

Tabla de magnitudes y sensores de control

2.10.2. Secciones de instrumentación

2.10.2.1. Túnel convencional

Durante la excavación con métodos convencionales, se propone la instalación se secciones de instrumentación en túnel (ST) formadas por los siguientes dispositivos:

- 3 Células de presión en bóveda y 3 en contrabóveda
- 6 Extensómetros de cuerda vibrante doble (trasdós e intradós) junto con las células de presión

- › 5 Pernos de convergencia combinados (miniprisma+perno), uno en clave y dos en cada hastial.

Cuando las condiciones geotécnicas sean peores, como por ejemplo en zonas de falla, y siempre que se emplee el sostenimiento tipo IV, se hará coincidir al menos una de estas secciones, a la cual podrá añadirse una sección de extensómetros de varillas.

De esta forma se obtiene una sección de instrumentación en túnel intensificada (STI) que permitirá tener un conocimiento exhaustivo de las condiciones del túnel y del terreno circundante.

A lo largo de la excavación de todo el túnel se dispondrán secciones de convergencias cada 25 metros formadas por 5 puntos de control, uno en clave y dos en cada hastial (SC).

Cuando sea necesario emplear el sostenimiento tipo IV, las secciones de convergencias de dispondrán cada 10 metros durante todo el tramo afectado por dicho sostenimiento.

La ubicación exacta de las secciones de convergencias y secciones intensificadas se realizará según el avance de obra y en función de la calidad de los materiales encontrados durante la excavación.

Se podrán instalar piezómetros en el interior del túnel si las condiciones lo requieren.

En los emboquilles, se controlarán los movimientos verticales y horizontales mediante la instalación de hitos de nivelación e inclinómetros, cuya localización quedará detallada en fases posteriores donde el nivel de detalle permita definir la ubicación exacta de los mismos.

2.10.3. Definición de umbrales y frecuencias

Atendiendo al criterio de movimientos admisibles, se clasifican los niveles de riesgo de cara a establecer la frecuencia de lecturas de los instrumentos y para considerar las posibles medidas de actuación. Tanto los umbrales como las

frecuencias quedarán definidos en fases posteriores a este estudio informativo, siendo de carácter orientativo la clasificación que se muestra a continuación:

| NIVEL DE RIESGO | TÚNEL/ESTRUCTURAS EN EJECUCIÓN | EDIFICIOS/INFRAESTRUCTURAS EXISTENTES | MOVIMIENTO DEL TERRENO(SECCIONES INSTRUMENTADAS) |
|-----------------|---|--|---|
| VERDE | La excavación está estabilizada | Los movimientos inducidos en edificaciones y servicios no superan el umbral menos restrictivo. | El terreno se comporta según lo previsto y los movimientos medidos son aceptables |
| ÁMBAR | La excavación no se comporta según lo previsto, pero tiende a la estabilización | Los movimientos inducidos a cota de cimentación que superan el límite establecido, sin alcanzar, en su punto pésimo, los niveles de deformación equivalentes al umbral "rojo". | Los movimientos medidos sobrepasan los valores aceptables, pero tienden a estabilizarse |
| ROJO | La situación supera los límites considerados como aceptables y la excavación no está estabilizada | Los movimientos inducidos a cota de cimentación superan los establecidos para el umbral "rojo". | Los movimientos medidos sobrepasan los valores aceptables, y no se estabilizan |

Definición de niveles de riesgo y alarmas

2.10.4. Medidas de actuación

Una vez establecidos los umbrales de control y la frecuencia de lecturas, se deberán prever medidas de actuación en cada caso. A continuación se proponen unos criterios generales, que serán válidos para todos los métodos constructivos y deberán concretarse con la correspondiente aprobación de la Dirección de Obra.

| UMBRAL DE CONTROL | MEDIDAS DE ACTUACIÓN |
|-------------------|---|
| VERDE | Seguir con el control de movimientos establecido por el Plan de Auscultación de la Obra. |
| AMBAR | Incrementar la frecuencia de lecturas evaluando la situación a partir de la velocidad de variación del parámetro registrado. Efectuar una inspección visual somera. Continuar con el proceso de ejecución de las obras según lo previsto. |
| ROJO | Establecer un análisis específico de la situación, instalando instrumentación complementaria si fuera preciso. Revisión del proceso constructivo para introducir modificaciones en el mismo, si es posible. Valorar la necesidad de introducir medidas correctoras, refuerzo o protección de las estructuras o elementos afectados. |

Medidas de actuación según los umbrales de control

2.10.5. Tratamiento de la información y elaboración de informes

Los resultados de la auscultación serán incorporados diariamente y a medida que se vayan generando, a las bases de datos u hojas de cálculo correspondientes para su procesado inmediato y almacenamiento, de manera que en cualquier momento puedan ser consultados.

Una vez analizada dicha información, se emitirá un informe con la periodicidad definida en el Plan de Auscultación que recogerá toda la información actualizada hasta la fecha de emisión del informe y con los datos a origen.

Esta información se emitirá en forma de tablas y gráficas, y deberá ir acompañada de una valoración de los resultados en relación a los umbrales de control. Además, y junto a los resultados, deberán adjuntarse unos planos donde se defina la situación de la instrumentación, y esquemas relativos al avance de las obras.

2.11. Seguridad en túneles

Las normas aplicadas en España en relación con la seguridad en los túneles ferroviarios son:

- La Especificación Técnica de Interoperabilidad relativa a «la seguridad en los túneles ferroviarios» del sistema ferroviario transeuropeo convencional y de alta velocidad.
- Borrador de la Instrucción para el proyecto y construcción del subsistema de Infraestructura Ferroviaria (IFI-2011)

El enfoque de la normativa en vigor, incluyendo la ETI «Seguridad en los túneles ferroviarios» se refiere ante todo a la protección de las vidas humanas. Establece una serie de medidas que permiten evacuar a los pasajeros en condiciones de seguridad adecuadas en caso de incidente, así como el acceso a los servicios de emergencia.

La resistencia al hundimiento de la infraestructura está por lo tanto dimensionada tanto para asegurar la evacuación de los pasajeros y del personal como también el acceso a los servicios de emergencia.

A continuación, se indica cada una de las características necesarias a tener por cada uno de los aspectos relacionados anteriormente. Se señala el artículo de la mencionada **ETI de Seguridad en Túneles** que hace referencia a cada aspecto:

Art. 4.2.1.1. Prevención del acceso no autorizado a las salidas de emergencia y a las salas técnicas: Esta especificación se aplicará a todos los túneles.

- a) Se debe impedir el acceso no autorizado a las salas técnicas.
- b) Cuando se bloqueen las salidas de emergencia por motivos de seguridad, debe garantizarse que siempre se puedan abrir desde dentro.

Art. 4.2.1.2. Resistencia al fuego de las estructuras del túnel: Esta especificación se aplicará a todos los túneles:

- a) Esta especificación se aplica a los productos y materiales de construcción del interior de los túneles.
- b) El material de construcción del túnel cumplirá los requisitos de la clase A2 de la Decisión 2000/147/CE de la Comisión. Los paneles no estructurales

y demás equipamiento cumplirán los requisitos de la clase B de la Decisión 2000/147/CE de la Comisión.

- c) Se enumerarán los materiales que no contribuyan significativamente a una carga de fuego. Dichos materiales no están obligados a cumplir con lo anteriormente mencionado.

Art. 4.2.1.3. Reacción al fuego de los materiales de construcción: Esta especificación se aplica a todos los túneles:

- a) Esta especificación se aplica a los productos y materiales de construcción del interior de los túneles.
- b) El material de construcción del túnel cumplirá los requisitos de la clase A2 de la Decisión 2000/147/CE de la Comisión. Los paneles no estructurales y demás equipamiento cumplirán los requisitos de la clase B de la Decisión 2000/147/CE de la Comisión.
- c) Se enumerarán los materiales que no contribuyan significativamente a una carga de fuego. Dichos materiales no están obligados a cumplir con lo anteriormente mencionado.

Art. 4.2.1.4. Detección de incendios en las salas técnicas: Esta especificación se aplicará a túneles de más de 1 km de longitud. Las salas técnicas estarán equipadas con detectores que alerten al administrador de la infraestructura en caso de incendio.

Art. 4.2.1.5.1. Zona Segura: Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud.

- a) Una zona segura permitirá la evacuación de los trenes que utilicen el túnel. Tendrá una capacidad acorde con la capacidad máxima de los trenes que se prevea que circulen en la línea donde se localiza el túnel.
- b) La zona segura garantizará condiciones de supervivencia para pasajeros y personal del tren durante el tiempo necesario para realizar una evacuación completa desde la zona segura hasta el lugar seguro final.

- c) En caso de zonas seguras subterráneas o submarinas, las instalaciones permitirán que las personas se desplacen desde la zona segura hasta la superficie sin tener que volver a entrar en el tubo afectado del túnel.
- d) El diseño de una zona segura y su equipamiento deberá tener en cuenta el control de humos para, en particular, proteger a las personas que utilicen las instalaciones de auto-evacuación.

Art. 4.2.1.5.2 Acceso a la zona segura: Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud.

- c) Las zonas seguras serán accesibles para las personas que inicien la auto-evacuación desde el tren, así como para los servicios de intervención en emergencias.
- d) Se elegirá una de las siguientes soluciones para el acceso desde el tren hasta la zona segura:
 - 4) salidas de emergencia a la superficie laterales y/o verticales. Deberá haber este tipo de salidas, como mínimo, cada 1.000 m;
 - 5) galerías de conexión transversales entre tubos independientes y contiguos del túnel que permitan utilizar el tubo contiguo del túnel como zona segura. Deberán disponerse estas galerías transversales, como mínimo, cada 500 m;
 - 6) se permiten soluciones técnicas alternativas que proporcionen una zona segura con un nivel de seguridad, como mínimo, equivalente. El nivel de seguridad equivalente para pasajeros y personal del tren se verificará mediante el método común de seguridad para la evaluación del riesgo.
- e) Las puertas de acceso desde el pasillo de evacuación a la zona segura tendrán una abertura libre de al menos 1,4 m de ancho por 2 m de alto. De manera alternativa, se permite utilizar múltiples puertas contiguas de menor anchura siempre que se verifique que la capacidad total de paso de personas es equivalente o superior.
- f) Una vez atravesadas las puertas, la abertura libre deberá seguir siendo de al menos 1,5 m de ancho por 2,25 m de alto.

g) Se describirá en el plan de emergencia el modo en que los servicios de intervención en emergencias accederán a la zona segura.

Art. 4.2.1.5.3. Medios de comunicación en zonas seguras: Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud. La comunicación será posible, bien por teléfono móvil, bien mediante conexión fija, entre las zonas seguras subterráneas y el centro de control del administrador de la infraestructura.

Art. 4.2.1.5.4. Alumbrado de emergencia en las rutas de evacuación: Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 0,5 km de longitud.

a) Se instalará alumbrado de emergencia para guiar a los pasajeros y al personal del tren hacia una zona segura en caso de emergencia.

b) La iluminación deberá cumplir los siguientes requisitos:

1) en tubo de vía única: en el lado del pasillo de evacuación;

2) en tubo de vías múltiples: en ambos lados del tubo;

3) posición de las luces:

- por encima del pasillo de evacuación, lo más bajo posible, y de forma que no interrumpan el espacio libre para el paso de personas, o bien
- integradas en los pasamanos;

1. la iluminancia deberá mantenerse en el tiempo en al menos 1 lux en cualquier punto del plano horizontal a nivel del pasillo.

c) Autonomía y fiabilidad: deberá disponerse de un suministro eléctrico alternativo durante un período de tiempo apropiado tras la interrupción del suministro eléctrico principal. El tiempo requerido deberá adecuarse a los escenarios de evacuación y estar definido en el plan de emergencia.

d) Si las luces de emergencia se desconectan en condiciones normales de funcionamiento, será posible encenderlas por los dos medios siguientes:

1) manualmente desde el interior del túnel a intervalos de 250 m;

2) por el explotador del túnel mediante control remoto.

Art.4.2.1.5.5. Señalización de evacuación: Esta especificación se aplica a todos los túneles.

a) La señalización de la evacuación indicará las salidas de emergencia, la distancia a la zona segura y la dirección hacia esta.

b) Todas las señales se ajustarán a las disposiciones de la Directiva 92/58/CEE, de 24 de junio de 1992, relativa a las disposiciones en materia de señalización de seguridad y de salud en el trabajo y a lo especificado en el apéndice A, índice no 1.

c) Las señales de evacuación se instalarán en los hastiales a lo largo de los pasillos de evacuación.

d) La distancia máxima entre las señales de evacuación será 50 m.

e) Se instalarán señales en el túnel para indicar la posición del equipamiento de emergencia, en los lugares donde esté situado dicho equipamiento.

f) Todas las puertas que conduzcan a salidas de emergencia o galerías de conexión transversal estarán señalizadas.

Art. 4.2.1.6. Pasillos de evacuación: Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 0,5 km de longitud.

a) Se construirán pasillos de evacuación en los túneles de vía única, como mínimo, a un lado de la vía, y en los túneles de vías múltiples, a ambos lados del túnel. En los túneles con más de dos vías, será posible el acceso a un pasillo de evacuación desde cada vía.

1) La anchura del pasillo de evacuación será de al menos 0,8 m.

2) La altura libre mínima por encima del pasillo de evacuación será de 2,25 m.

3) La altura del pasillo estará al nivel de la parte superior del carril o incluso más alto.

4) Se evitarán estrechamientos locales provocados por obstáculos dentro del gálibo de evacuación. La presencia de obstáculos no reducirá la anchura mínima a menos de 0,7 m y la longitud del obstáculo no superará los 2 m.

b) Se instalarán pasamanos continuos entre 0,8 m y 1,1 m por encima del pasillo que marquen el rumbo hacia una zona segura.

- 1) Los pasamanos se colocarán fuera del gálibo libre mínimo del pasillo de evacuación.
- 2) Los pasamanos formarán un ángulo entre 30° y 40° respecto al eje longitudinal del túnel a la entrada y a la salida del obstáculo.

Art. 4.2.1.7. Puntos de lucha contra incendios: Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud.

f) A los efectos de la presente cláusula, dos o más túneles consecutivos serán considerados como un túnel único, a menos que se cumplan las dos condiciones siguientes:

- 1) la separación a cielo abierto entre ellos supere en más de 100 m la longitud máxima del tren que vaya a circular en la línea, y
- 2) el área a cielo abierto alrededor de la vía y su situación respecto de esta, en el tramo de separación entre los dos túneles, permiten a los pasajeros alejarse del tren hacia un espacio seguro. El espacio seguro deberá tener un tamaño suficiente para acoger a todos los pasajeros correspondientes al tren de mayor capacidad que se prevea que va a circular por la línea.

g) Se crearán puntos de lucha contra incendios:

- 1) fuera de ambas bocas de todos los túneles de menos de 1 km, y
- 2) dentro del túnel, según la categoría del material rodante previsto para circular, tal y como se resume en el siguiente cuadro:

| Longitud del túnel | Categoría del material rodante con arreglo al apartado 4.2.3 | Distancia máxima desde las bocas hasta un punto de lucha contra incendios y entre dos de ellos |
|--------------------|--|--|
| 1 a 5 km | Categoría A o B | No se requiere ningún punto de lucha contra incendios |
| 5 a 20 km | Categoría A | 5 km |
| 5 a 20 km | Categoría B | No se requiere ningún punto de lucha contra incendios |
| más de 20 km | Categoría A | 5 km |
| más de 20 km | Categoría B | 20 km |

Tabla de distancias de puntos de lucha contra incendio en función de la longitud del túnel

h) Requisitos para todos los puntos de lucha contra incendios:

- 1) los puntos de lucha contra incendios estarán equipados con suministro de agua (de al menos 800 l/min durante dos horas) cerca de los puntos previstos para la detención del tren. El método de suministro del agua se describirá en el plan de emergencia;
 - 2) se deberá indicar al maquinista del tren el punto previsto para la detención del tren. Esto no requerirá equipamiento específico a bordo (todos los trenes que cumplan la presente ETI podrán usar el túnel);
 - 3) los puntos de lucha contra incendios serán accesibles a los servicios de intervención en emergencias. En el plan de emergencia se describirá la forma en que los servicios de intervención en emergencias accederán al punto de lucha contra incendios y desplegarán el equipo;
 - 4) se podrá interrumpir la alimentación eléctrica de tracción y poner a tierra la instalación eléctrica en los puntos de lucha contra incendios, ya sea de forma presencial o por control remoto.
- i) Requisitos de los puntos de lucha contra incendios situados fuera de las bocas del túnel. Además de los requisitos descritos en la cláusula 4.2.1.7, letra c), los puntos de lucha contra incendios fuera de las bocas del túnel cumplirán las siguientes condiciones:

- 1) La zona a cielo abierto en torno al punto de lucha contra incendios dispondrá de una superficie de al menos 500 m².
- j) Requisitos de puntos de lucha contra incendios dentro del túnel. Además de los requisitos descritos en la cláusula 4.2.1.7, letra c), los puntos de lucha contra incendios dentro del túnel cumplirán las siguientes condiciones:
 - 1) se podrá acceder a una zona segura desde el punto de detención del tren. En las dimensiones de la ruta de evacuación hacia la zona segura se deberá considerar el tiempo de evacuación (según lo especificado en la cláusula 4.2.3.4.1) y la capacidad prevista de los trenes (mencionada en la cláusula 4.2.1.5.1) que vayan a circular por el túnel. Se deberá demostrar que el tamaño de la ruta de evacuación resulta adecuado;
 - 2) la zona segura asociada con el punto de lucha contra incendios tendrá una superficie suficiente para que los pasajeros esperen de pie hasta ser evacuados a una zona segura final;
 - 3) existirá un acceso al tren afectado para los servicios de intervención en emergencias sin que tengan que atravesar la zona segura ocupada;
 - 4) el diseño del punto de lucha contra incendios y de su equipamiento deberá tener en cuenta el control de humos para, en particular, proteger a las personas que utilicen las instalaciones de auto-evacuación para acceder a la zona segura.

Art. 4.2.1.8. Comunicaciones de emergencia: Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud.

- a) Deberá haber comunicación por radio entre el tren y el centro de control del administrador de la infraestructura en cada túnel, mediante GSM-R.

Asimismo, tendrá que haber continuidad por radio para que los servicios de intervención en emergencias se comuniquen in situ con sus centros de mando. El sistema permitirá que los servicios de intervención en emergencias puedan usar su propio equipo de comunicación.

2.12. Valoración económica

La valoración económica se ha realizado en función de las características geológico-geotécnicas del terreno. Según el perfil geológico realizado con los datos disponibles, el terreno a excavar es bastante monótono en cuanto a litología y estructuras tectónicas. Se ha realizado una estimación del porcentaje de los sostenimientos que se podrían aplicar. En fases posteriores, y con una adecuada campaña geotécnica, se podrá definir con mayor detalle la tramificación del terreno, y por tanto ajustar con mayor exactitud los sostenimientos a emplear.

A continuación, se incluyen una tabla resumen con los macroprecios por cada tipo de sostenimiento para un túnel revestido e impermeabilizado (plataforma de vía no incluida), los emboquilles y los pozos de salida al exterior. El coste total para su ejecución asciende a **43.076.654,00 €**.

| Alternativa | Túnel | Pk. Inicio | Pk. Fin | Longitud total (m) | Sección (m ²) | Formación | Pk. Inicio | Pk. Fin | Long. (m) | Tipo sostenimiento | % estimado de aplicación | Longitud estimada de aplicación | precio m/l | Coste Parcial |
|-------------|----------|------------|---------|--------------------|---------------------------|-----------|------------|---------|-----------|--------------------|--------------------------|---------------------------------|-------------|------------------------|
| 2.1 y 2.2 | La Muela | 15+160 | 17+010 | 1850 | 120 | Mm | 15+160 | 17+010 | 1850 | ST-I | 10 | 185 | 11.607,92 € | 2.147.465,98 € |
| | | | | | | | | | | ST-II | 40 | 740 | 15.873,77 € | 11.746.587,02 € |
| | | | | | | | | | | ST-III | 40 | 740 | 21.081,86 € | 15.600.577,97 € |
| | | | | | | | | | | ST-IV | 10 | 185 | 39.864,99 € | 7.375.023,04 € |

| Frontal | | | Pozos de salida al exterior | | | Coste parcial |
|---------|----------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|
| nº | Precio Tratamiento frontal | Coste parcial | nº | Precio | Coste parcial | |
| 2 | 103.500,00 € | 207.000,00 € | 2 | 3.000.000,00 € | 6.000.000,00 € | 6.207.000,00 € |

| Alternativa | Túnel | Excavación + Sotenimiento | Túnel principal | Pozos de salida al exterior | Coste total |
|------------------|----------|---------------------------|-----------------|-----------------------------|-------------------------|
| 2.1 y 2.2 | La Muela | 36.869.654,00 € | 207.000,00 € | 6.000.000,00 € | 43.076.654, 00 € |