



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

# ANEXO 1: ANTECEDENTES Y DOCUMENTACIÓN INICIAL

---

Diseño Geotécnico de túnel ferroviario de conexión de la línea 1 del TRAM con la estación intermodal de Alicante.

---

*Presentado por*

Provincial Gallardo, Olga

---

*Para la obtención del*

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

*Curso: 2021/2022*

*Fecha: Septiembre de 2022*

*Tutor: Cuesta García, César*





## ÍNDICE

<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>2 RECONOCIMIENTO FOTOGRÁFICO</b>	<b>5</b>
2.1 RECOPIACIÓN FOTOGRÁFICA	6
<b>3 DOCUMENTACIÓN INICIAL</b>	<b>8</b>
<b>4 ESTUDIOS Y PROYECTOS PREVIOS</b>	<b>10</b>
4.1 TRAMO 1. PRIMERA FASE DE LA RED TRANVIARIA DE ALICANTE, TRAMO LUCEROS –MERCADO.	10
4.1.1 TÚNEL. TRAMO ESTACIÓN DE LUCEROS-ESTACIÓN DEL MERCADO CENTRAL	10
4.1.2 ESTACIÓN DE LUCEROS	10
4.2 PLANOS DE INFORMACIÓN DEL TRAMO 1	10
4.3 TRAMO 0B. LÍNEA 1 DEL TRANVÍA DE ALICANTE Y DEL PARKING DE LA AVENIDA DE LA ESTACIÓN.	14
4.4 PLANOS DE INFORMACIÓN DEL TRAMO 0B	14
<b>5 ESTUDIOS PREVIOS</b>	<b>16</b>
5.1 GEOLOGÍA Y GEOTECNIA	16
5.1.1 ENCUADRE GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO	16
5.1.2 RECONOCIMIENTOS Y ENSAYOS	17
5.1.3 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES	19
5.1.4 IDONEIDAD DE LA CAMPAÑA GEOTÉCNICA	22
5.1.5 CAMPAÑAS GEOTÉCNICAS ANTERIORES	22
5.1.6 PERFIL GEOTÉCNICO	24
5.2 TOPOGRAFÍA Y CARTOGRAFÍA	24
5.2.1 SISTEMA DE REFERENCIA Y PROYECCIÓN UTILIZADA	24
5.2.2 RED DE BASES PRINCIPAL	24
<b>6 BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>25</b>

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1. VISTA AÉREA DE LA ESTACIÓN DE ADIF Y EL CRUCE AV. DE LA ESTACIÓN – AV. SALAMANCA (FUENTE: GOOGLE EARTH)	5
FOTOGRAFÍA 2. AL FONDO ESTACIÓN DE ADIF Y LA AVENIDA DE LA ESTACIÓN. (FUENTE: FGV)	6
FOTOGRAFÍA 3. FINAL DE LA AVENIDA DE LA ESTACIÓN VISTA DESDE LA ESTACIÓN DE ADIF. (FUENTE: FGV)	6
FOTOGRAFÍA 4. ESTACIÓN DE ADIF. (FUENTE: GOOGLE EARTH)	6
FOTOGRAFÍA 5. CRUCE AV. DE LA ESTACIÓN – AV. SALAMANCA (FUENTE: GOOGLE EARTH)	7
FOTOGRAFÍA 6. UBICACIÓN DE LA FUTURA ESTACIÓN INTERMODAL. (FUENTE: GOOGLE EARTH)	7
FOTOGRAFÍA 7. ESTACIÓN DE ADIF. CRUCE DE AV. ESTACIÓN CRUCE CON AV. SALAMANCA-REJILLAS VENTILACIÓN FINAL DE CULATÓN DE MANIOBRAS. (FUENTE: FGV)	7
FOTOGRAFÍA 8. FINAL DEL TÚNEL EXISTENTE. CULATÓN DE MANIOBRAS DE LA ESTACIÓN DE LUCEROS FGV. (FUENTE: FGV)	7

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PUNTOS DE LA CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA. (FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO)	17
TABLA 2. ENSAYOS DE LABORATORIO. (FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO)	18
TABLA 3. RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO 1. (FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO)	18
TABLA 4. RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO 2. (FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO)	18
TABLA 5. DISTRIBUCIÓN DE LOS NIVELES GEOTÉCNICOS. (FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO)	19
TABLA 6. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS UNIDAD 0: RELLENOS. (FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO)	20
TABLA 7. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS UNIDAD 1 Y UNIDAD 2B: COLUVIAL E INTERCALACIONES LIMOARCILLOSAS DE LA CALIZA LACUSTRE. (FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO)	21
TABLA 8. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS UNIDAD 2A: CALIZAS LACUSTRES Y CONGLOMERADOS. (FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO)	21
TABLA 9. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS UNIDAD 3: MARGAS. (FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO)	21
TABLA 10. OBSERVACIONES DE LA PROFUNDIDAD DEL NF EN LOS SONDEOS. (FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO)	22
TABLA 11. BASES TOPOGRÁFICAS. (FUENTE: TOPOGRAFÍA Y CARTOGRAFÍA)	24

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. EXTRACTO DE LA HOJA Nº872. ALICANTE DE LA SERIE MAGNA. ESCALA 1:50 000. (FUENTE: IGME)	16
FIGURA 2. EXTRACTO DE LA HOJA Nº73. ALICANTE. MAPA GEOTÉCNICO GENERAL. ESCALA 1:200 000. (FUENTE: IGME)	17
FIGURA 3. MAPA DE PELIGROSIDAD SÍSMICA DE ESPAÑA. (FUENTE: IGME)	17
FIGURA 4. LOCALIZACIÓN DE LAS PROSPECCIONES GEOTÉCNICAS. (FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO)	17
FIGURA 5. SONDEO PIP 1. (FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO)	20
FIGURA 6. TABLA 3.5. CLASES DE RECONOCIMIENTO DE LA GCOC (FUENTE: GCOC)	22
FIGURA 7. LOCALIZACIÓN DE LAS PROSPECCIONES GEOTÉCNICAS DE CAMPAÑAS ANTERIORES. (FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO)	23
FIGURA 8. SONDEO S.02 DE CAMPAÑAS ANTERIORES. (FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO)	23
FIGURA 9. SONDEO S.03 DE CAMPAÑAS ANTERIORES. (FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO)	23
FIGURA 10. SONDEOS SRV.5 Y SRV.10 DE CAMPAÑAS ANTERIORES. (FUENTE: INFORME GEOTÉCNICO)	24



# 1 INTRODUCCIÓN

La tarea previa a cualquier trabajo de diseño de infraestructura civil consiste en buscar y analizar toda la información y proyectos que se hayan desarrollado en el entorno de esta.

En este apartado se expondrá la información de partida de la que se dispone y los estudios previos realizados en el entorno del túnel ferroviario que se pretende diseñar.

## 2 RECONOCIMIENTO FOTOGRÁFICO

El objetivo principal de este apartado es el reconocimiento del estado actual del emplazamiento donde se ejecutarán las obras que engloban este estudio.

Para ello, se presenta en primer lugar una imagen con la localización y orientación de todas las fotografías que se han recopilado y se expondrán más abajo

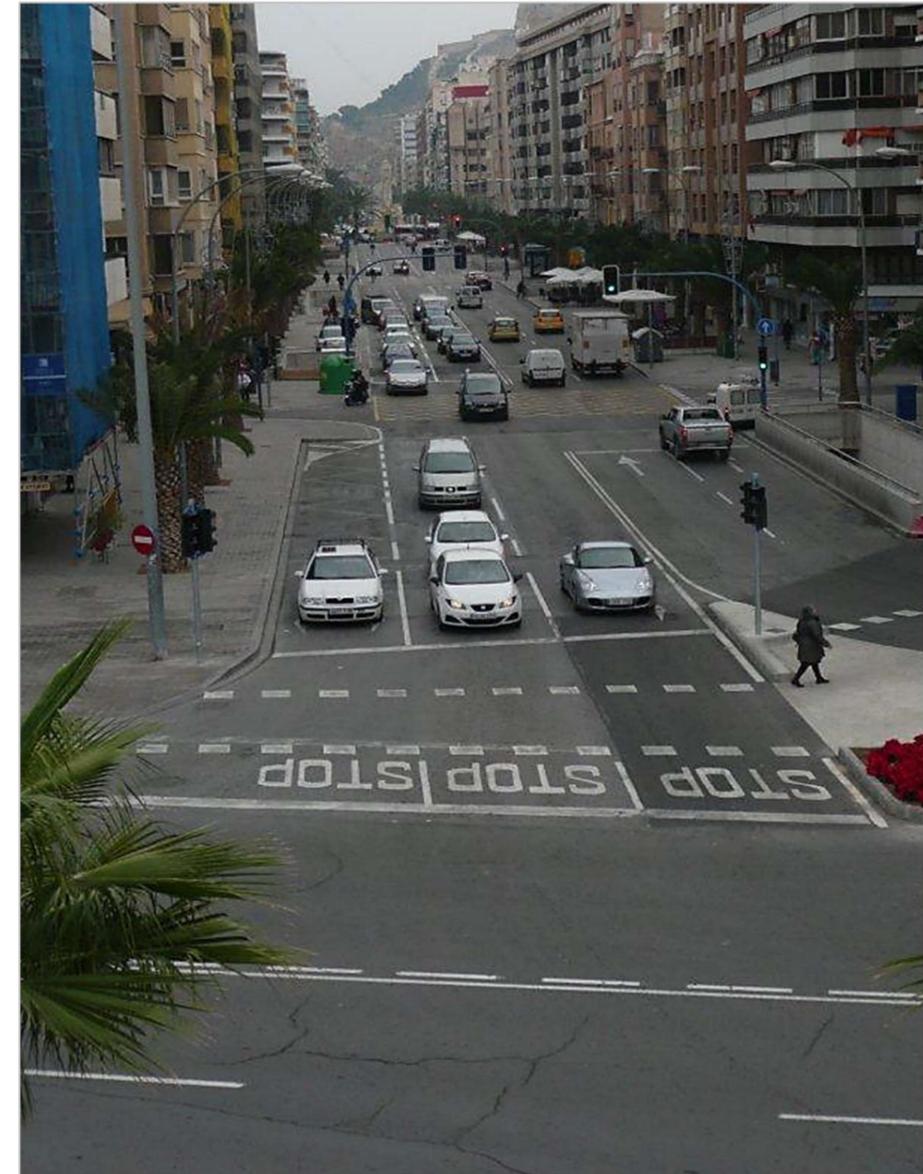


Fotografía 1. Vista aérea de la Estación de ADIF y el cruce Av. De la Estación – Av. Salamanca (Fuente: Google Earth)

## 2.1 Recopilación fotográfica



Fotografía 2. Al fondo estación de ADIF y la avenida de la Estación. (Fuente: FGV)



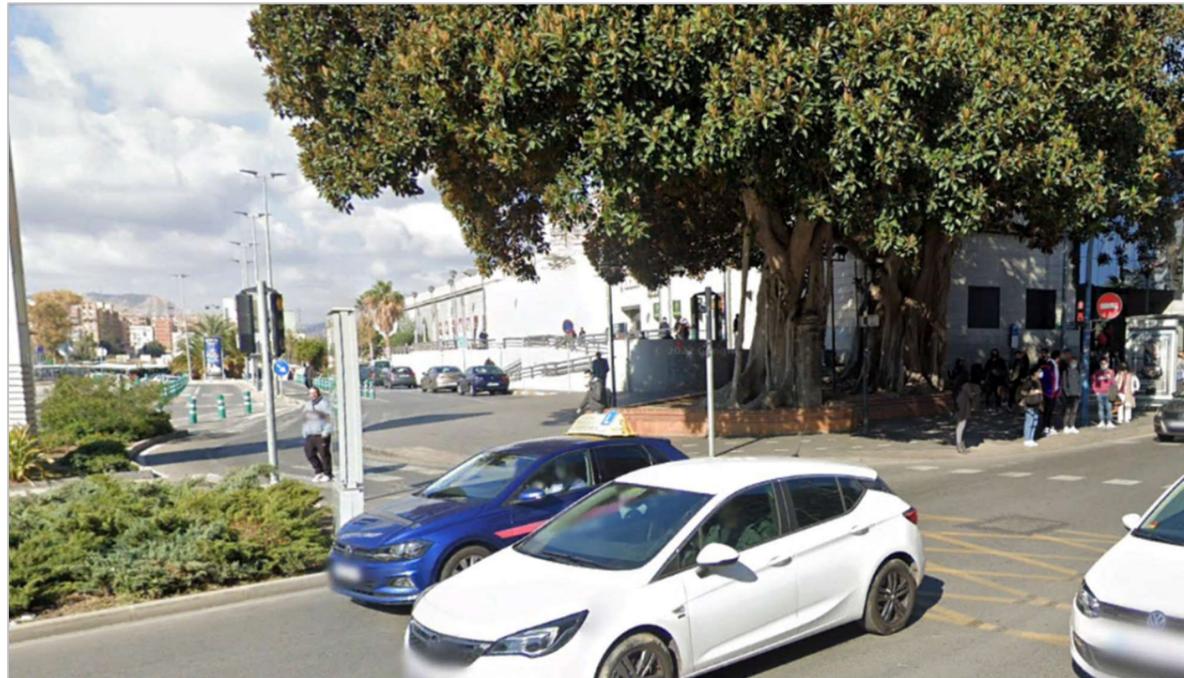
Fotografía 3. Final de la avenida de la estación vista desde la Estación de ADIF. (Fuente: FGV)



Fotografía 4. Estación de ADIF. (Fuente: Google Earth)



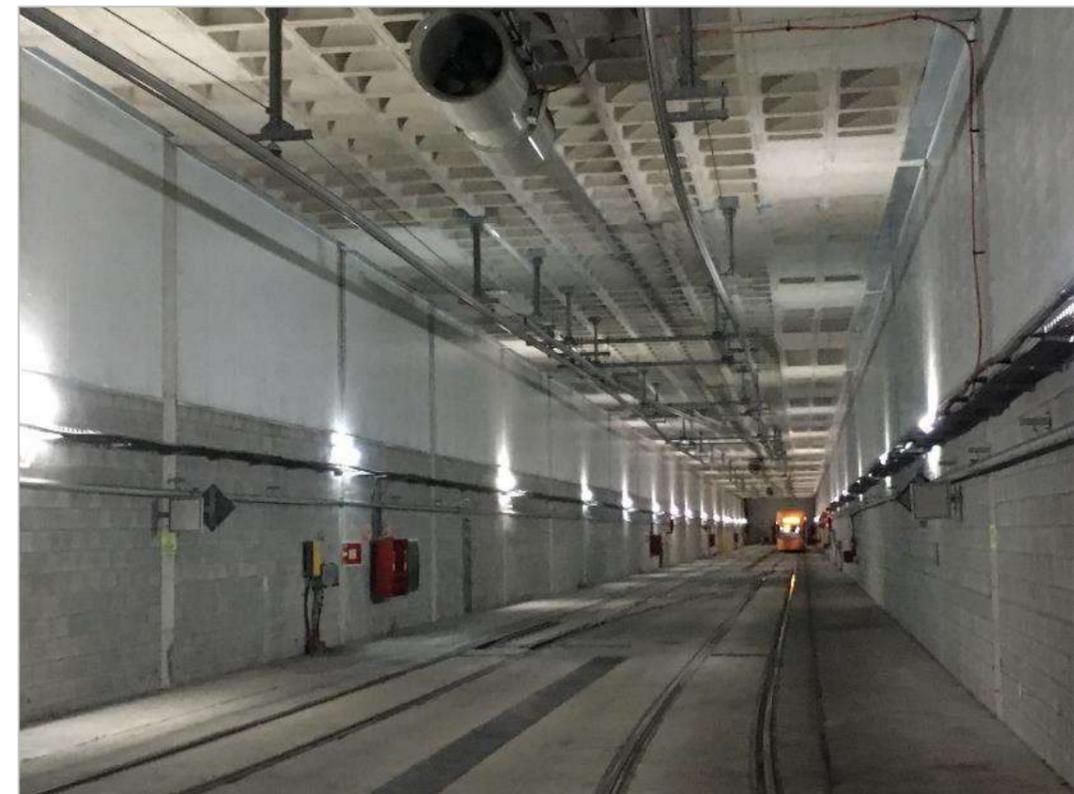
Fotografía 5. Cruce Av. De la Estación – Av. Salamanca (Fuente: Google Earth)



Fotografía 6. Ubicación de la futura estación intermodal. (Fuente: Google Earth)



Fotografía 7. Estación de ADIF. Cruce de Av. Estación Cruce con Av. Salamanca-Rejillas ventilación final de culatón de maniobras. (Fuente: FGV)



Fotografía 8. Final del túnel existente. Culatón de maniobras de la estación de Luceros FGV. (Fuente: FGV)



## 3 DOCUMENTACIÓN INICIAL

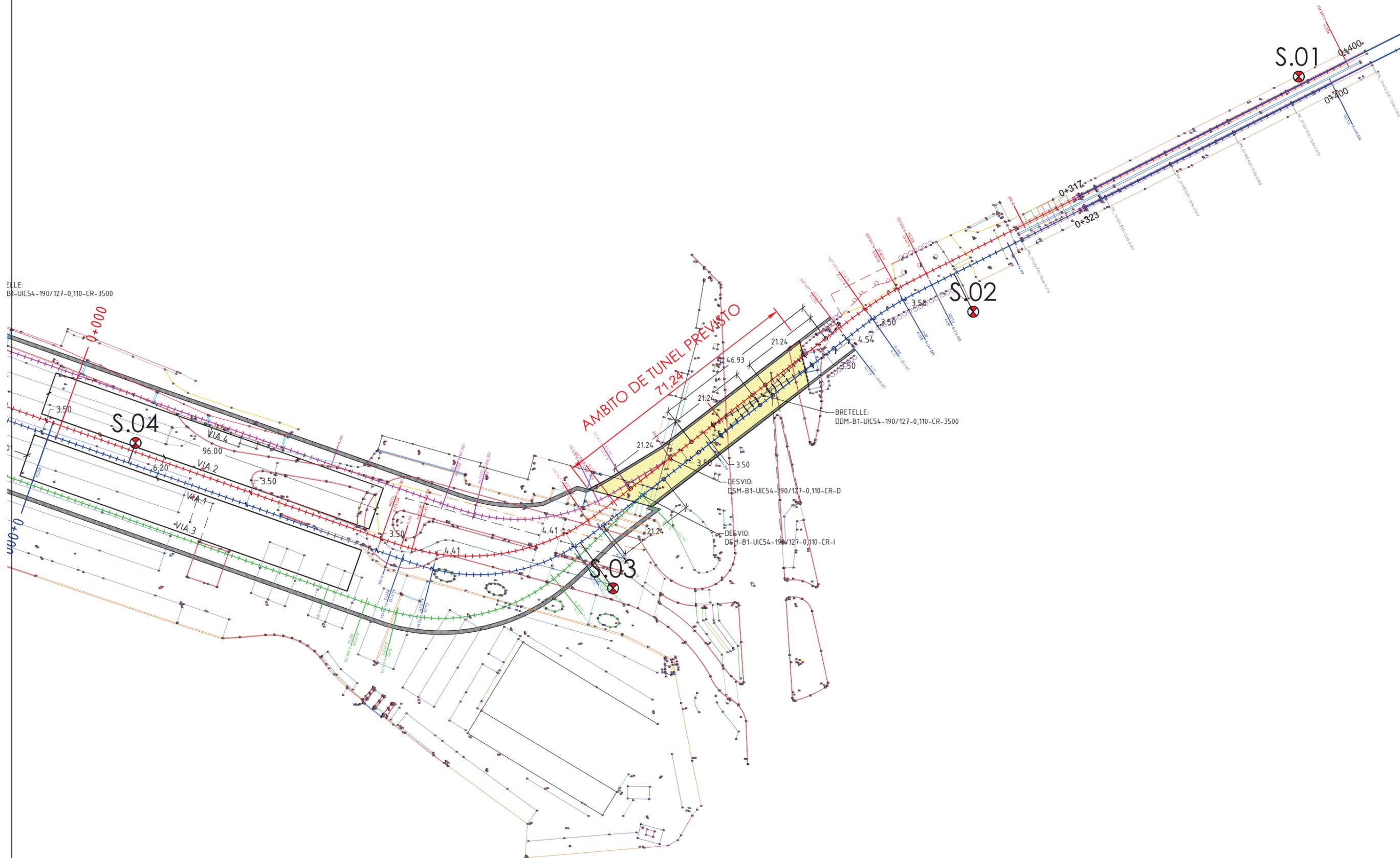
---

Se incluye en este apartado el plano de planta general como plano base de información para el diseño de tramo que se pretende realizar.

Este se muestra a continuación.



ELLE:  
B1-UIC54-190/127-0,110-CR-3500



 	U.T.E.:  	AUTORES DEL PROYECTO:  D. EDUARDO LUENGO FERNÁNDEZ  D. ANTONIO J. MARCO AVENDAÑO	DIRECTORA DEL CONTRATO:  D. JUAN ANTONIO GARCÍA CEREZO	ESCALA A3: 1/1000	PROYECTO: PROYECTO BÁSICO DE CONSTRUCCIÓN DEL TRAMO AVENIDA DE SALAMANCA-ESTACIÓN INTERMODAL DE LA RED TRAM DE ALICANTE.	EXPEDIENTE: 19-117-L1	TÍTULO DEL PLANO: TÚNEL PLANTA	Nº DE PLANO: 04.01
						FECHA: NOV-2021		

## 4 ESTUDIOS Y PROYECTOS PREVIOS

Los proyectos previos que se conocen en la zona en la que se proyecta el nuevo tramo de túnel son dos:

- Tramo 1. Primera fase de la Red Tranviaria de Alicante, tramo Luceros – Mercado.
- Tramo 0B. Línea 1 del Tranvía de Alicante y del parking de la Avenida de la Estación.

### 4.1 Tramo 1. Primera fase de la Red Tranviaria de Alicante, tramo Luceros – Mercado.

Este proyecto engloba la construcción del tramo Luceros-Mercado Central, además de la estación de Luceros, que de forma temporal funcionaria como término de línea.

#### 4.1.1 Túnel. Tramo Estación de Luceros-Estación del Mercado Central

Tiene una longitud total de 503.70 ml. El túnel es en bóveda, constituida por una semicircunferencia superior de 3.95 metros de radio, hastiales de 2.95 metros de altura y una contrabóveda inferior que completa la sección. Al final de este punto se muestran los planos de planta general, perfil longitudinal y sección transversal de este tramo.

Previamente al inicio de las obras se llevó a cabo una campaña geotécnica adicional para tener una mayor precisión en los datos geológicos y geotécnicos, tanto para la construcción de los túneles, como para la ejecución de la estación de Luceros.

El sistema constructivo empleado es el Nuevo Método Austríaco (N.AT.M.) y para los sistemas de sostenimiento se emplearon los métodos de curvas características obtenidos tanto a partir de distintas formulaciones como según modelos de elementos finitos (programa PLAXIS).

En función del método de las curvas características se definieron dos tipos de sostenimiento:

- Sostenimiento tipo 1:
  - Sellado con 5cm de gunita con fibras en 3 capas.
  - Revestimiento de hormigón de 50cm de espesor.
  - Inyección de estabilización y contacto.
- Sostenimiento tipo 2:
  - Paraguas de micropilotes  $\phi 120$  espaciados 0.40 m, y de 12 ml, con solapes de 2 m.
  - Cerchas HEB180 cada 0.60 metros.
  - 30 cm de gunita.
  - Hormigón bombeado de espesor 0.30-1.00 m en sección troncocónica.

Durante el avance de la obra y con los resultados obtenidos de la auscultación, para garantizar el frente de excavación hubo que reforzar ambos tipos de sostenimiento.

#### 4.1.2 Estación de Luceros

La estación de Luceros se sitúa en un punto significativo de la ciudad de Alicante, bajo la plaza que lleva el mismo nombre y que supone la intersección de dos grandes vías de comunicación, la Avenida de la Estación y la Avenida Alfonso X el Sabio.

Dispone de cuatro accesos, uno desde cada calle que configura la plaza (Avenida de la Estación, Avenida Alfonso X el Sabio, Paso Federico Soto y General Marvá) y un quinto acceso situado en la misma zona ajardinada central.

La estructura espacial de la estación se compone de:

- Primer nivel: ocupado por el vestíbulo y que se encuentra a unos 7 metros de profundidad con respecto a la superficie. En este confluyen todos los accesos descritos anteriormente.

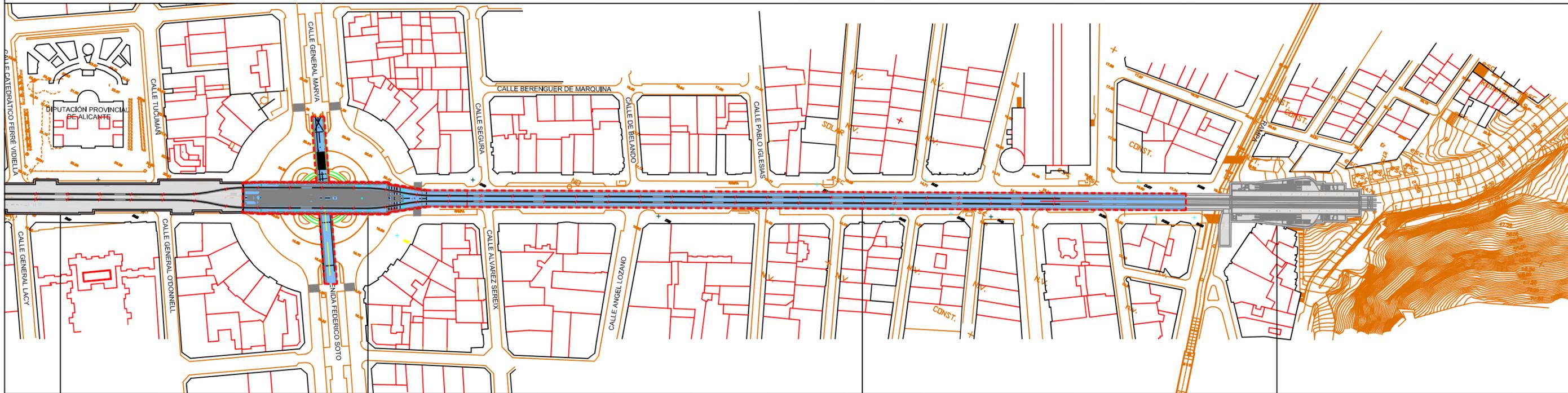
- Segundo nivel: alberga los andenes. Es un nivel más profundo, que acoge el paso de los tranvías y la circulación de los pasajeros en un andén único que se encuentra a una profundidad de 17 metros bajo la superficie.
- Niveles intermedios y cuartos técnicos: en ambos extremos de la estación se sitúan diferentes niveles de cuartos técnicos, destinados fundamentalmente a albergar las instalaciones de ventilación de la estación.

La localización de la estación bajo el centro de la plaza de Luceros ha requerido la consideración de unas cargas singulares, tales como la fuente del mismo nombre, de 375 toneladas, o las condiciones de carga de la cubierta de la estación, rebajada 1.40 metros para poder alojar las palmeras de la plaza.

Los elementos más importantes que definen la estructura de la Estación de los Luceros son las pantallas de pilotes que forman el recinto, la cubierta de la estación, que se ha proyectado mediante losa maciza apoyada sobre las propias pantallas en las zonas de huecos y jardineras de gran relleno, y con tableros de vigas pretensadas en las zonas de calzadas de la plaza y especialmente en la zona que recibe la fuente de Luceros.

Al final de este punto se muestra un plano de sección longitudinal de la Estación de Luceros.

### 4.2 Planos de información del Tramo 1

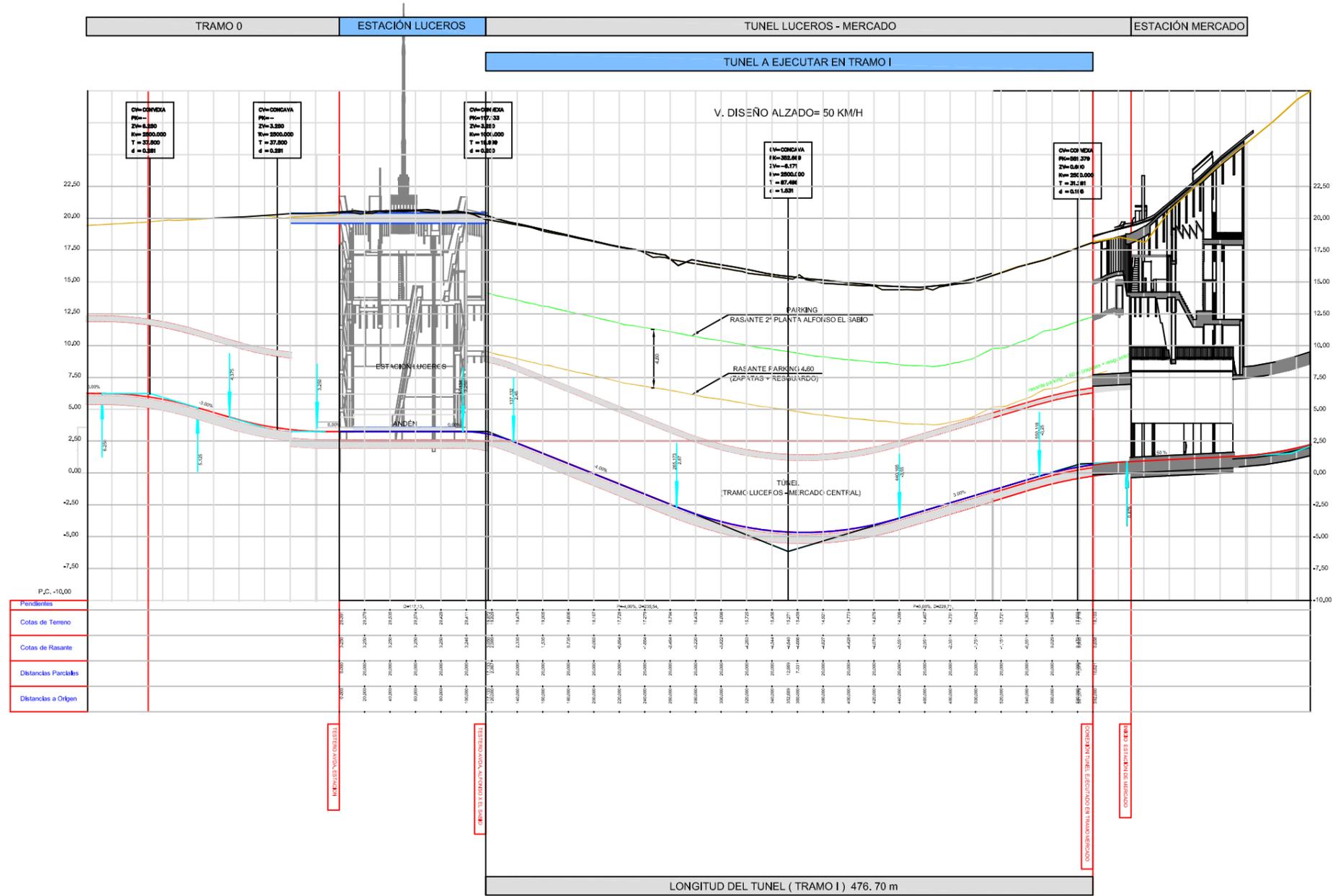


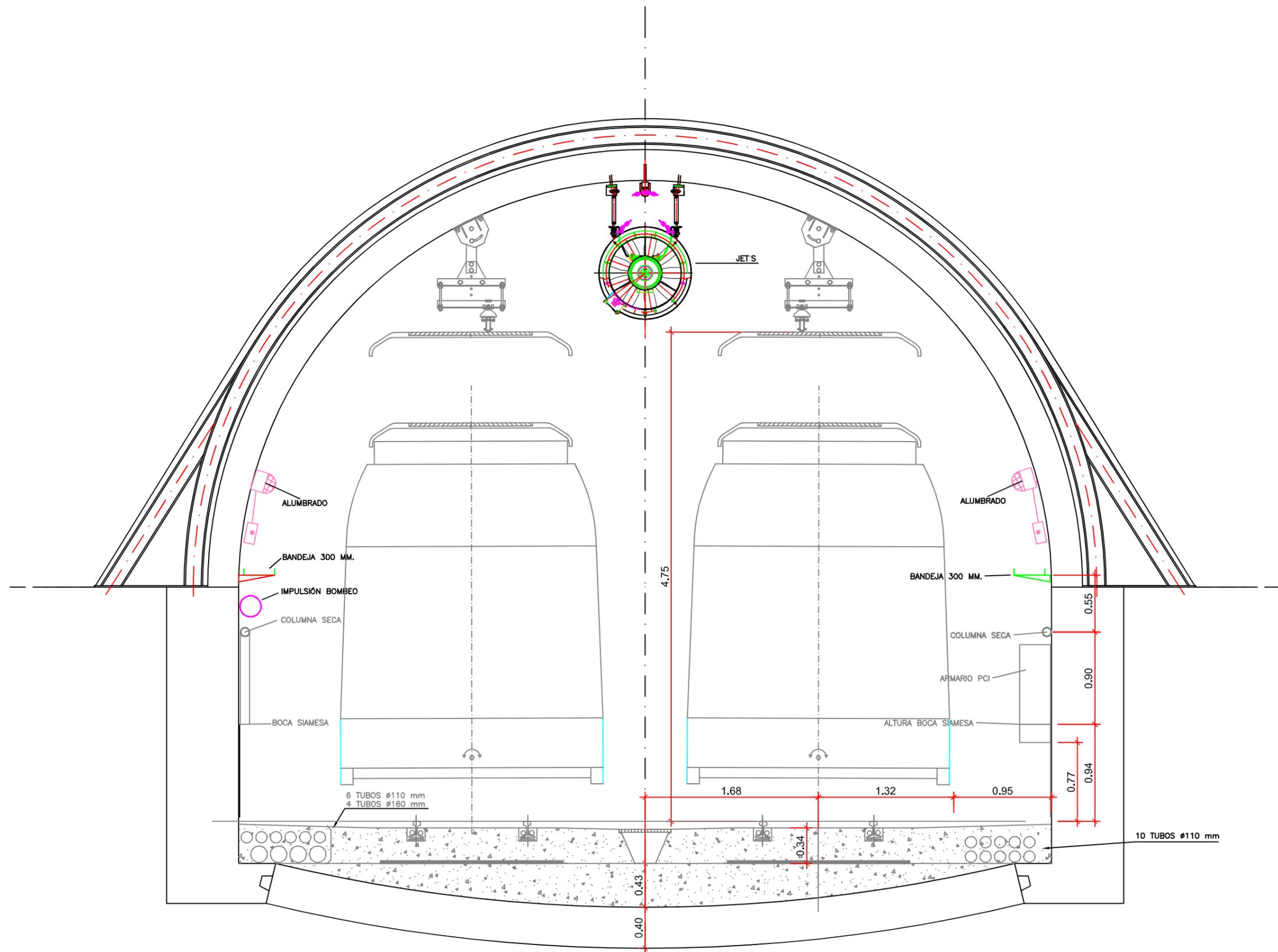
TRAMO 0

ESTACION DE LUCEROS

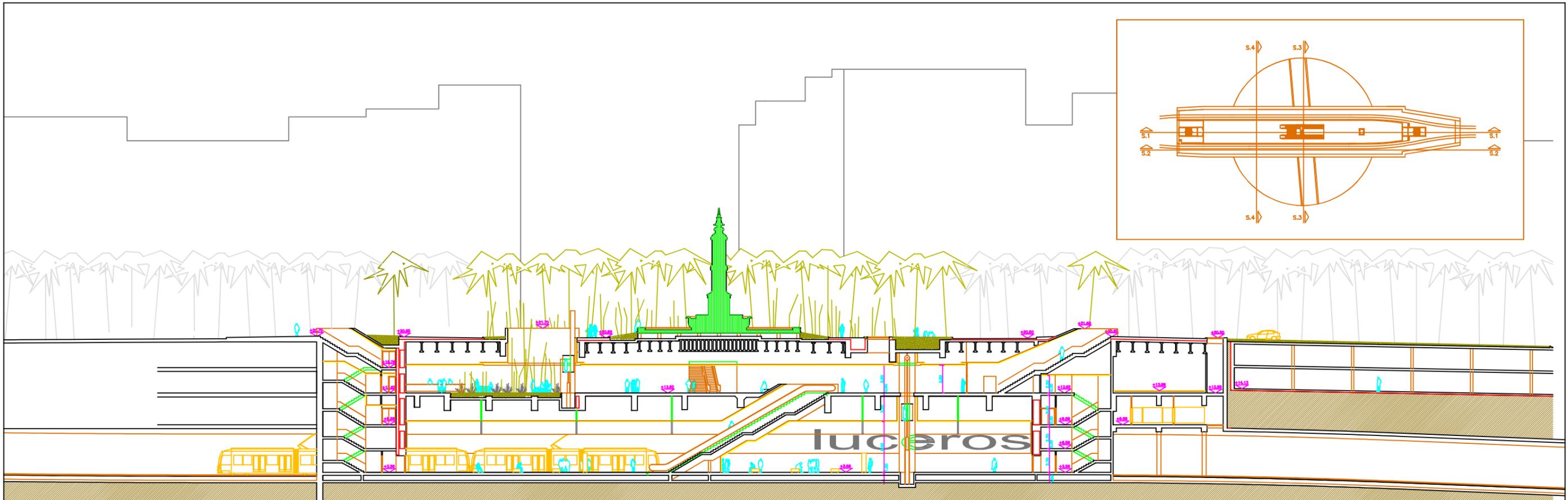
TUNEL LUCEROS - MERCADO

ESTACION DE MERCADO

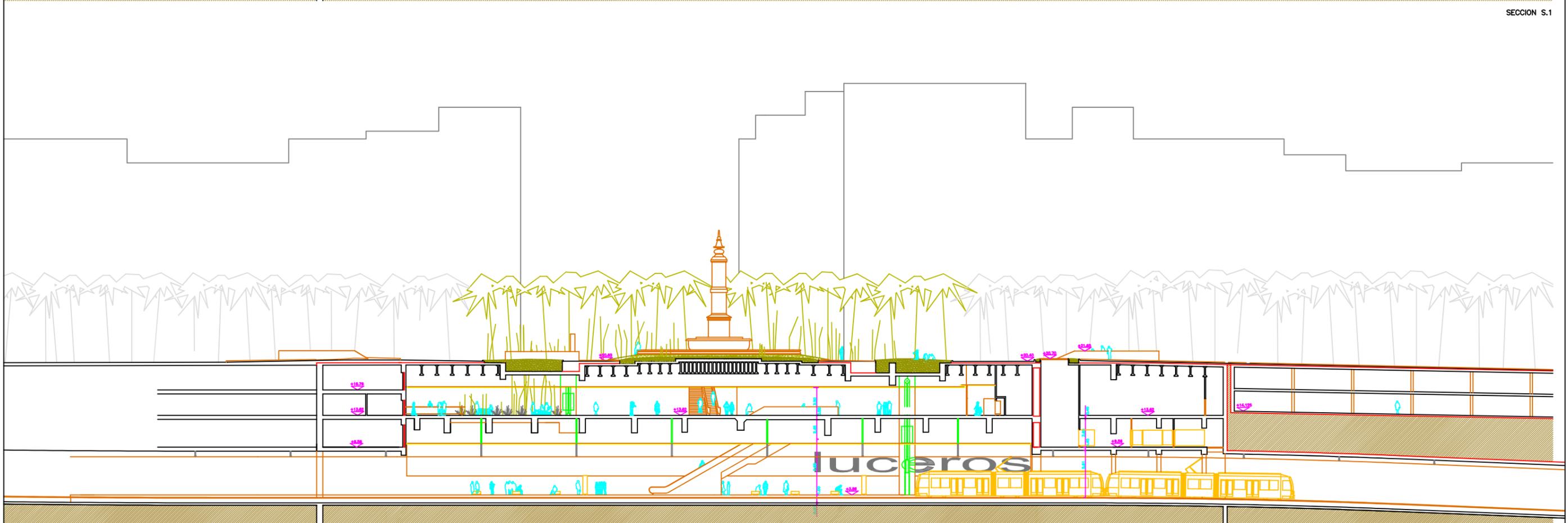




\* SUPERESTRUCTURA DE VIA, CATENARÍA Y PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS NO SON OBJETO DEL PRESENTE PROYECTO



SECCION S.1



SECCION S.2

<p><b>GENERALITAT VALENCIANA</b> CONSELLERIA D'INFRAESTRUCTURES I TRANSPORT</p> <p>ENTE GESTOR DE LA RED DE TRANSPORTE Y DE PUERTOS DE LA GENERALITAT</p>	<p>DIRECCIÓN DE OBRA:</p> <p><b>INITEC</b> INFRAESTRUCTURAS</p>	<p>DIRECTOR DE OBRA:</p> <p>D. EDUARDO LUENGO F.</p>	<p>EMPRESA CONSTRUCTORA:</p> <p><b>FCC</b> CONSTRUCCION, S.A.</p>	<p>ESCALA ORIGINAL A3:</p> <p>1:500</p>	<p>TÍTULO DEL PROYECTO</p> <p>PLANOS FIN DE OBRA PRIMERA FASE DE LA RED TRANVIARIA DE ALICANTE TRAMO: LUCEROS – MERCADO CENTRAL</p>	<p>CLAVE</p> <p>E07/09 SCIT</p>	<p>TÍTULO DEL PLANO</p> <p>ESTACIÓN LUCEROS SECCIONES LONGITUDINALES</p>	<p>Nº DE PLANO</p> <p>02.06.04.01</p>
						<p>FECHA</p> <p>JUNIO-2011</p>		

### **4.3 Tramo 0B. Línea 1 del Tranvía de Alicante y del parking de la Avenida de la Estación.**

Este proyecto comprende la ejecución del Tramo 0B que se encuentra bajo la misma Avenida de la Estación, entre la Estación de Luceros y el cruce con la Avenida Salamanca.

El trazado en planta se hace coincidir con el eje del estacionamiento proyectado sobre el cajón tranviario, que también coincide con el eje de la misma Avenida de la Estación.

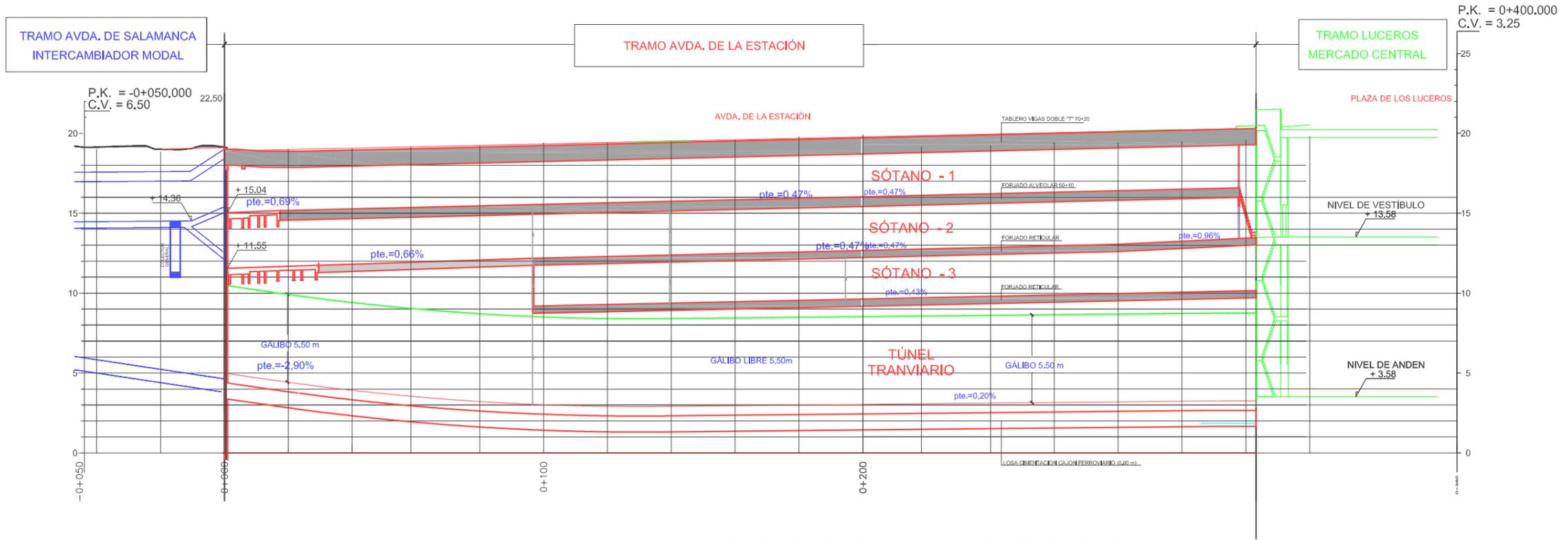
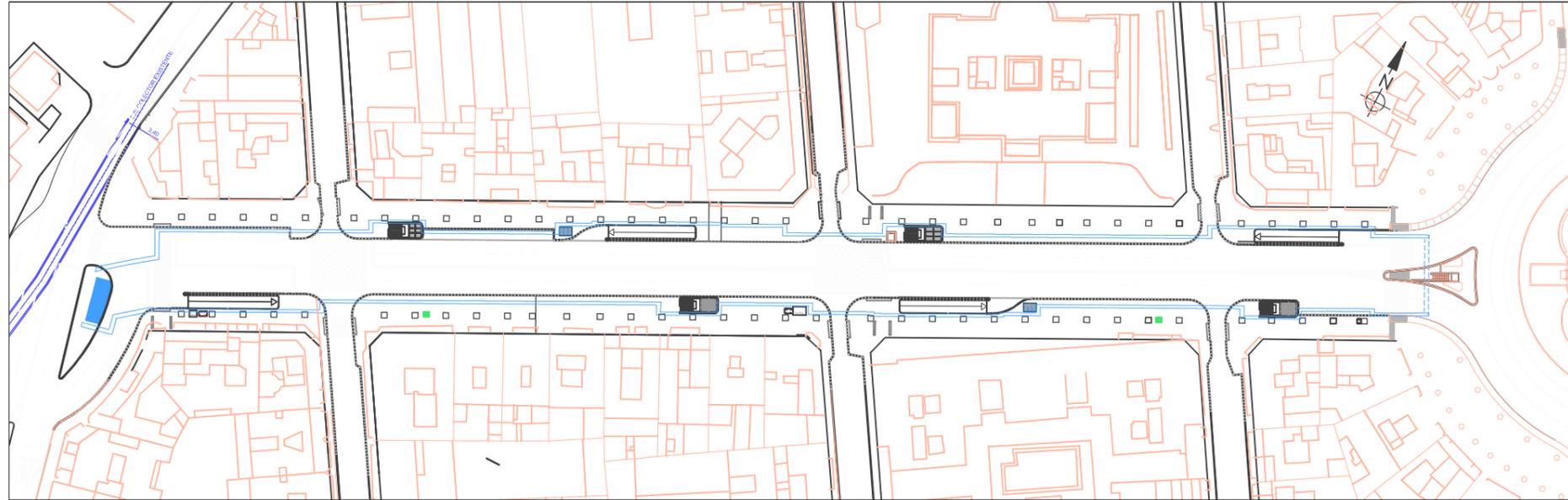
En cuanto al trazado en alzado, el estacionamiento sigue fielmente la rasante de la avenida de La Estación, mientras que el cajón tranviario debe respetar la cota del colector general que discurre bajo la avenida de Salamanca, ya en el siguiente tramo anteriormente citado.

Para la plataforma tranviaria de vía doble, se ha dispuesto un entreeje de 3.5 metros en recta, 3.7 m en curva, y una distancia a paramentos desde las vías exteriores de 2.6 m, por lo que el ancho total libre del soterramiento resulta de 8.7 m en recta y 8.9 m en curva. El gálibo vertical mínimo a losa superior previsto desde cota de carril es de 5.5 metros. Se han dejado paseos laterales de ancho 1.1 m, de los cuales, 0.8 m son para la canaleta de instalaciones.

El estacionamiento cuenta con un total de 3 plantas. Su estructura está formada por pantallas de pilotes de diámetro 1 metro perimetralmente separados entre ejes una distancia variable, que oscila entre los 1.13 y 1.53 metros.

Los planos de planta general y secciones transversales se muestran al final de este capítulo.

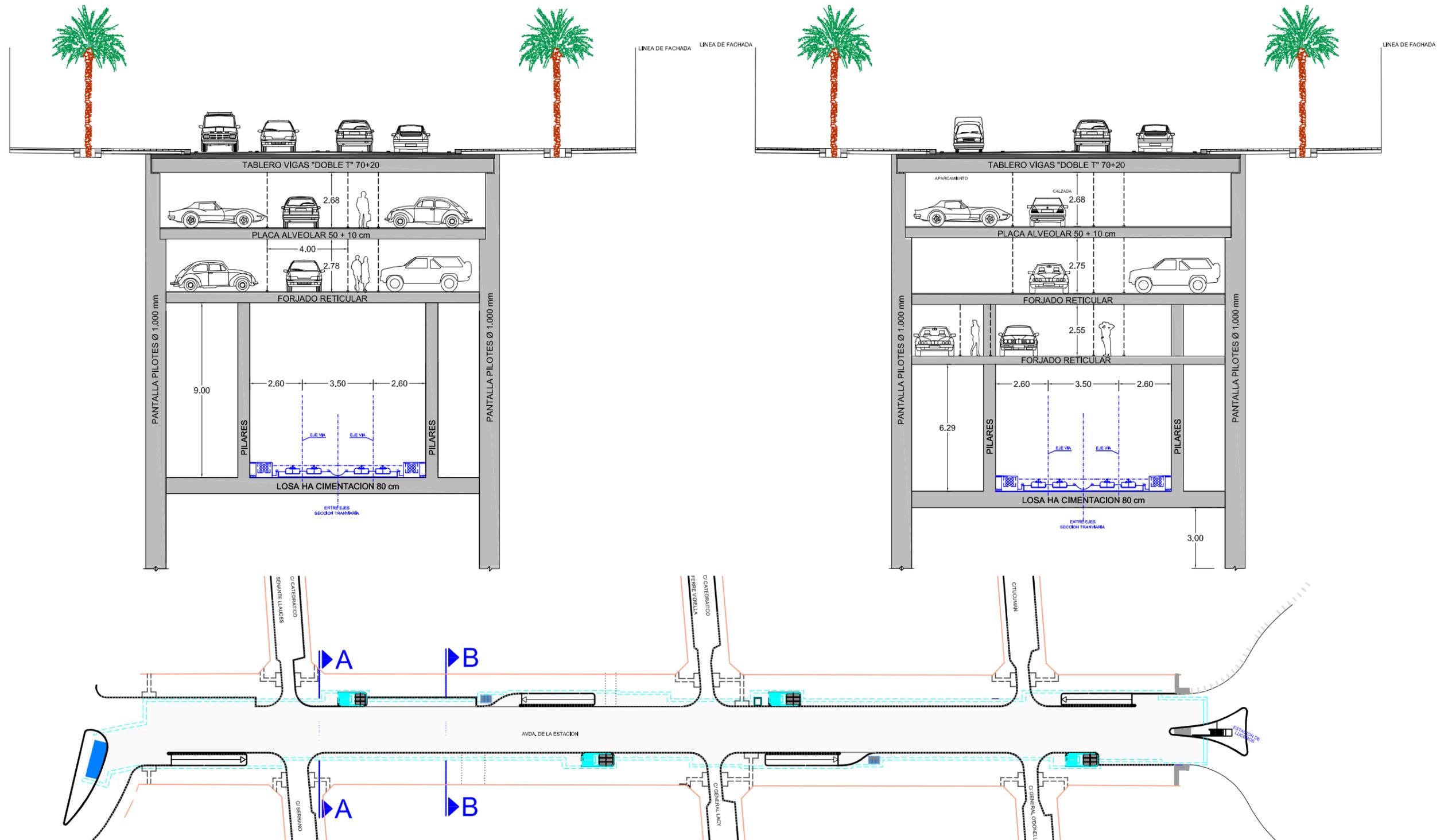
### **4.4 Planos de información del Tramo 0B**



COTAS DE RASANTE VÍA	0,000	18,767	5,011	10,000	18,814	4,721	20,000	18,862	4,434	30,000	18,909	4,170	40,000	18,957	3,939	50,000	19,004	3,716	60,000	19,051	3,526	70,000	19,099	3,362	80,000	19,146	3,222	90,000	19,193	3,108	100,000	19,241	3,018	110,000	19,288	2,954	120,000	19,336	2,914	130,000	19,383	2,900	140,000	19,430	2,910	150,000	19,478	2,930	160,000	19,525	2,950	170,000	19,572	2,970	180,000	19,620	2,990	190,000	19,667	3,010	200,000	19,715	3,030	210,000	19,762	3,050	220,000	19,809	3,070	230,000	19,857	3,090	240,000	19,904	3,110	250,000	19,951	3,130	260,000	19,999	3,150	270,000	20,046	3,170	280,000	20,094	3,190	290,000	20,141	3,210	300,000	20,188	3,230	310,000	20,236	3,248	320,000	20,283	3,250	323,166	20,288	3,250
COTAS DE TERRENO	0,000	18,767	5,011	10,000	18,814	4,721	20,000	18,862	4,434	30,000	18,909	4,170	40,000	18,957	3,939	50,000	19,004	3,716	60,000	19,051	3,526	70,000	19,099	3,362	80,000	19,146	3,222	90,000	19,193	3,108	100,000	19,241	3,018	110,000	19,288	2,954	120,000	19,336	2,914	130,000	19,383	2,900	140,000	19,430	2,910	150,000	19,478	2,930	160,000	19,525	2,950	170,000	19,572	2,970	180,000	19,620	2,990	190,000	19,667	3,010	200,000	19,715	3,030	210,000	19,762	3,050	220,000	19,809	3,070	230,000	19,857	3,090	240,000	19,904	3,110	250,000	19,951	3,130	260,000	19,999	3,150	270,000	20,046	3,170	280,000	20,094	3,190	290,000	20,141	3,210	300,000	20,188	3,230	310,000	20,236	3,248	320,000	20,283	3,250	323,166	20,288	3,250
DISTANCIAS A ORIGEN	0,000	18,767	5,011	10,000	18,814	4,721	20,000	18,862	4,434	30,000	18,909	4,170	40,000	18,957	3,939	50,000	19,004	3,716	60,000	19,051	3,526	70,000	19,099	3,362	80,000	19,146	3,222	90,000	19,193	3,108	100,000	19,241	3,018	110,000	19,288	2,954	120,000	19,336	2,914	130,000	19,383	2,900	140,000	19,430	2,910	150,000	19,478	2,930	160,000	19,525	2,950	170,000	19,572	2,970	180,000	19,620	2,990	190,000	19,667	3,010	200,000	19,715	3,030	210,000	19,762	3,050	220,000	19,809	3,070	230,000	19,857	3,090	240,000	19,904	3,110	250,000	19,951	3,130	260,000	19,999	3,150	270,000	20,046	3,170	280,000	20,094	3,190	290,000	20,141	3,210	300,000	20,188	3,230	310,000	20,236	3,248	320,000	20,283	3,250	323,166	20,288	3,250
DIAGRAMA DE CURVATURA	RECTA L=0,697																																	R=200,000 L=36,525			RECTA L=265,766																																																																	

SECCION TIPO A - A' ( P.K. 080+00 )

SECCION TIPO B - B' ( P.K. 100+00 )



# 5 ESTUDIOS PREVIOS

En este apartado se analizarán los estudios previos relacionados con las condiciones del terreno realizados en el entorno del túnel ferroviario que se pretende diseñar.

La principal finalidad será realizar un análisis de la información disponible y determinar si toda ella resulta suficiente o si deberían realizarse nuevas campañas para completar y verificar esa información.

## 5.1 Geología y geotecnia

Para analizar el encuadre geológico y geotécnico de la obra se dispone de varios estudios realizados en el mismo entorno del tramo que se pretende diseñar.

- Informe geotécnico para el Proyecto de Diseño del Tramo Avenida de Salamanca – Estación Intermodal de Alicante.
- Estudio geotécnico del Proyecto 1ª Fase de la Red Tranviaria de Alicante. 2005.
- Estudio geotécnico del Proyecto de desdoblamiento del colector general de Alicante. 1998.

El primero de ellos es el más actual y el que se ha realizado expresamente para diseñar el Tramo 0A de la línea 1 del TRAM de Alicante.

### 5.1.1 Encuadre geológico y geotécnico

Analizando el Mapa geológico de España. Escala 1:50 000. Hoja N°872. Alicante del IGME y la memoria asociada a esta misma hoja, los materiales presentes bajo la ciudad de Alicante pertenecen al cuaternario holoceno indiferenciados, que se corresponden con aquellos más recientes, fundamentalmente materiales de origen coluvial y aluviones próximos a los arroyos jóvenes. [1]

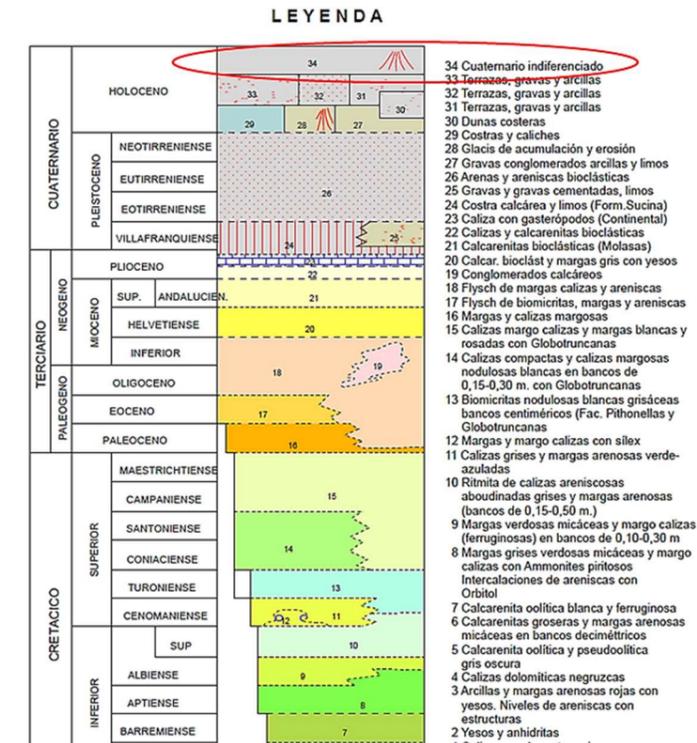
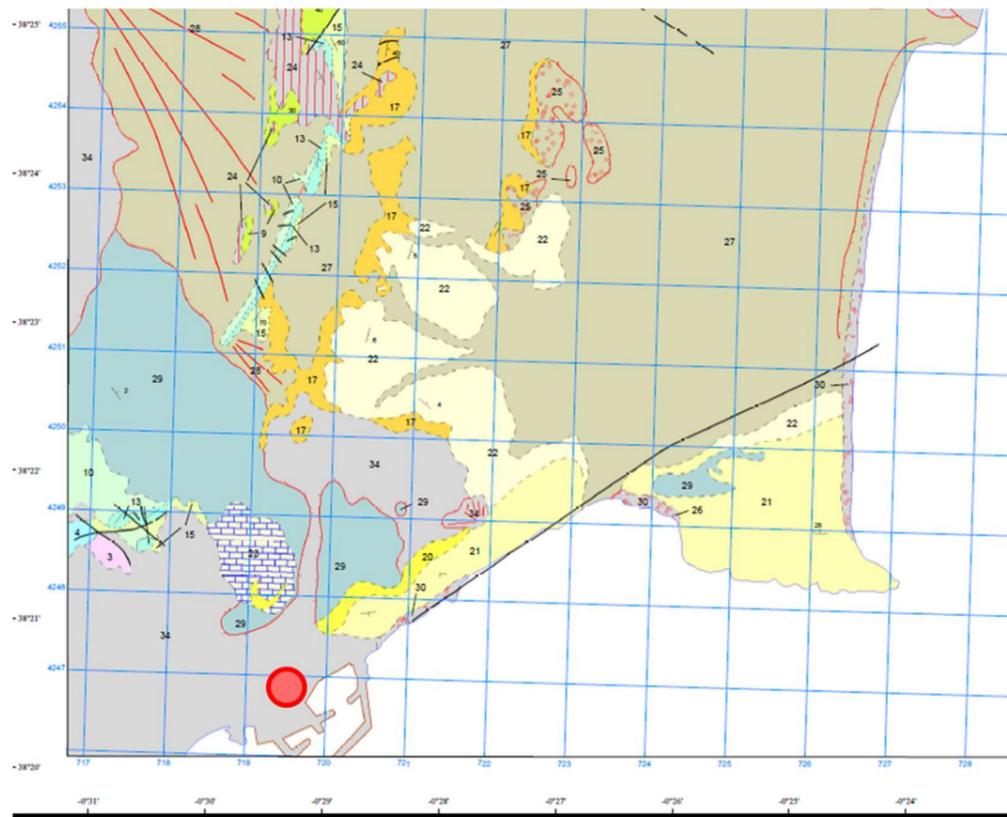


Figura 1. Extracto de la Hoja N°872. Alicante de la serie Magna. Escala 1:50 000. (Fuente: IGME)

Estos materiales del cuaternario se sitúan sobre otros del plioceno (calizas lacustres y calcarenitas bioclásticas), miocenos (margas y calcarenitas bioclásticas) y/o cretácicos (margas, calizas y margocalizas). [1]

Desde el punto de vista del marco tectónico regional, Alicante se encuentra en la parte oriental de las zonas externas de las Cordilleras Béticas incluidas en un dominio geológico que por sus características estratigráficas y estructurales se ha denominado Prebético de Alicante. [1]

Respecto al encuadre geotécnico, analizamos el Mapa geotécnico general de España. Escala 1:200 000. Hoja 73, Alicante.

En este mapa se califica a la zona en estudio como “Zona montañosa rocosa. Predominio de materiales paleógenos. Dirección Bética NE – SW”. La considera con condiciones favorables para construir e indica que puede presentar problemas de tipo litológico. [2]

CRITERIOS DE CLASIFICACION							
CONDICIONES CONSTRUCTIVAS	PROBLEMAS “TIPO” EXISTENTES	CONCURRENCIA DE 2 PROBLEMAS “TIPO”		CONCURRENCIA DE 3 PROBLEMAS “TIPO”			
Muy Favorables.	Litológicos.	Litológicos y Geomorfológicos.	Geomorfológicos y Geotécnicos.	Litológicos, Geomorfológicos e Hidrológicos.	Litológicos, Geomorfológicos y Geotécnicos (p.d.).		
Favorables.	Geomorfológicos.	Litológicos e Hidrológicos.	Geomorfológicos y Geotécnicos.	Litológicos, Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.).	Litológicos, Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.).		
Aceptables.	Hidrológicos.	Litológicos y Geotécnicos (p.d.).	Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.).	Litológicos, Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.).	Litológicos, Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.).		
Desfavorables.	Geotécnicos (p.d.).	Litológicos y Geotécnicos (p.d.).	Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.).	Litológicos, Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.).	Litológicos, Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.).		
Muy Desfavorables.							

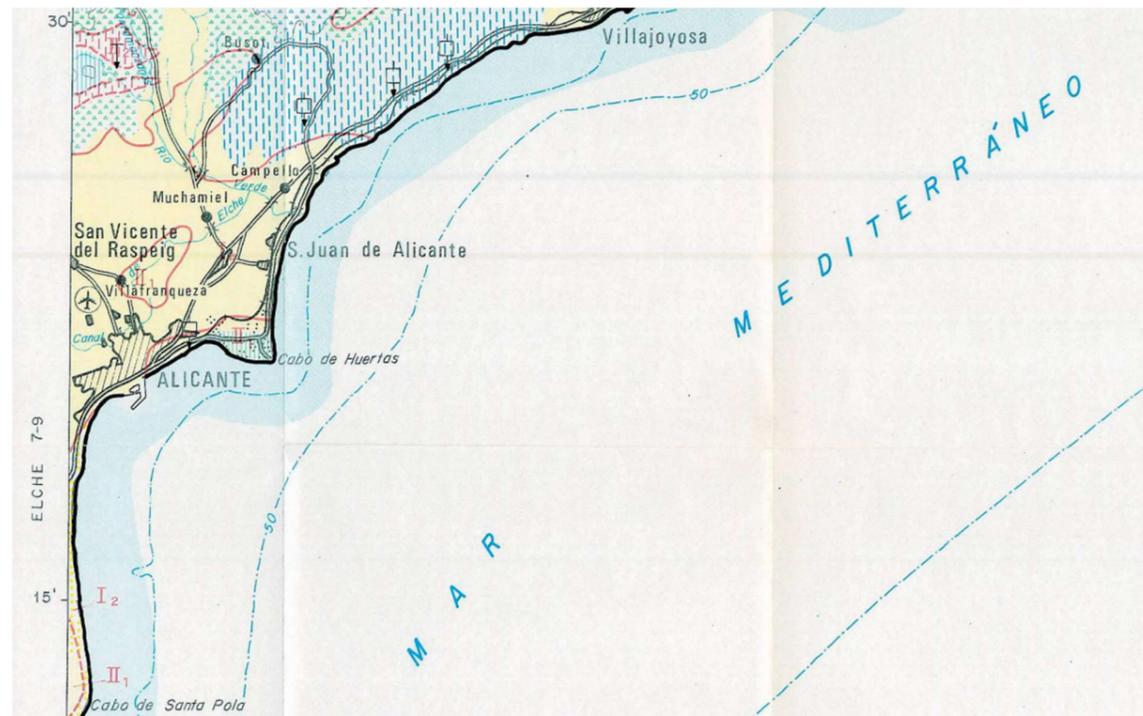


Figura 2. Extracto de la Hoja Nº73. Alicante. Mapa geotécnico general. Escala 1:200 000. (Fuente: IGME)

Finalmente, es necesario considerar también la sismicidad de la zona. Observando el Mapa de peligrosidad sísmica de España en términos de intensidad, podemos ver como la ciudad de Alicante se encuentra en una zona de intensidad VII.



Figura 3. Mapa de peligrosidad sísmica de España. (Fuente: IGME)

## 5.1.2 Reconocimientos y ensayos

La campaña geotécnica a la que se refiere este apartado fue realizada por la empresa IMASALAB.

### 5.1.2.1 Trabajos de campo

Para el reconocimiento de la zona en la que se proyecta el tramo de túnel se han realizado 5 sondeos mecánicos, con modelo de rotación y recuperación continua de testigo. Durante el avance de las perforaciones se han realizado 27 ensayos de penetración estándar, toma de 8 muestras inalteradas y parafinado de 10 testigos in situ. [3].

Adicionalmente, se han realizado tres ensayos de penetración dinámica DPSH alcanzando todos ellos el rechazo.

Tabla 1. Puntos de la campaña de investigación geotécnica. (Fuente: Informe geotécnico)

<b>PIP 1</b>	PK: 0+290 - SONDEO - 38.64 m
<b>PIP 2</b>	PK: 0+360 - SONDEO - 27.25 m
<b>PIP 3</b>	PK: 0+400 - PENETRÓMETRO - 4.40 m
<b>PIP 4</b>	PK: 0+430 - SONDEO - 21.97 m
<b>PIP 5</b>	PK: 0+500 - SONDEO - 22.25 m
<b>PIP 6</b>	PK: 0+535 - PENETRÓMETRO - 6.60 m
<b>PIP 7</b>	PK: 0+630 (andén 3) - PENETRÓMETRO - 5.00 m

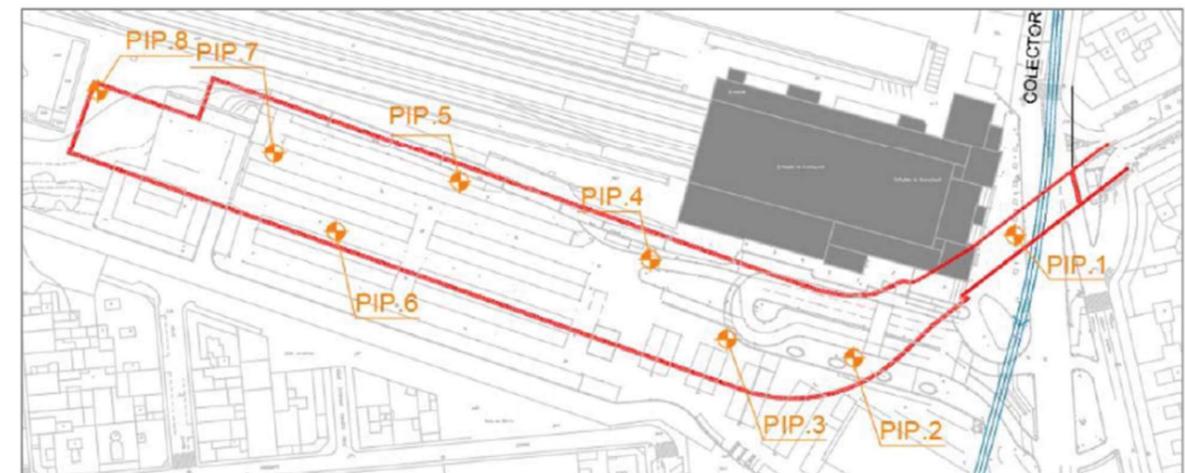


Figura 4. Localización de las prospecciones geotécnicas. (Fuente: Informe geotécnico)

En este punto cabe destacar, que de todas las prospecciones que se han realizado, únicamente se han de considerar los sondeos PIP.1 y PIP.2, ya que son los que se encuentran en la zona de afección del túnel que se pretende diseñar.

### 5.1.2.2 Ensayos de laboratorio

En el laboratorio se han llevado a cabo ensayos con el objetivo principal de caracterizar cada material encontrado en los sondeos y poder determinar qué tipo de obra es más adecuada.

En el siguiente cuadro se muestra un resumen del número y tipo de ensayos realizados.

Tabla 2. Ensayos de laboratorio. (Fuente: Informe geotécnico)

Unidades	Designación
6	Análisis granulométrico por tamizado (UNE 103101/95)
6	Análisis granulométrico por sedimentación (UNE 103102/95)
11	Determinación de los límites de Atterberg (UNE 103103/94 y 103104/93)
5	Determinación de la humedad natural (UNE 103300/93)
11	Determinación de la densidad aparente (UNE 103330/94)
9	Determinación de la resistencia a compresión simple (UNE 103400/93)
3	Triaxial CU con medida de presiones intersticiales (UNE 103402/98)
2	Corte directo CU (UNE 103401/98)
4	Compresión uniaxial (UNE 22950-1/96)
1	Ensayo de carga puntual (UNE 22950-5/96)
2	Determinación del contenido de sulfatos (UNE 83963/08)
1	Análisis químico del agua

	SPT	9.40-9.85	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Parafinada	9.85-10.10	-	-	-	460	-	-	-	-	-	-	-
	Inalterada	11.80-12.23	17.1	1.83	2.14	-	-	-	36.5	35	-	-	-
	SPT	14.00-14.45	18.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Inalterada	16.60-17.00	19.3	1.79	2.13	-	-	-	29	13	-	-	55
	SPT	19.60-19.88	17.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>PIP 5</b>	Testigo	5.20-5.60	-	-	-	-	-	-	-	-	8.3	-	-
	Parafinada	9.50-10.00	13.7	1.95	2.21	-	-	-	-	-	-	-	-
	Parafinada	14.30-14.70	21.5	1.64	2	22	-	-	-	-	-	-	10
	Parafinada	17.00-17.30	-	-	-	31	-	-	-	-	-	-	0
	Parafinada	20.60-21.00	-	-	-	942	-	-	-	-	-	-	-
<b>PIP 7</b>	Testigo	7.10-7.40	-	-	-	-	-	-	-	-	26.2	-	-
	Parafinada	14.20-14.60	-	-	-	754	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4. Resultados ensayos de laboratorio 2. (Fuente: Informe geotécnico)

SONDEO	MUESTRA	PROF.	G	S	L	CL	LL	Ip	SULF
<b>PIP 1</b>	Testigo	12.5-13.1	4.2	29.9	65.9		22.4	4.4	-
	Testigo	18.95-23.85	1.9	23.5	65.6		22.8	11	-
	Testigo	25.00-27.00	0	10	68	22	-	-	-
<b>PIP 2</b>	Testigo	11.30-11.70	0	18	48	34	30.2	16.8	-
	Testigo	17.30-17.70	0	23	51	6	25.1	11.8	-
	Testigo	24.00-25.00	0	3	67	30	36.1	18.6	-
<b>PIP 4</b>	Testigo	12.00-14.00	0	5.8	94.2		30.1	11.9	115
	Testigo	19.00-20.00	0	7.7	92.3		25.8	9.4	681
<b>PIP 5</b>	Testigo	8.50-11.30	0	10	68	32	32.9	14.2	-
	Testigo	11.30-13.00	0	2.5	67.5	30	32.1	14.8	-
<b>PIP 7</b>	Testigo	8.90-10.30	4.5	10.8	84.7		24.4	10.1	-
	Testigo	12.30-15.78	0	5.2	94.8		28.3	5.6	-

Los resultados obtenidos en el laboratorio se muestran a continuación:

Tabla 3. Resultados ensayos de laboratorio 1. (Fuente: Informe geotécnico)

SONDEO	MUESTRA	PROF.	H	$D_s$	$D_h$	$q_u$	$\phi'$	$c'$	$\phi_{cu}$	$c_{cu}$	$Q_c$	$IS_{50}$	pH
<b>PIP 1</b>	Testigo	8.60-8.90	-	-	-	-	-	-	-	-	26.6	-	-
	Inalterada	11.90-12.50	19.9	1.74	2.08	-	34.2	18	28.6	52	-	-	-
	Inalterada	14.40-15.00	19.9	1.73	2.08	-	-	-	-	-	-	-	-
	Inalterada	24.50-24.92	17.3	1.84	2.16	822	22.3	141	20.4	154	-	-	-
	Parafinada	28.80-29.20	14	1.89	2.15	320	-	-	-	-	-	-	45
<b>PIP 2</b>	Inalterada	12.00-12.60	18.3	1.77	2.1	47	-	-	-	-	-	-	0
	Testigo	15.90-16.10	-	-	-	-	-	-	-	-	34.3	-	-
	Parafinada	17.90-18.25	22.9	1.7	2.09	-	12.6	7	8	13	-	-	-
	SPT	24.00-24.45	16.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SPT	26.80-27.25	16.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Parafinada	25.65-26.00	16.2	1.86	2.16	996	-	-	-	-	-	-	45
<b>PIP 4</b>	Testigo	4.00-8.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.37	-

### 5.1.3 Caracterización geotécnica de los materiales

#### 5.1.3.1 Identificación y descripción

Considerando todos los ensayos de campo y de laboratorio y sus respectivos resultados, se han establecido 4 unidades con significado geotécnico. Se muestra a continuación una tabla con la distribución de los niveles determinados y una breve descripción de cada uno de ellos.

Tabla 5. Distribución de los niveles geotécnicos. (Fuente: Informe geotécnico)

SONDEO	UNIDAD/SUBUNIDAD	PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	
PIP 1	0	Rellenos	0.00-4.25	4.65
	1	Coluvial (limos arcillosos)	4.25-6.13	1.88
	2a	Caliza lacustre/conglomerática	6.13-6.7	5.37
			7.00-7.10	
			7.45-11.05	
			15.95-17.05	
	2b	Intercalaciones limo arcillosas con nódulos y fragmentos rocosos	6.70-7.00	12
			7.10-7.45	
			11.05-15.95	
			17.40-23.85	
3	Margas	23.85-38.64	14.79	
PIP 2	0	Rellenos	0.00-6.15	6.15
	1	Coluvial (arenas con gravas)	6.15-6.81	0.66
	2a	Caliza lacustre/conglomerática	6.81-11.20	8.89
			14.00-15.00	
			15.75-16.35	
			16.90-17.25	
			19.80-20.70	
			21.35-23.00	
	2b	Intercalaciones limo arcillosas con nódulos y fragmentos rocosos	11.20-14.00	7.8
			15.00-15.75	
			16.35-16.90	

			17.25-19.80	
			20.70-21.35	
			23.00-23.50	
	3	Margas	23.50-27.25	3.75
PIP 3	0	Rellenos	0.00-4.00	4
	1	Coluvial	-	-
	2a	Caliza lacustre/conglomerática	4.00-8.20	4.2
	2b	Margas con fragmentos de roca	8.20-8.85	0.65
	3	Margas	8.85-21.97	13.12
PIP 5	0	Rellenos	0.00-3.75	3.75
	1	Coluvial (limos arenosos con fragmentos de roca)	3.75-5.05	1.3
	2a	Caliza lacustre (calcarenita)	5.05-6.20	1.15
	2b	Calcarenita poco cementada	6.20-8.50	2.3
	3	Margas	8.50-22.25	13.75
PIP 7	0	Rellenos	0.00-6.10	6.1
	1	Coluvial	-	-
	2a	Caliza lacustre	6.10-7.85	1.75
	2b	Limos arcillosos con fragmentos de roca	7.85-8.90	1.05
	3	Margas	8.90-15.78	6.88

#### Unidad 0: Rellenos

Hay que considerar que la campaña de prospección se ha llevado a cabo en una zona fuertemente antropizada por la construcción de viales, parques, aparcamientos, etc.

Los espesores de los rellenos son importantes en todo los sondeos, desde 3.75 a 6.10 metros.

En general los materiales son de naturaleza limoarenosa con algunos cantos y fragmentos de roca y presencia de raíces y restos antrópicos.

#### Unidad 1: Coluvial: Limos y limos arenosos con gravas

Esta unidad no se detecta en todos los sondeos, y en aquellos en los que se encuentra, el espesor no supera los 2 metros.

Estos materiales quedarán por encima de la infraestructura proyectada, son fácilmente excavables y no supondrán ningún problema para atravesarlos con el uso de medios convencionales.

**Unidad 2: Calizas y conglomerados**

Este nivel se ha subdividido en dos subunidades porque en la formación rocosa se han encontrado intercalaciones limoarcillosas que pueden suponer una merma en la resistencia del conjunto. Estas se hacen más abundantes hacia el cruce de la Avenida Salamanca con la Avenida de la Estación.

La formación rocosa presenta distintas texturas a lo largo de la traza, desde calizas puramente lacustres, calizas conglomeráticas con cantos redondeados, hasta calizas arenosas (calcarenitas). Los tramos de roca, en general, presentan resistencias altas a compresión, entre 8.3 y 34.3 MPa, encontrándose en algunos tramos con valores superiores a los 70 MPa.

Estas resistencias supondrán un condicionante técnico en cuanto a la elección del método constructivo para el tramo de túnel que se pretende diseñar.

**Unidad 3: Margas**

Último nivel geotécnico encontrado en todas las prospecciones. Se extiende varios centenares de metros y su consistencia se incrementa con la profundidad.

En estas rocas predominan las fracciones limosas y arcillosas y su plasticidad determina que la clasificación ASCS sea ML-CL / CL.

Analizando los ensayos realizados sobre esta unidad, observamos mayoritariamente unos valores de SPT de rechazo y los que se han obtenido están entre 37 y 40 golpes. La consistencia de este nivel se considera “dura”, lo que corrobora los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a compresión simple que arrojan un valor medio de 725 kPa.

Se muestra a continuación la columna estratigráfica extraída a partir del sondeo PIP 1, para ilustrar las diferentes unidades descritas:

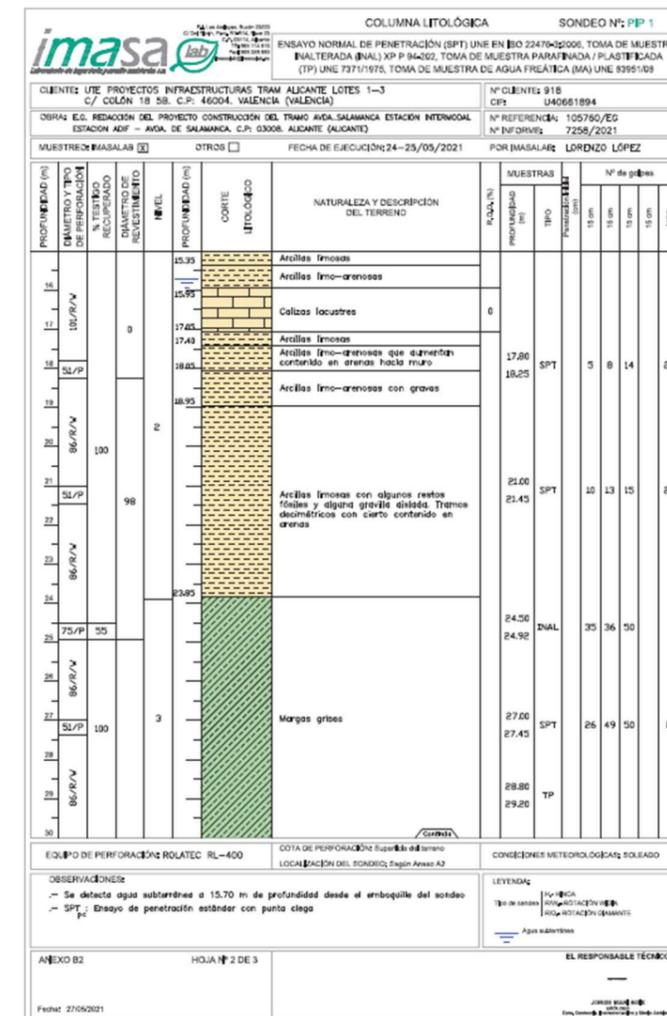
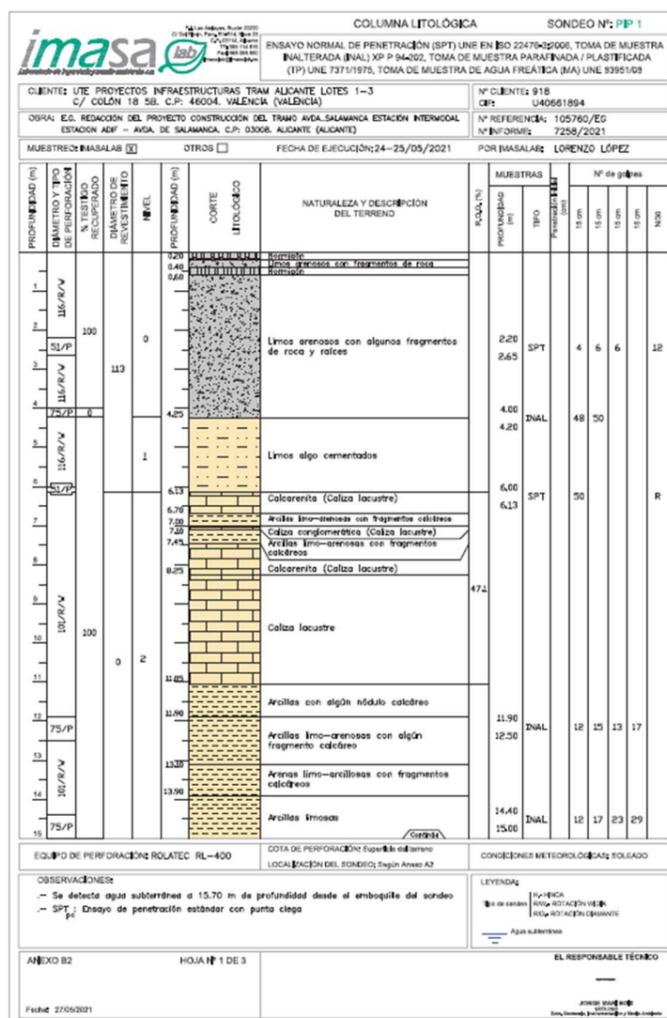


Figura 5. Sondeo PIP 1. (Fuente: Informe geotécnico)

**5.1.3.2 Parámetros geotécnicos**

Para cada una de las unidades geotécnicas se han determinado sus parámetros más representativos.

Tabla 6. Parámetros geotécnicos Unidad 0: Rellenos. (Fuente: Informe geotécnico)

Unidad 0: Rellenos			
Parámetro	Resultado	Parámetro	Resultado
Peso específico partículas sólidas	2.68	Grado de saturación (%)	39.7-50.4
Densidad seca (kN/m3)	16-17.5	Valor medio N <sub>30</sub> SPT	3-12
Densidad aparente (kN/m3)	17.6-19.3	Consistencia	Muy floja - Floja
Densidad saturada (kN/m3)	20-21	Ángulo roz. Interno efectivas	21
Porosidad (%)	40.3-34.7	Ángulo roz. Interno totales	28

Índice de poros	0.675-0.531	Cohesión (kPa)	Nula
Humedad (%)	10	Módulo de deformación (Mpa)	6.5-14
Permeabilidad (cm/s)	$10^{-5}$ a $10^{-8}$	Coef. balasto (kN/m3)	$(1.2 - 4.8) \cdot 10^4$

Tabla 7. Parámetros geotécnicos Unidad 1 y Unidad 2b: Coluvial e intercalaciones limoarcillosas de la caliza lacustre. (Fuente: Informe geotécnico)

Unidad 1 y Unidad 2b: Coluvial e intercalaciones limoarcillosas de la caliza lacustre			
Parámetro	Resultado	Parámetro	Resultado
Grava (2.0-60.0 mm) (% peso)	0-4.2	Porosidad (%)	35.1
Arena (0.06-2.0 mm) (% peso)	18-32.5	Índice de poros	0.54
Limo (0.002-0.06 mm) (% peso)	65.6-82	Humedad (%)	20.2
Arcilla (<0.002 mm) (% peso)		Grado de saturación (%)	Saturado
Límite líquido	22.4-30.2	Valor medio $N_{30}$ SPT	19
Índice de plasticidad	4.4-16.8	Consistencia	Media
Clasificación USCS	ML-CL / CL	Ángulo roz. Interno efectivas	34.2
clasificación AASTHO	A4 / A6	Ángulo roz. Interno totales	28.6
Peso específico partículas sólidas	2.68	Cohesión efectivas (kPa)	18
Densidad seca (kN/m3)	17.4	Cohesión totales (kPa)	52
Densidad aparente (kN/m3)	20.4	Módulo de deformación (Mpa)	20-25
Densidad sumergida (kN/m3)	10.9	Coef. balasto (kN/m3)	8-10
Permeabilidad (cm/s)	$10^{-7}$ a $10^{-8}$	Presión de hinchamiento (kPa)	Nula

Tabla 8. Parámetros geotécnicos Unidad 2a: Calizas lacustres y conglomerados. (Fuente: Informe geotécnico)

Unidad 2a: Calizas lacustres y conglomerados			
Parámetro	Resultado	Parámetro	Resultado
Peso específico partículas sólidas	2.7	Módulo de deformación (MPa)	2000
Densidad seca (kN/m3)	25.3	Coef. balasto (kN/m3)	$>800 \cdot 10^4$
Densidad aparente (kN/m3)	25.9	Factor $m_i$ de la matriz rocosa	8
Densidad sumergida (kN/m3)	15.9	Clasificación	Índice medio
			72

Porosidad (%)	6.3	RMR	Clase	II
Índice de poros	0.067		Calidad	Buena
Resistencia a compresión (MPa)	8.3-34.3		Cohesión	3-4
Permeabilidad (cm/s)	$> 10^{-3}$		Ángulo roz. Interno	35-45

Tabla 9. Parámetros geotécnicos Unidad 3: Margas. (Fuente: Informe geotécnico)

Unidad 3: Margas			
Parámetro	Resultado	Parámetro	Resultado
Grava (2.0-60.0 mm) (% peso)	0	Porosidad (%)	30.9
Arena (0.06-2.0 mm) (% peso)	2.5-10	Índice de poros	0.448
Limo (0.002-0.06 mm) (% peso)	67-68	Humedad (%)	17
Arcilla (<0.002 mm) (% peso)	22-30	Grado de saturación (%)	Saturado
Límite líquido	24.4-36.1	Valor min $N_{30}$ SPT (media valores bajos)	49
Índice de plasticidad	5.6-18.6	Consistencia	Dura
Clasificación USCS	ML-CL / CL	Ángulo roz. Interno efectivas	22.3
Clasificación AASTHO	A4 / A6	Ángulo roz. Interno totales	24.5
Peso específico partículas sólidas	2.65	Cohesión efectivas (kPa)	141
Densidad seca (kN/m3)	18.4	Cohesión totales (kPa)	154
Densidad aparente (kN/m3)	21.4	Módulo de deformación (Mpa)	48-100
Densidad sumergida (kN/m3)	21.4	Coef. balasto (kN/m3)	$(21 \text{ a } 44) \cdot 10^4$
Permeabilidad (cm/s)	$10^{-7}$ a $10^{-8}$	Coef. balasto horizontal pantallas. <sup>(1)</sup> (T/m3)	805.5/D
Contenido de sulfatos (mg/kg)	<2000	Coef. balasto horizontal pilotes. <sup>(2)</sup> (T/m3)	2416.6/b

(1) Para pantallas, siendo D, el empotramiento de la pantalla en m.

(2) Para pilotes, siendo b el ancho equivalente del pilote.



### 5.1.3.3 Nivel freático

Se ha detectado presencia de agua subterránea en todas las perforaciones realizadas durante la campaña geotécnica.

Tabla 10. Observaciones de la profundidad del NF en los sondeos. (Fuente: Informe geotécnico)

SONDEO	FECHA	PROFUNDIDAD (m)	FECHA	PROFUNDIDAD (m)
PIP 1	25/05/2021	15.70	01/07/2021	15.65
PIP 2	17/05/2021	14.50	01/07/2021	14.46
PIP 4	18/05/2021	11.00	-	-
PIP 5	20/05/2021	8.60	-	-
PIP 7	21/05/2021	9.10	01/07/2021	8.06

Por los datos parece que puede existir cierto gradiente hacia el E, algo lógico ya que es la zona más cercana a antiguo barranco de San Blas, por donde existen corrientes de agua subterránea. Se observa que en la zona de la Avenida de Salamanca el agua se concentra en las intercalaciones limoarcillosas del nivel 2.

### 5.1.4 Idoneidad de la campaña geotécnica

Como ya se ha comentado, de toda la campaña geotécnica realizada, los sondeos que proporcionan una información más significativa y fiable para el diseño del túnel son los sondeos PIP.1 y PIP.2.

Para determinar si la campaña geotécnica ha sido adecuada, se han consultados dos documentos. El primero es la Guía de cimentaciones de obras de carretera (GCOC) y el segundo de ellos es la Instrucción para el proyecto, construcción y explotación de obras subterráneas para el transporte terrestre (IOS 98), que se encuentra derogada, pero puede ser útil para la realización de este análisis de idoneidad.

En la GCOC [4], se define la intensidad de los reconocimientos geotécnicos en función de dos factores: la variabilidad del terreno (los terrenos pueden calificarse en homogéneos, normales y heterogéneos) y las condiciones de cimentación (pueden distinguirse situaciones favorables, normales o adversas). Para el caso que nos ocupa:

- Variabilidad del terreno: podemos suponerla normal, porque para el fin que se persigue, podrían predecirse las características geotécnicas de la vertical de un punto interpolando entre dos sondeos que se encuentren separados aproximadamente 20 metros entre sí.
- Condiciones de cimentación: en este caso podríamos calificarlas como adversas, quedándonos del lado de la seguridad ya que en esta guía no se contemplan las obras subterráneas.

Por tanto, observando la TABLA 3.5. CLASES DE RECONOCIMIENTO de la GCOC, podemos clasificar la intensidad de los reconocimientos geotécnicos teóricamente necesarios como “Intensa”.

CONDICIONES DE CIMENTACIÓN \ VARIABILIDAD DEL TERRENO	VARIABILIDAD DEL TERRENO		
	HETEROGÉNEO	NORMAL	HOMOGÉNEO
ADVERSAS	Especial	Intenso	Normal
NORMALES	Intenso	Normal	Reducido
FAVORABLES	Normal	Reducido	Esporádico

Figura 6. Tabla 3.5. Clases de reconocimiento de la GCOC (Fuente: GCOC)

Para reconocimientos de clase “intensa”, la cantidad de ensayos debe ser mayor que para los reconocimientos clasificados como normales de tal forma que se aporte una mayor confianza en los datos que hayan de utilizarse en el cálculo posterior.

En segundo lugar, la IOS 98 [5] nos indica que “se realizarán los reconocimientos y estudios geológicos y geotécnicos adecuados para obtener un conocimiento suficiente de los terrenos que serán afectados directa o indirectamente por la construcción y explotación de una obra subterránea y de sus zonas de acceso y emboquille”. Se apunta también que los métodos de prospección y ensayos deben ir acorde con las características, profundidad e importancia de la obra que ejecutar.

Se indica que los objetivos de los reconocimientos deben ser: la determinación del perfil geológico del túnel, la caracterización geotécnica cuantitativa de los terrenos con la determinación de los parámetros correspondientes a resistencia y deformabilidad, permeabilidad, alterabilidad, expansividad, erosionabilidad, comportamiento geológico y susceptibilidad a la licuefacción por defecto sísmico, entre otros.

Conociendo estas recomendaciones y lo que se ha presentado sobre el informe geotécnico en las inmediaciones del túnel, podemos determinar que los sondeos y ensayos realizados son insuficientes, porque:

- Solo se han llevado a cabo 2 sondeos, uno a mitad del tramo (PIP.1) y otro al inicio (PIP.2). Es cierto que, en el tramo final, en la unión con el tramo 0B, se conoce la estratigrafía debido a la ejecución de la obra de ese mismo tramo.
- Los valores de los parámetros geotécnicos de las diferentes unidades se han determinado a través de uno o dos ensayos de laboratorio de cada tipo.

Por tanto, se propone la ampliación de la campaña geotécnica con:

- Un sondeo mecánico para la extracción de, al menos, una muestra inalterada de cada unidad geotécnica.
- Ensayos de laboratorio para contrastar y verificar la información sobre los valores de los parámetros.
  - Determinación de la humedad.
  - Determinación de la densidad seca y natural.
  - Resistencia a compresión simple.
  - Ángulo de rozamiento interno y cohesión efectivos y totales.

### 5.1.5 Campañas geotécnicas anteriores

Como ya se mencionó en la introducción del punto 5.1, además del informe geotécnico para el tramo en estudio, existían anteriormente dos campañas ejecutadas en la misma zona.

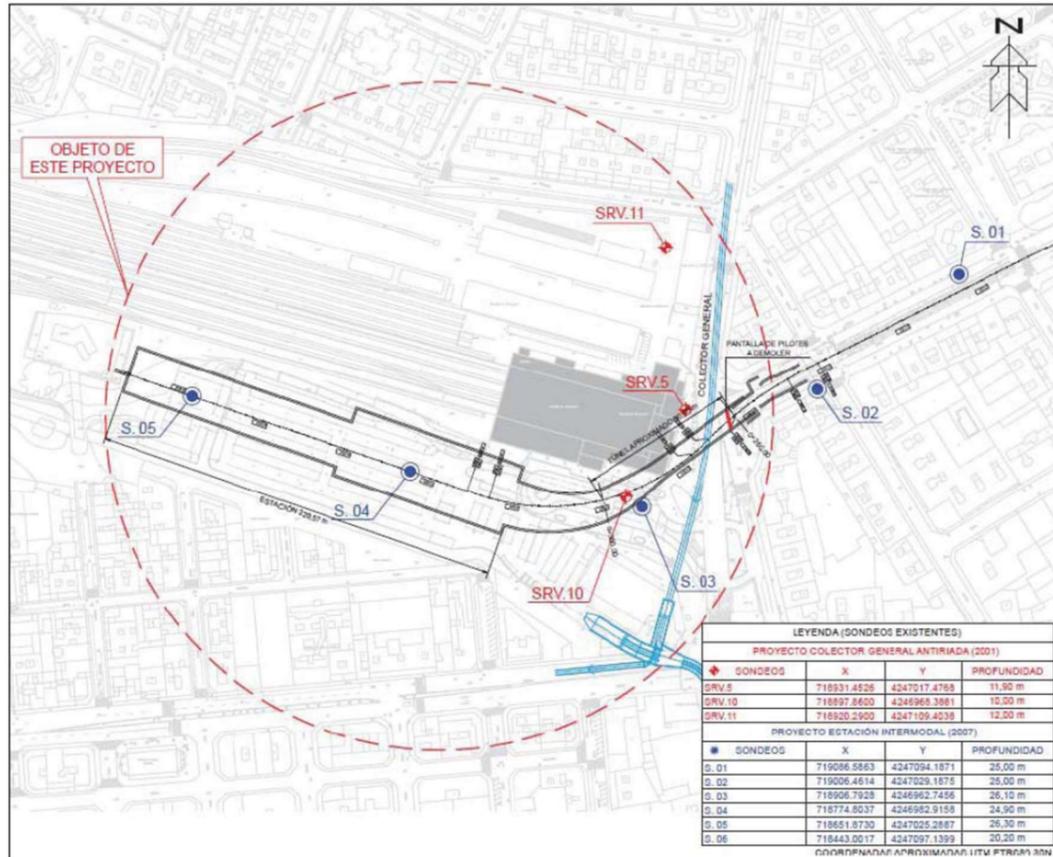


Figura 7. Localización de las prospecciones geotécnicas de campañas anteriores. (Fuente: Informe geotécnico)

De todas estas prospecciones, las realizadas en el entorno del nuevo tramo de túnel son:

- S.02
- S.03
- SRV.5
- SRV.10

Los resultados de estos sondeos se muestran a continuación. Se comprueba que aparecen los mismos niveles geotécnicos que en los sondeos recientemente realizados.

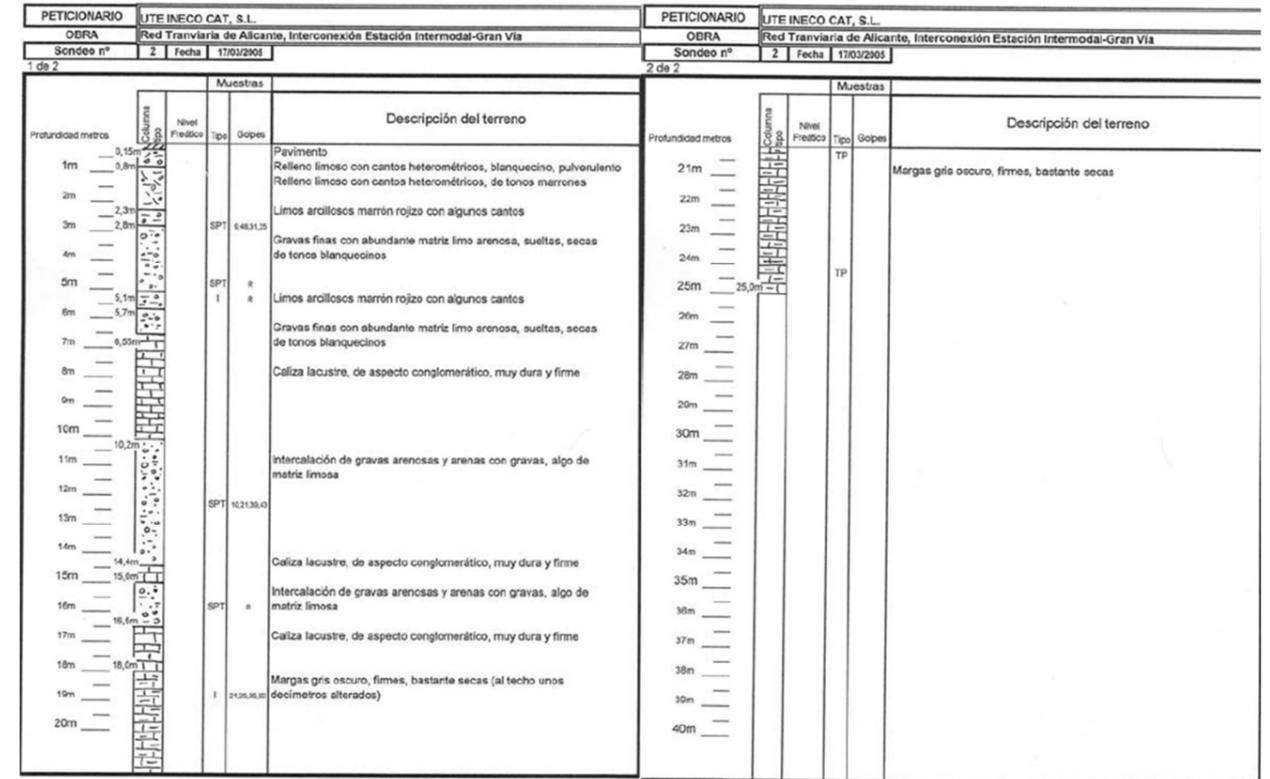


Figura 8. Sondeo S.02 de campañas anteriores. (Fuente: Informe geotécnico)

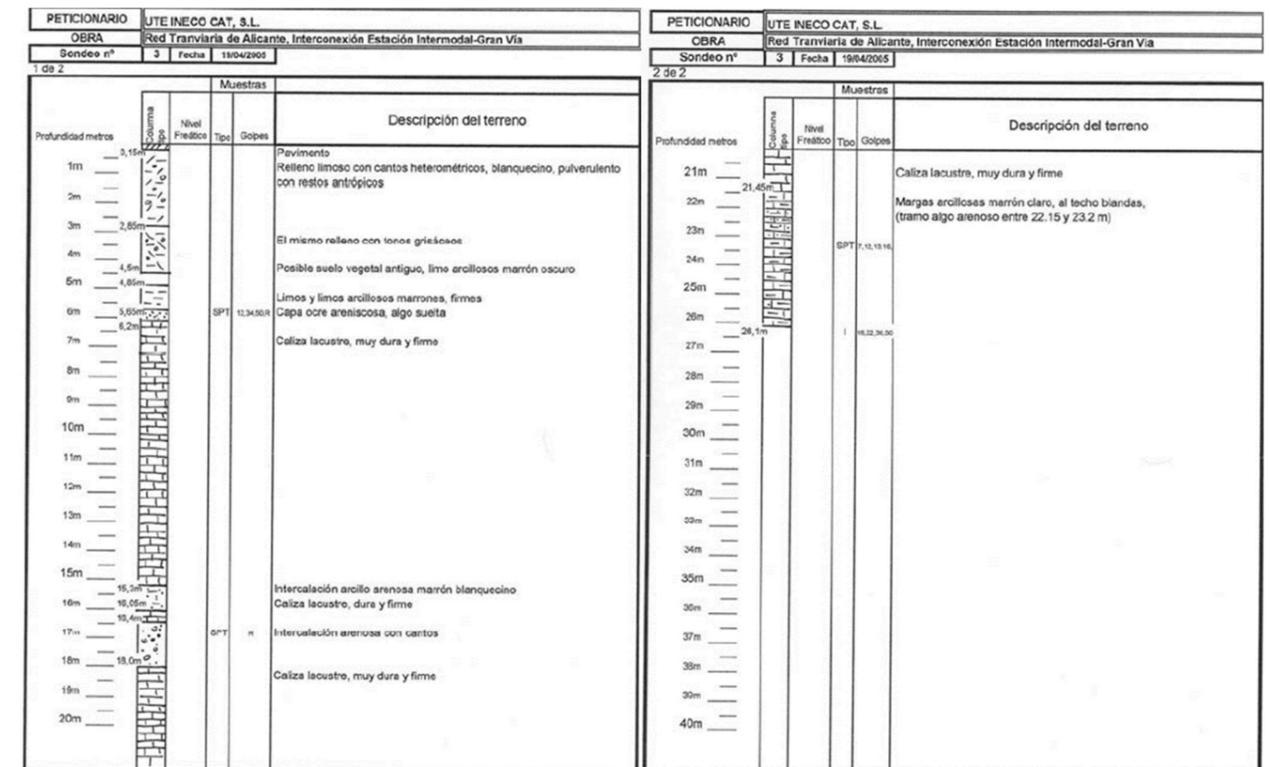


Figura 9. Sondeo S.03 de campañas anteriores. (Fuente: Informe geotécnico)

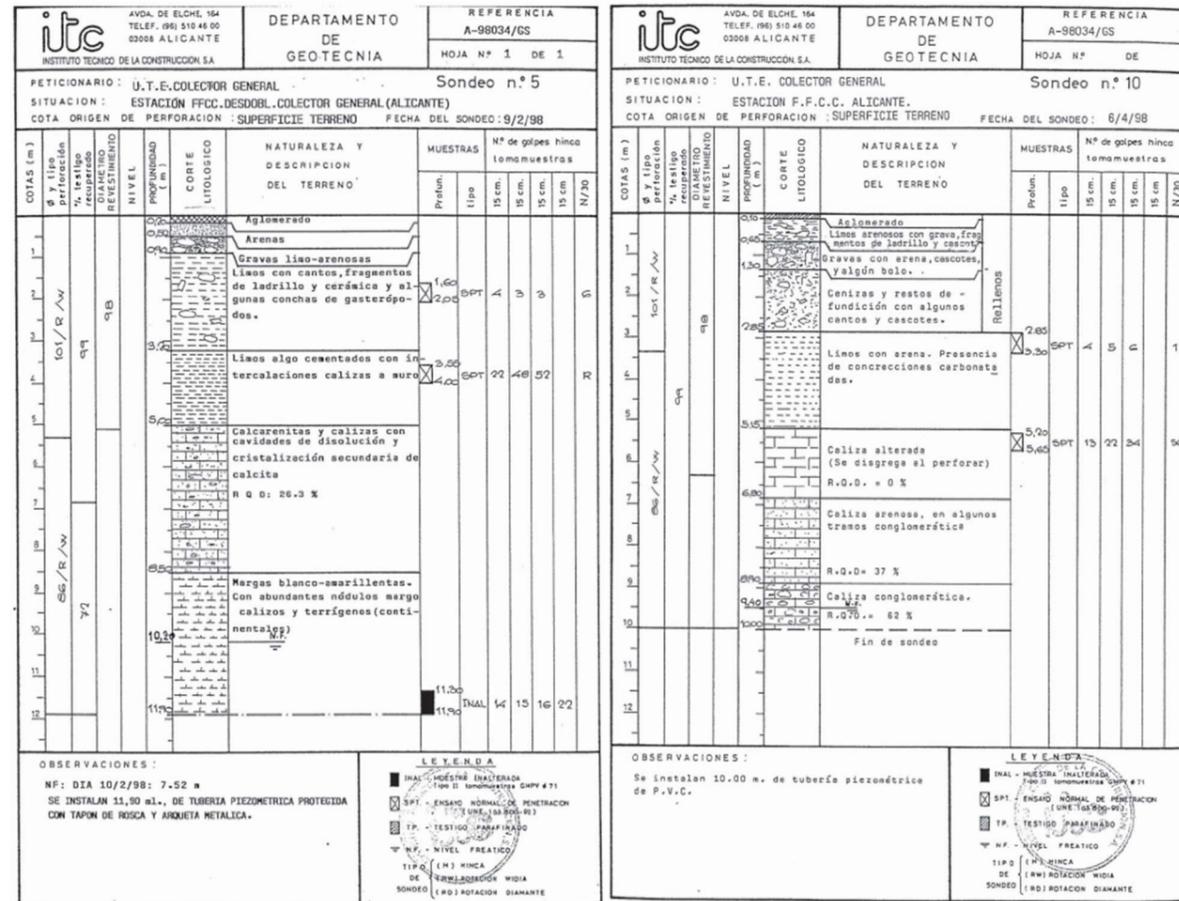


Figura 10. Sondeos SRV.5 y SRV.10 de campañas anteriores. (Fuente: Informe geotécnico)

### 5.1.6 Perfil geotécnico

A partir del análisis del terreno y de todos los datos recogidos del informe geotécnico, se determina un perfil geotécnico en la traza del túnel con las siguientes características:

- Se identifican cuatro unidades geotécnicas:
  - Unidad 0: Rellenos antrópicos
  - Unidad 1: Coluvial
  - Unidad 2a: Calizas lacustres y conglomerados
  - Unidad 3: Margas
- Dentro de la Unidad 2a, se han identificado intercalaciones limoarcillosas que se han calificado como Unidad 2b y para las cuales, los parámetros geotécnicos estimados son los mismos que los de la Unidad 1: Coluvial.
- Como simplificación se considera que el nivel freático es estático y se encuentra a 15 metros de profundidad.

El perfil geotécnico obtenido a partir de la interpolación de los sondeos PIP.1, PIP.2, SRV.10 y S.02 se muestra en el ANEXO 5: Planos.

## 5.2 Topografía y cartografía

### 5.2.1 Sistema de referencia y proyección utilizada

Según el Real Decreto 1071/2007 del 27 de julio de 2007, se adopta el Sistema de Referencia Geodésico ETRS89 para la referenciación geográfica y cartográfica de la Península Ibérica y Baleares.

Como Sistema de Proyección para la representación se emplea la proyección UTM (Universal Transversa de Mercator). La zona de trabajo está situada dentro del Huso 30 de esta proyección cilíndrica. [6]

### 5.2.2 Red de bases principal

Para la definición del proyecto se hace necesaria la implantación de una red de bases de replanteo.

Para la implantación de la RED BASE GPS, el procedimiento ha sido la observación de las bases por el método GPS estático con períodos de observación de 40 minutos. Se han implantado un total de 6 bases; 3 en el entorno de la Plaza de Luceros y otras 3 cerca del parking de la estación de ADIF. [6]

El listado de coordenadas de las bases de replanteo se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 11. Bases topográficas. (Fuente: Topografía y Cartografía)

ID. BASE	COORD. X	COORD. Y	ALTURA ORTOMÉTRICA	CQ 3D
ALAC	720135.9269	4246422.291	10.4532	-
ADIF 1	718840.2295	4246942.164	18.7365	0.0006
ADIF 2	718912.2005	4246942.461	18.5969	0.0006
ADIF 3	718959.7757	4247018.741	19.163	0.0008
B1	719316.6041	4247140.558	19.5944	0.0012
B2	719291.9697	4247199.606	21.0854	0.0023
B3	719259.5367	4247234.082	21.7571	0.0033

## 6 BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] Instituto Geológico y Minero de España, *MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA ALICANTE Segunda serie- Primera edición SERVICIO DE PUBLICACIONES MINISTERIO DE INDUSTRIA.*
- [2] Instituto Geológico y Minero de España, “Mapa geotécnico general. Hoja 73. Alicante”.
- [3] IMASALAB and UTE PROYECTOS INFRAESTRUCTURAS TRAM LOTES 1 - 3, “Informe geotécnico”.
- [4] E. Dirección General de Carreteras, *Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera.* 2009.
- [5] Ministerio de Fomento, *IOS98\_Instrucción Obras Subterráneas.*
- [6] UTE PROYECTOS INFRAESTRUCTURAS TRAM LOTES 1 - 3, “Topografía y cartografía.”



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

## ANEXO 2: CONDICIONANTES TÉCNICOS Y ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

---

Diseño Geotécnico de túnel ferroviario de conexión de la línea 1 del TRAM con la estación intermodal de Alicante.

---

*Presentado por*

Provincial Gallardo, Olga

---

*Para la obtención del*

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

*Curso: 2021/2022*

*Fecha: Septiembre de 2022*

*Tutor: Cuesta García, César*





## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>CONDICIONANTES TÉCNICOS</b>	<b>5</b>
1.1	PROCESO CONSTRUCTIVO	5
1.2	AFECCIÓN AL TRÁFICO DE VEHÍCULOS EN SUPERFICIE	6
1.3	AFECCIÓN AL TRÁFICO FERROVIARIO SUBTERRÁNEO	6
<b>2</b>	<b>ESTUDIO DE ALTERNATIVAS</b>	<b>6</b>
2.1	METODOLOGÍA	6
2.2	DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS	6
2.3	DEFINICIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	7
2.3.1	ALTERNATIVA 0: LA NO EJECUCIÓN DEL TRAMO DE TÚNEL	7
2.3.2	ALTERNATIVA 1: CONSTRUCCIÓN MEDIANTE TÉCNICAS DE EXCAVACIÓN EN MINA – MÉTODO BELGA	7
2.3.3	ALTERNATIVA 2: CONSTRUCCIÓN MEDIANTE TÉCNICA DEL FALSO TÚNEL – MÉTODO “CUT AND COVER”	7
2.4	GEOMETRÍA	8
2.4.1	ALTERNATIVA 1	8
2.4.2	ALTERNATIVA 2	8
2.5	OBJETIVO DE EJECUCIÓN	8
2.5.1	TIEMPOS DE EJECUCIÓN	8
2.5.2	PLAN DE AUSCULTACIÓN	10
2.6	OBJETIVO AMBIENTAL	11
2.6.1	CALIDAD ATMOSFÉRICA Y CAMBIO CLIMÁTICO	11
2.6.2	RUIDO Y VIBRACIONES	11
2.6.3	MOVIMIENTO DE TIERRAS	11
2.7	OBJETIVO DE AFECCIONES	12
2.7.1	AFECCIÓN AL TRÁFICO SUPERFICIAL	12
2.7.2	AFECCIÓN AL TRÁFICO FERROVIARIO SUBTERRÁNEO	12
2.8	OBJETIVO ECONÓMICO	13
2.8.1	COSTE DE EJECUCIÓN	13
<b>3</b>	<b>COMPARACIÓN Y SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>15</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.	PESOS ASIGNADOS A LOS OBJETIVOS. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	6
TABLA 2.	PESOS ASIGNADOS A LOS INDICADORES. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	7
TABLA 3.	PLAN DE OBRA – ALTERNATIVA 1. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	9
TABLA 4.	PLAN DE OBRA – ALTERNATIVA 2. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	9
TABLA 5.	VALORACIÓN TIEMPOS DE EJECUCIÓN. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	10
TABLA 6.	VALORACIÓN PLAN DE AUSCULTACIÓN. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	10
TABLA 7.	VALORACIÓN CALIDAD ATMOSFÉRICA Y CAMBIO CLIMÁTICO. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	11
TABLA 8.	VALORACIÓN RUIDO. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	11
TABLA 9.	VALORACIÓN GEOMORFOLOGÍA. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	12
TABLA 10.	VALORACIÓN AFECCIÓN AL TRÁFICO SUPERFICIAL. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	12
TABLA 11.	VALORACIÓN AFECCIÓN AL TRÁFICO FERROVIARIO SUBTERRÁNEO. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	12
TABLA 12.	COSTE DE EJECUCIÓN – ALTERNATIVA 1. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	13
TABLA 13.	COSTE DE EJECUCIÓN – ALTERNATIVA 2. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	13
TABLA 14.	VALORACIÓN COSTE DE EJECUCIÓN. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	13
TABLA 15.	EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS SEGÚN LOS INDICADORES. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	14
TABLA 16.	EVALUACIÓN FINAL DE LAS ALTERNATIVAS SEGÚN LOS OBJETIVOS. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	14

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.	ESQUEMA DE EJECUCIÓN DE TÚNEL MEDIANTE EL MÉTODO BELGA. (FUENTE: VICTORYEPES.BLOGS)	5
FIGURA 2.	(1) EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO. (2) HORMIGONADO. (FUENTE: VICTORYEPES.BLOGS)	5
FIGURA 3.	ESQUEMA DE EJECUCIÓN DE TÚNEL CON MUROS PANTALLA. (FUENTE: RESEARCHGATE.NET)	6
FIGURA 4.	SECCIÓN TIPO EXCAVACIÓN POR MÉTODOS CONVENCIONALES CON CONTRABÓVEDA. (FUENTE: ARTÍCULO INTEREMPRESAS.NET)	7
FIGURA 5.	SECCIÓN TIPO MÉTODO “CUT AND COVER”. (FUENTE: MEDIA.SPRINGERATURE.COM)	7
FIGURA 6.	SECCIÓN TRANSVERSAL – ALTERNATIVA 1. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	8
FIGURA 7.	SECCIÓN TRANSVERSAL – ALTERNATIVA 2. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	8
FIGURA 8.	ESQUEMA DE DISPOSICIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN EN TÚNEL URBANO EN MINA. (FUENTE: GUÍA DE AETOS)	10
FIGURA 9.	ESQUEMA DE DISPOSICIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN EN TÚNEL ENTRE PANTALLAS. (FUENTE: GUÍA DE AETOS)	10



# 1 CONDICIONANTES TÉCNICOS

En este anexo se tratará de describir con detalle cada uno de los condicionantes técnicos que se han detectado como relevantes para la posterior definición de las alternativas, análisis de estas y selección de la más adecuada.

Los condicionantes técnicos más importantes considerados se van a describir a continuación:

## 1.1 Proceso constructivo

El primero de ellos es el proceso constructivo, ya que cada tipo de proceso tiene unos requerimientos específicos.

- Técnicas de excavación en mina: En este grupo se incluyen métodos como el Belga, el nuevo método Austríaco o el proceso de perforación mediante tuneladora.

El primero de ellos es el método constructivo clásico en el que se va excavando progresivamente la sección del túnel por partes. Las principales fases del procedimiento son: excavación de la bóveda con entibación comenzando por una pequeña galería en la clave que se va ensanchando lateralmente, hormigonado de la bóveda, excavación y entibación de hastiales por bataches, hormigonado de hastiales por bataches y destroza y hormigonado de la contrabóveda. [1] Este método tiene la ventaja de que se ha utilizado mucho en la ingeniería civil y, su principal inconveniente, es que los rendimientos que se obtienen son bajos en comparación con los de otros métodos. Se pueden llegar a obtener rendimientos de 2.5 metros por día y, aproximadamente, unos 50 metros al mes. [1]

Este método se plantea en situaciones donde la construcción del túnel no permite la inversión del uso de tuneladora, ya sea por longitud o por sección y cuando se precisa la construcción de secciones inclinadas o en zonas urbanas.

A continuación, se muestra una imagen donde se observa el proceso constructivo:

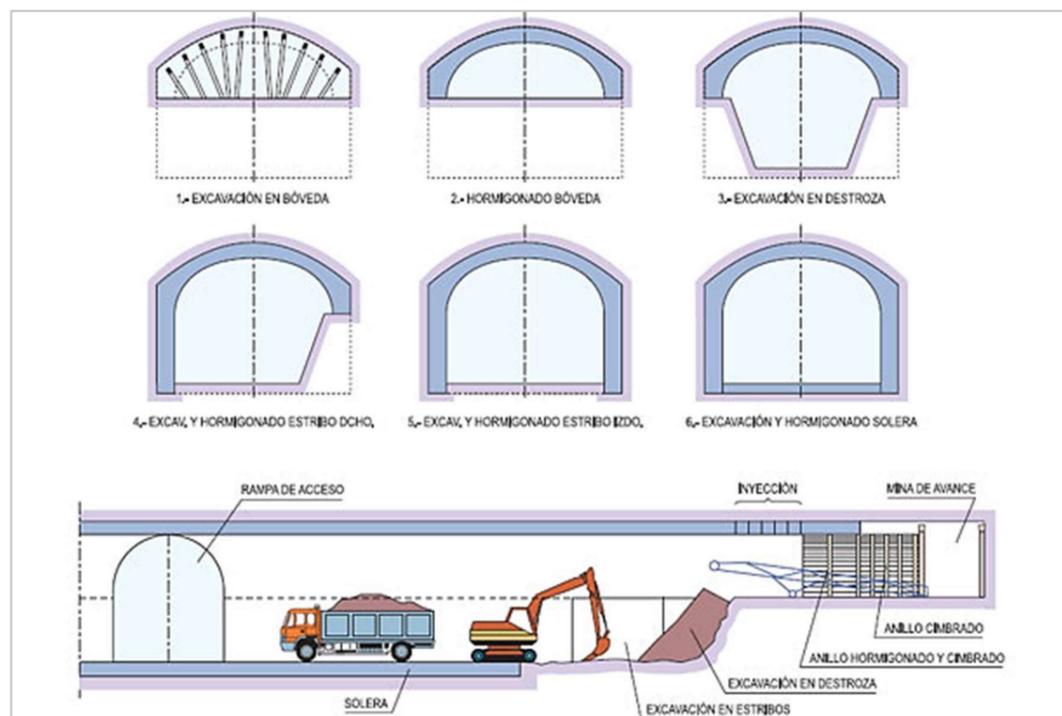


Figura 1. Esquema de ejecución de túnel mediante el Método Belga. (Fuente: victoryepes.blogs)

El nuevo método austríaco, es un método en el que la sección del túnel no se hormigona durante el avance de la excavación, sino que se ejecuta un sostenimiento provisional más flexible que se adapta al terreno y trabaja desde el momento en que se coloca. Es posible utilizarlo en cualquier tipo de terrenos, desde roca sana, rocas alteradas hasta suelos blandos, la única diferencia es que el sostenimiento dispuesto deberá ser más o menos resistente y la excavación de avance mayor o menor en función del terreno en el que se trabaje. [2]

Las principales fases constructivas son: excavación mediante los medios que requiera el terreno, a plena sección o por bataches, entibación provisional inmediata, generalmente por medio de gutinado que puede ir armado con una malla metálica y si es necesario reforzado con bulones. Posteriormente, se realizan mediciones de convergencias y deformaciones del terreno para conocer el momento en que el terreno queda en equilibrio con ese recubrimiento provisional. Excavación y hormigonado de la contrabóveda, colocación de la impermeabilización y, finalmente, hormigonado con la ayuda de un carro de avance. [1]

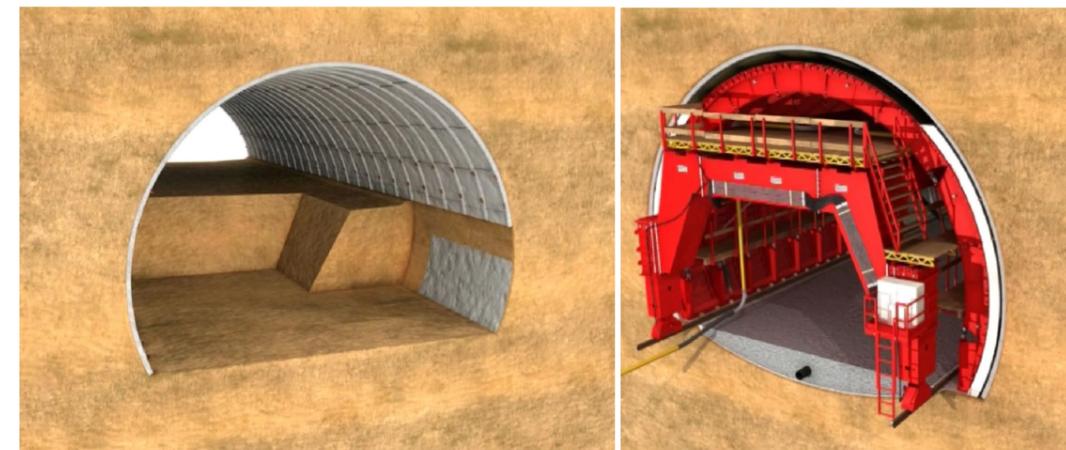


Figura 2. (1) Excavación y sostenimiento. (2) Hormigonado. (Fuente: victoryepes.blogs)

Por último, está el proceso de ejecución con tuneladora. En este caso se emplea un único equipo denominado TBM (Tunnel Boring Machine) que realiza todos los trabajos: excava el túnel a sección completa, retira los escombros y coloca el revestimiento. Es un método utilizado para todo tipo de rocas y suelos, siendo muy elevados los rendimientos que se consiguen frente a los métodos antes explicados. Sin embargo, requiere de una gran inversión inicial y, además, el equipo completo necesario para la ejecución del túnel tiene unas dimensiones considerables, por lo que no es un proceso rentable para pequeños tramos de túnel.

- Técnica de túneles con muros pantalla, o técnica de falso túnel en la que se excava la totalidad o parte del hueco del túnel desde la superficie a cielo abierto. Requiere de la ejecución de un sistema de sostenimiento fuerte que soporte las cargas del material que cubrirá el túnel.

Este procedimiento presenta algunas ventajas como que se puede ejecutar independientemente de la naturaleza del terreno atravesado, la construcción de losas intermedias para realizar túneles de varias plantas y, su principal inconveniente es que se ocupa temporalmente la superficie bajo la que discurre el túnel.

Existen dos modalidades, una denominada "bottom up" en la que todo el hueco del túnel se excava a cielo abierto y se construye posteriormente en su interior. La otra se llama "top down" y es la que se está extendiendo en las obras de túneles urbanos, ya que se caracteriza por las siguientes fases constructivas: Se construyen las paredes del túnel desde la superficie cavando una zanja y hormigonando insitu o mediante hileras de pilotes, posteriormente, se excava el hueco de la losa superior que va apoyada sobre las paredes y se hormigona esta losa. Cuando esté terminada la losa, se puede reconstruir la superficie de la calle y devolverle su servicio mientras se continúa trabajando en el interior del túnel. En este momento es cuando se comienza a extraer tierra del interior del túnel mediante medios convencionales de excavación.

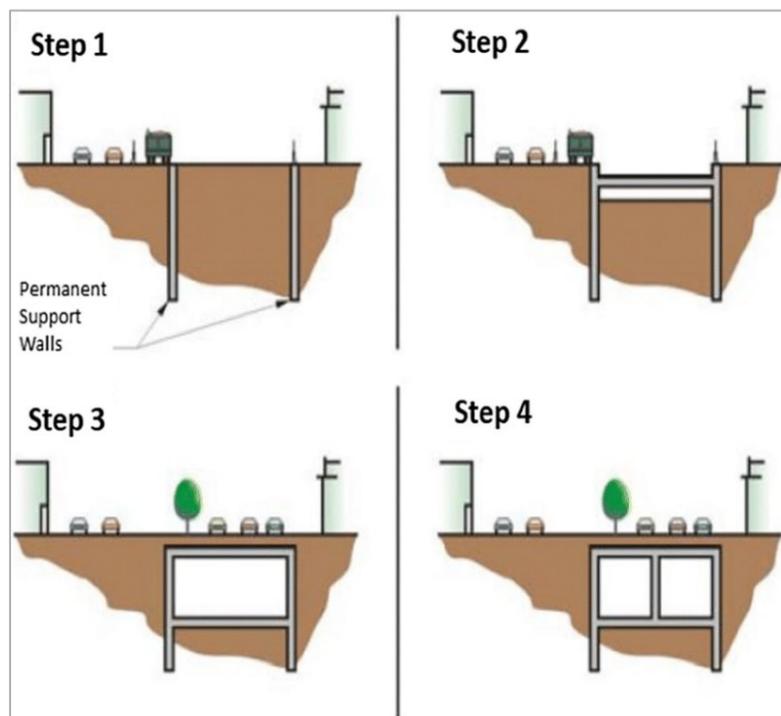


Figura 3. Esquema de ejecución de túnel con muros pantalla. (Fuente: researchgate.net)

## 2 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

En este apartado se identificarán y describirán las alternativas que se manejan para el diseño del túnel ferroviario y, posteriormente, se realizará un análisis multicriterio para la elección de la opción que mejor responda a los condicionantes técnicos definidos y a otros aspectos importantes que también influyen.

### 2.1 Metodología

Para la correcta realización del estudio de alternativas, se realizará un análisis multicriterio con las siguientes fases:

- Definición de objetivos que se persiguen con la actuación y de los indicadores que afectan a cada uno de los objetivos.
- Definición de las alternativas que dan solución al problema planteado.
- Evaluación de cada alternativa sobre cada indicador y asignación de los pesos correspondientes.
- Selección de la alternativa más adecuada en función de los resultados del análisis realizado.

### 2.2 Definición de los objetivos

Se pretende llevar a cabo el diseño de una infraestructura ferroviaria pública, por tanto, los objetivos que se persiguen y sus indicadores son:

- Objetivo de ejecución:
  - Tiempo de ejecución.
  - Plan de auscultación.
- Objetivo ambiental:
  - Calidad atmosférica y cambio climático.
  - Ruido y vibraciones.
  - Movimiento de tierras.
- Objetivo de afecciones:
  - Afección al tráfico superficial.
  - Afección al tráfico ferroviario subterráneo.
- Objetivo económico:
  - Coste de ejecución.

Una vez definidas las alternativas, cada indicador se evaluará y se puntuará con una escala entre 0 y 10 según el grado de afección a la alternativa estudiada. A cada uno de los objetivos definidos se le asignan unos pesos en función del interés o expectativa social de cada uno.

Tabla 1. Pesos asignados a los objetivos. (Fuente: Elaboración propia)

ANÁLISIS COMPARATIVO	RANGO MÁX. (mín. – máx.)	PESO
Objetivo de ejecución	0-10	0.15
Objetivo ambiental	0-10	0.20
Objetivo de afecciones	0-10	0.35
Objetivo económico	0-10	0.30
<b>TOTAL</b>	<b>0-10</b>	<b>1.00</b>

### 1.2 Afección al tráfico de vehículos en superficie

Para analizar este punto, debemos considerar la localización de la actuación: cruce entre la Avenida Salamanca y la Avenida de la Estación y, también, diferenciar entre los procesos constructivos descritos en el punto anterior.

Las técnicas de excavación en mina en principio no tienen por qué afectar en nada al tráfico rodado que va por la superficie, únicamente en el punto en el que se vaya a colocar la entrada hacia la rampa de acceso para la realización de los trabajos subterráneos. Esta entrada podría colocarse en el aparcamiento de la estación de ADIF, y emplazamiento de la futura estación intermodal, de manera que no se afectaría para nada al tráfico en superficie.

Sin embargo, si consideramos la técnica de excavación a cielo abierto, la afección al tráfico rodado sería significativa, porque habría que cortar por completo la Avenida Salamanca a la altura de la Estación de ADIF y la Avenida de la Estación en su cruce con la Calle Serrano, desviando el tráfico.

### 1.3 Afección al tráfico ferroviario subterráneo

El tráfico ferroviario no va a verse afectado por las obras del nuevo tramo en estudio, ya que el TRAM presta servicio hasta la Estación de Luceros. Si bien, la actuación podría afectar al Tramo 0B en la parte más cercana a la estación de ADIF, aunque la superestructura ferroviaria no llega hasta el final de la prolongación por lo que tampoco afecta a las maniobras que realizan los trenes en ese tramo.

Dentro de cada objetivo, los indicadores tendrán un peso determinado:

Tabla 2. Pesos asignados a los indicadores. (Fuente: Elaboración propia)

OBJETIVO	INDICADOR	RANGO MÁX. (MÍN-MÁX)	PESO
Objetivo funcional	Tiempo ejecución	0-10	0.50
	Plan de auscultación	0-10	0.50
	<b>TOTAL</b>		<b>1.00</b>
Objetivo ambiental	Calidad atmosférica y cambio climático	0-10	0.30
	Ruido y vibraciones	0-10	0.30
	Movimiento de tierras	0-10	0.40
	<b>TOTAL</b>		<b>1.00</b>
Objetivo de afecciones	Tráfico en superficie	0-10	0.5
	Tráfico ferroviario subterráneo	0-10	0.5
	<b>TOTAL</b>		<b>1.00</b>
Objetivo económico	Coste ejecución	0-10	1.00
	<b>TOTAL</b>		<b>1.00</b>

Con el estudio de cada indicador sobre las alternativas planteadas, se obtendrá una matriz final de valoración en la que cada alternativa tendrá un único valor indicativo de su idoneidad frente al problema planteado. La solución que mayor puntuación global obtenga será la que se proponga finalmente para el diseño geotécnico del túnel.

### 2.3 Definición de las alternativas

Se manejan varias alternativas como posibles soluciones al problema planteado en función del proceso constructivo.

Las características comunes a todas las alternativas son:

- Tramo de túnel con trazado en planta en línea recta.
- La longitud del tramo es de 100 metros.
- Pendiente del -2 % en dirección hacia la Avenida de la Estación. Conocemos que en el PK 0+000 del Tramo 0B, la plataforma ferroviaria se encuentra a 14 metros de profundidad, por lo que la sección transversal de unión del tramo con la estación intermodal estaría 12 metros bajo la superficie.

#### 2.3.1 Alternativa 0: La no ejecución del tramo de túnel

Esta alternativa no se contempla ya que el objetivo fundamental de la actuación es la conexión de la Línea 1 de TRAM con la futura Estación Intermodal de Alicante.

#### 2.3.2 Alternativa 1: Construcción mediante técnicas de excavación en mina – Método Belga

Se propone la ejecución del tramo de túnel mediante el método Belga descrito en el punto 1.1 del presente Anexo. Se toma esta técnica siguiendo las recomendaciones establecidas en la Normativa de ADIF de procedimiento constructivo de túneles en suelos y rocas blandas.[3]

La sección transversal del túnel sería parecida a la construida en el Tramo 1 entre la Estación de Luceros y la Estación del Mercado. En la siguiente figura se muestra un esquema orientativo de la sección:

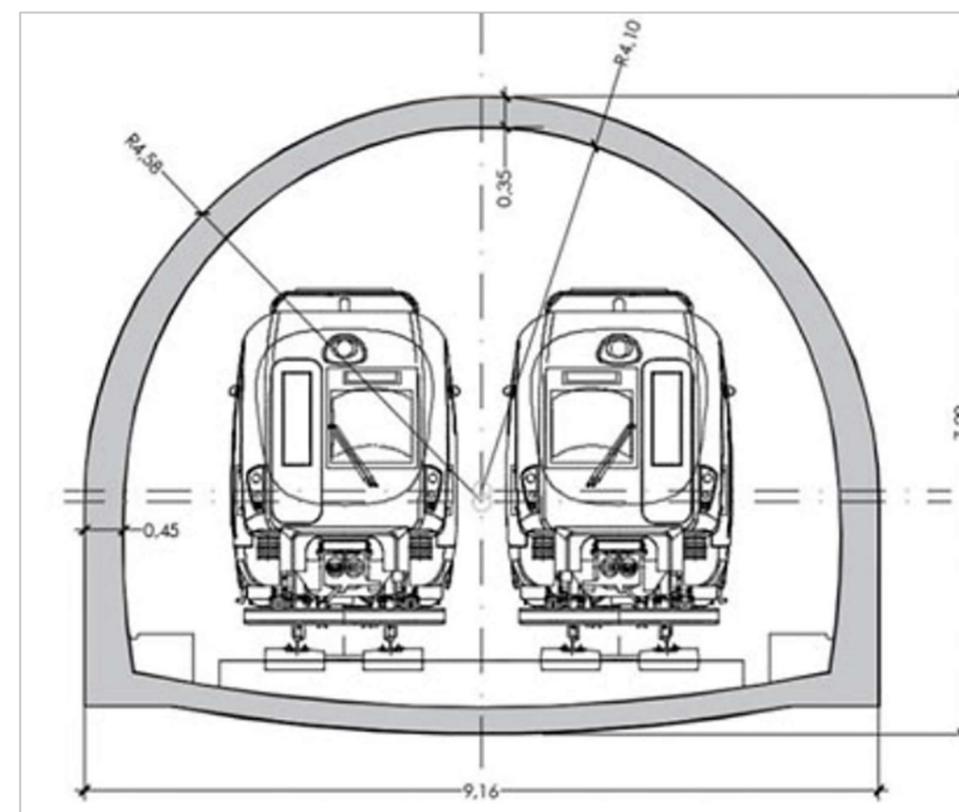


Figura 4. Sección tipo excavación por métodos convencionales con contrabóveda. (Fuente: Artículo interempresas.net)

#### 2.3.3 Alternativa 2: Construcción mediante técnica del falso túnel – Método “cut and cover”

Se propone este método de “cut and cover” en su modalidad “top down”, ya que es uno de los métodos que se están comenzando a generalizar en las actuaciones urbanas para minimizar al máximo sus afecciones a los servicios en superficie.

La sección tipo en este caso sería parecida a la construida para el Tramo 0B, aunque para esta situación habría que excavar hasta una profundidad considerable para la colocación de la losa superior del túnel, ya que no se plantea ninguna actuación adicional para aprovechar la zona que queda por encima del cajón ferroviario.

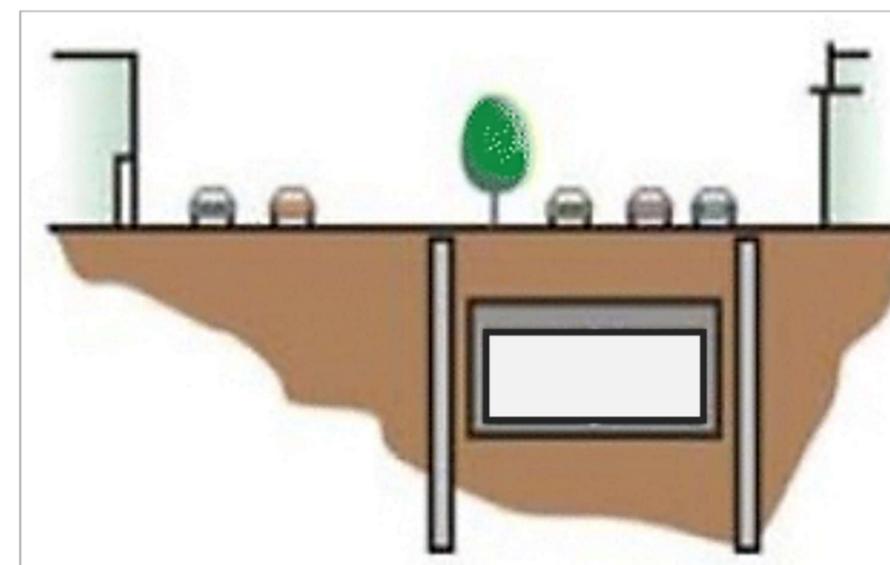


Figura 5. Sección tipo método “cut and cover”. (Fuente: media.springernature.com)

## 2.4 Geometría

Como ya se ha visto, según el tipo de procedimiento constructivo, la sección transversal de cada alternativa presentada puede ser diferente.

Cada sección se diseñará tomando como referencia lo establecido en:

- Instrucción ferroviaria de gálibos. Orden FOM 1630/2015 del 14 de julio. [4]
  - Contorno de referencia del gálibo cinemático GEE10, para líneas electrificadas de ancho métrico.
- La Especificación técnica de interoperabilidad relativa a la «Seguridad en los túneles ferroviarios» del sistema ferroviario de la Unión Europea.[5]
  - Dimensiones mínimas para los pasillos de evacuación en túneles ferroviarios.

### 2.4.1 Alternativa 1

Se plantea una geometría con bóveda en semicircunferencia de radio interior 4.63 metros, hastiales de 1.45 metros y una contrabóveda inferior. Una altura libre de 6.08 metros desde el plano de rodadura y una anchura total de 9.26 metros.

Durante el diseño se han tenido en cuenta los elementos principales necesarios para el correcto funcionamiento de la infraestructura como la catenaria, el sistema de ventilación del túnel y el sistema de drenaje con sumideros en ambos lados de las vías y en la entrevía. Además, se han dejado pasillos de evacuación de 1.35 metros de ancho a ambos lados de las vías para facilitar la salida de pasajeros y para la colocación de elementos como señalización, iluminación y otros dispositivos de seguridad. Los pasillos tienen una elevación de 0.2 metros con respecto al plano de rodadura.

A continuación, se muestra un esquema de la sección transversal diseñada:

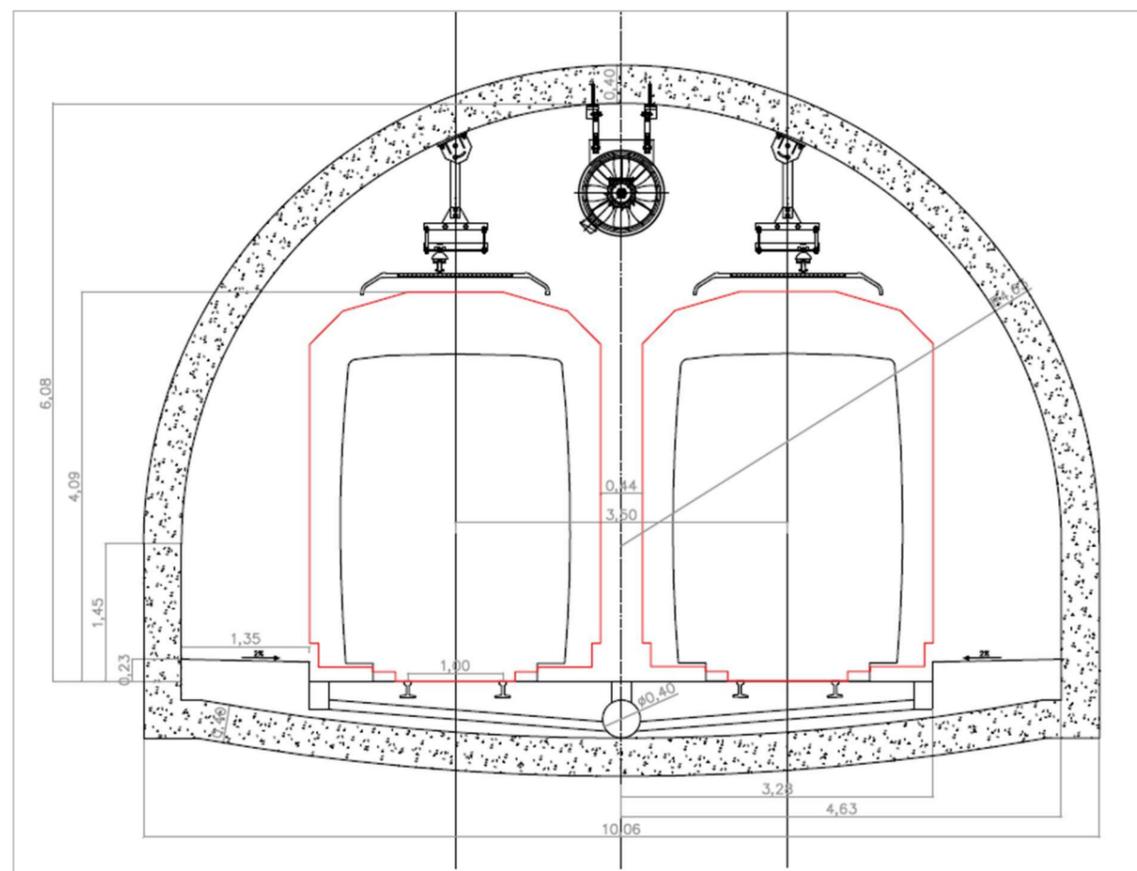


Figura 6. Sección transversal – Alternativa 1. (Fuente: Elaboración propia)

### 2.4.2 Alternativa 2

Para la segunda alternativa, se plantea un cajón ferroviario con muros pantalla mediante batches ejecutados con hidrofresa de 0.8 metros de espesor a ambos lados, una losa inferior y una losa superior de cierre. La altura libre desde el plano de rodadura es de 6 metros y la anchura de 9.26 metros.

En su interior se albergan los mismo elementos que para la anterior alternativa: la catenaria, el sistema de ventilación del túnel, el sistema de drenaje y los pasillos de evacuación.

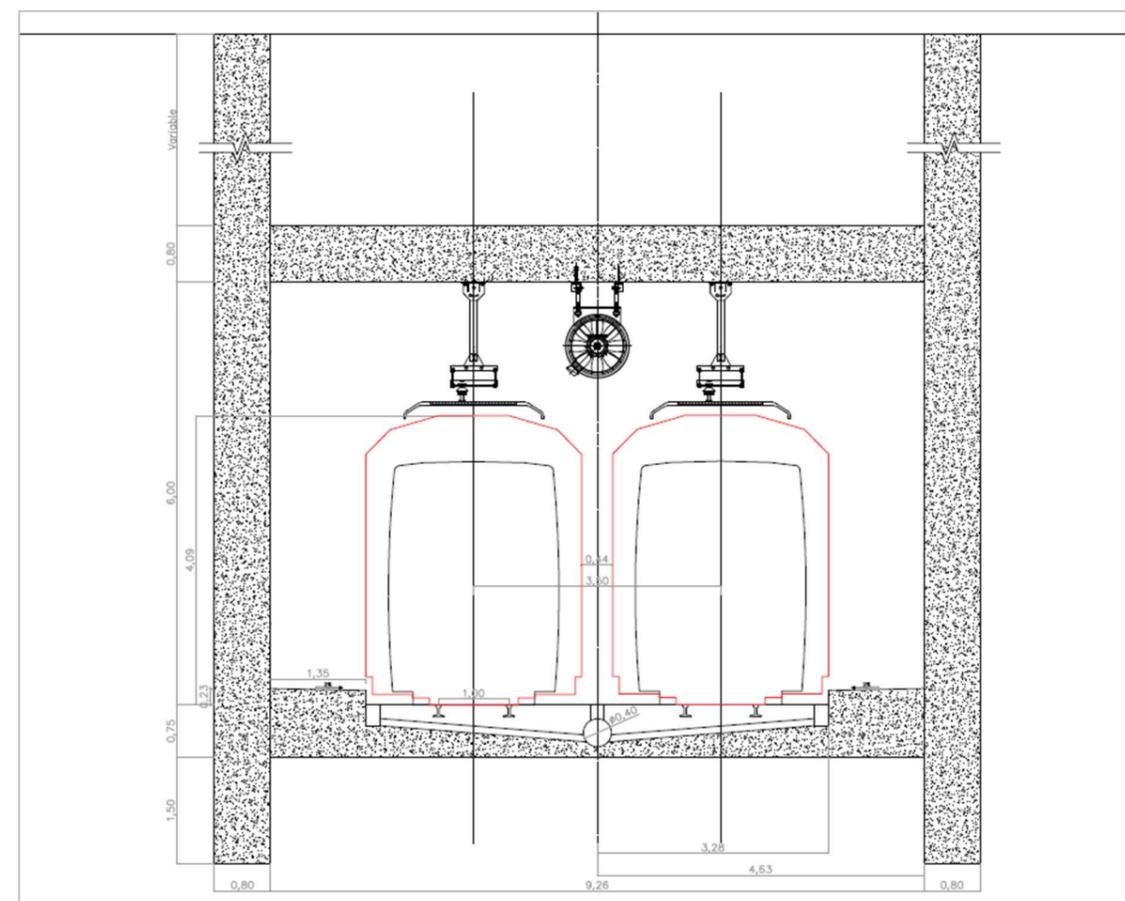


Figura 7. Sección transversal – Alternativa 2. (Fuente: Elaboración propia)

La geometría de ambas secciones se puede apreciar con mayor detalle en el ANEXO 5: Planos.

## 2.5 Objetivo de ejecución

### 2.5.1 Tiempos de ejecución

La duración de una obra como la que se plantea en este proyecto es difícil de estimar, ya que trabajamos en el terreno, un entorno en el que pueden surgir problemas inesperados durante la ejecución, aunque se hayan realizado unos trabajos de reconocimiento muy buenos. Estos problemas pueden incrementar considerablemente las previsiones iniciales de los tiempos de ejecución.

En este punto se realizará una aproximación somera a esos tiempos de ejecución para cada alternativa. La duración de cada actividad se ha obtenido a partir de los rendimientos que aparecen en la Base de Datos de Construcción del IVE. [6]

**2.5.1.1 Alternativa 1**

El plan de obra previsto para la ejecución del túnel en mina es:

Tabla 3. Plan de obra – Alternativa 1. (Fuente: Elaboración propia)

SEMANA / ACTIVIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Trabajos previos																											
Excavación y sostenimiento bóveda																											
Hormigonado bóveda																											
Excavación hastiales																											
Hormigonado hastiales																											
Excavación contrabóveda																											
Hormigonado contrabóveda																											
Instalaciones de seguridad provisionales																											
Auscultación del túnel																											

SEMANA / ACTIVIDAD	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
Trabajos previos																										
Excavación y sostenimiento bóveda																										
Hormigonado bóveda																										
Excavación hastiales																										
Hormigonado hastiales																										
Excavación contrabóveda																										
Hormigonado contrabóveda																										
Instalaciones de seguridad provisionales																										
Auscultación del túnel																										

**Duración total: 53 semanas**
**2.5.1.2 Alternativa 2**

El plan de obra previsto para la ejecución del túnel entre muros pantalla es:

Tabla 4. Plan de obra – Alternativa 2. (Fuente: Elaboración propia)

SEMANA / ACTIVIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	
Trabajos previos																																												
Desvío de servicios																																												
Demolición pavimentos																																												
Ejecución muros guía																																												
Ejecución muros pantalla																																												
Exc. hasta plano inferior losa de cubierta																																												
Ejecución losa de cubierta																																												
Rellenos sobre la losa de cubierta																																												
Reurbanización vía pública																																												
Exc. hasta la cota inferior losa de fondo																																												
Ejecución de losa de fondo																																												
Instalaciones de seguridad provisionales																																												
Auscultación del túnel																																												

**Duración total: 43 semanas**

El criterio de evaluación que se va a emplear para la evaluación de los tiempos de ejecución es:

- Valor 10: alternativas con duración inferior al 20% de la media.
- Valor 5: alternativas con presupuesto igual a la media.
- Valor 0: alternativas con presupuesto superior al 20% de la media.

Se obtiene:

Tabla 5. Valoración tiempos de ejecución. (Fuente: Elaboración propia)

Alternativa	Tiempo de ejecución	Puntuación
1	53 semanas	2.4
2	43 semanas	7.6

## 2.5.2 Plan de auscultación

Para definir los planes de auscultación de cada alternativa, se ha consultado la Guía técnica sobre Instrumentación y Auscultación en el proyecto y construcción de túneles urbanos de AETOS. [7]

### 2.5.2.1 Alternativa 1

Según el método constructivo propuesto para la primera alternativa y atendiendo a lo que se expone en la *Tabla 1.- Criterios para la tramificación del trazado de túneles* [7], se debe realizar un nivel de control catalogado como “Medio”.

Para este nivel de control, y aplicando la guía al caso de estudio, se propone:

- 1 hito de nivelación en la vertical del eje cada 25 metros. 4 hitos en total.
- 1 sección transversal de control de subsidencias formada por arquetas subsidencia combinada (nivelación + convergencia). Esta se colocará en el punto intermedio del tramo proyectado.
- 1 base profunda de nivelación que se ubicará fuera de la zona de influencia, anclada a 30 metros de profundidad.
- Regletas de nivelación en edificios y estructuras próximas.
- Extensómetros de varilla simple sobre el eje a  $1.5, H_c/2, H_c-1$  metros de profundidad. (siendo  $H_c$  la profundidad de la clave).
- Inclínómetros en el terreno, entre edificios de sensibilidad media-alta y el túnel. A 2 metros del hastial más cercano y a una profundidad de medio diámetro por debajo de la solera del túnel. Se clorarán

Un esquema de instrumentación para este caso se presenta a continuación:

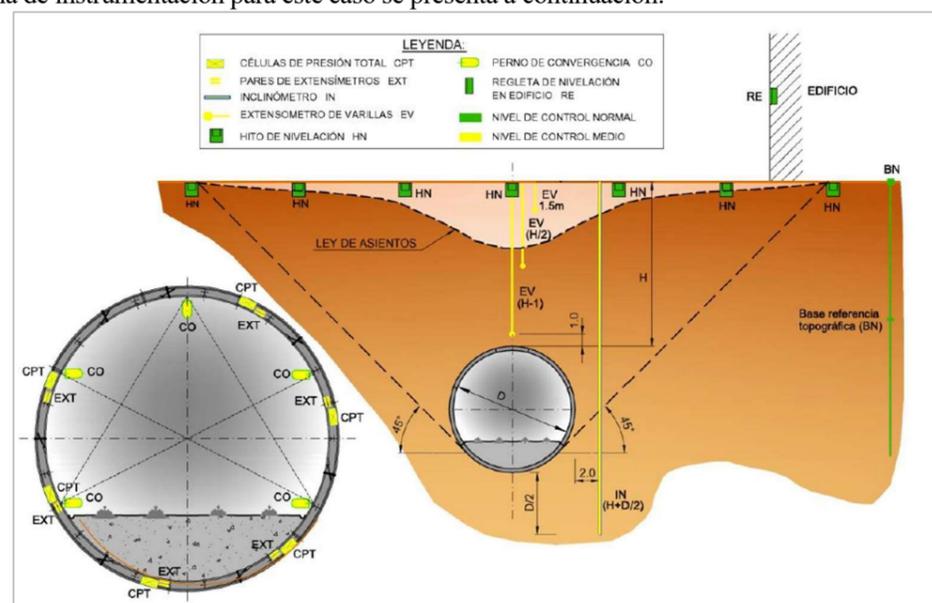


Figura 8. Esquema de disposición de la instrumentación en túnel urbano en mina. (Fuente: Guía de AETOS)

### 2.5.2.2 Alternativa 2

La alternativa 2, se planteaba con el proceso constructivo “cut and cover” para el cual se define un nivel de control “Normal” en la Guía mencionada [7].

Para este nivel de control, en la misma guía se propone:

- 1 hito de nivelación colocado al tresbolillo cada 25 metros, a un metro de cada pantalla
- 1 sección transversal de control de subsidencias formada por 6 hitos de nivelación, 3 a cada lado del recinto de las pantallas.
- Regletas de nivelación en edificios y estructuras próximas.

Se presenta a continuación un esquema de lo propuesto:

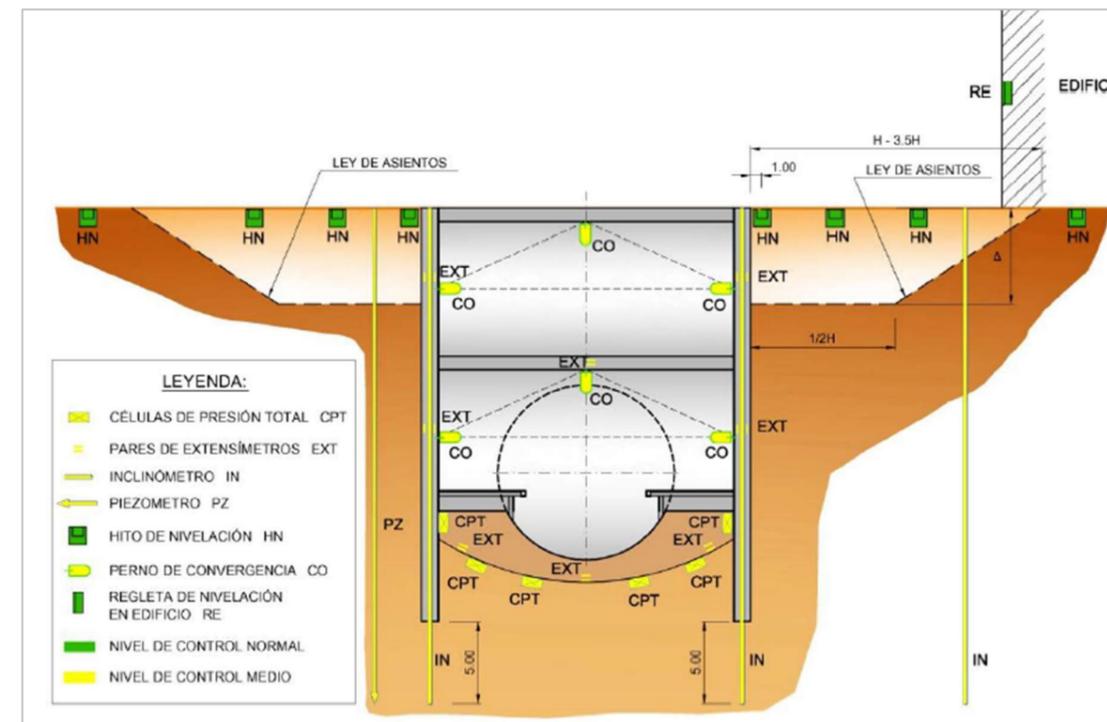


Figura 9. Esquema de disposición de la instrumentación en túnel entre pantallas. (Fuente: Guía de AETOS)

Este indicador se va a evaluar en función del nivel de control que se debe realizar en cada caso. Estableciendo la siguiente escala de valores:

- Puntuación de 10 para la alternativa que necesite un nivel de control “Normal”
- Puntuación de 5 para la alternativa que necesite un nivel de control “Medio”
- Puntuación de 0 para la alternativa que necesite un nivel de control “Intenso”

Se obtienen las siguientes puntuaciones:

Tabla 6. Valoración plan de auscultación. (Fuente: Elaboración propia)

Alternativa	Nivel de control	Puntuación
1	Medio	5
2	Normal	10

## 2.6 Objetivo ambiental

Para evaluar cada indicador que se define dentro de este objetivo, se va a tener en cuenta si los impactos que se producen al entorno serán reversibles o no, asignándoles una puntuación en función del impacto que provoque cada alternativa.

Valor	Denominación
10	Impacto no significativo
9-7	Impacto compatible
6	Impacto moderado
5-4	
3-2	Impacto severo

- Impacto compatible: su recuperación es inmediata cuando cesa la actividad que se está desarrollando y no precisa medidas preventivas ni correctivas.
- Impacto moderado: no precisa de medidas preventivas ni correctivas, pero su recuperación requiere de cierto tiempo.
- Impacto severo: para su recuperación se precisan medidas correctivas y correctoras y, aun así, se necesita un período de tiempo largo para recuperar las condiciones iniciales.
- Impacto crítico: superior al aceptable y por lo tanto los daños que provoca son irreversibles, incluso adoptando medidas correctoras intensivas.

### 2.6.1 Calidad atmosférica y cambio climático

La afección de cada alternativa a la calidad atmosférica y al cambio climático puede ser muy difícil de cuantificar porque habría que considerar muchos elementos: maquinaria utilizada y todos los consumos energéticos de electricidad y combustible y la cantidad de materiales empleados en la ejecución de la obra, incluyendo su transporte.

Para simplificar este punto podemos suponer un factor de emisión de  $CO_2$  equivalente que englobe las emisiones por consumo de combustibles, electricidad, materiales de obra y las actividades de transportes en  $kg CO_2e/día de trabajo$ .

Se muestra una tabla con valores de factores de emisión de  $CO_2$  equivalente y la fuente de donde se han obtenido:

Descripción	Factor $CO_2e$	Fuente
Gasolina	3.613	$kg CO_2e/L$ EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook 2013
Gasoil	8.778	$kg CO_2e/L$ EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook 2013
Electricidad	0.254	$kg CO_2e/kWh$ Media mix eléctrico España Peninsular-Observatorio de la electricidad WWF 2014
Acero	1.629	$kg CO_2e/kg$ Base de datos Ecoinventv 2.0
Hormigón	318.72	$kg CO_2e/m^3$ Base de datos Ecoinventv 2.1
Material de construcción	0.074	$kg CO_2e/kg$ EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook 2013
Maquinaria	0.1292	$kg CO_2e/Tm km$ DEFRA UK 2011-Transport Emission Factors

Para calificar estos impactos, determinamos que las alternativas van a tener un impacto moderado sobre la calidad atmosférica y el cambio climático, por lo tanto, las puntuaciones de cada una van a estar entre 4 y 6 puntos.

#### 2.6.1.1 Alternativa 1

Realizando un cálculo con poca precisión pero que nos ayudará a comparar ambas alternativas, para esta primera alternativa se obtiene un factor de emisión total de **528  $tn CO_2e$** .

#### 2.6.1.2 Alternativa 2

Realizando el mismo cálculo para la segunda alternativa planteada, se obtiene un factor total de **1337  $tn CO_2e$** .

Calificando cada alternativa:

Tabla 7. Valoración calidad atmosférica y cambio climático. (Fuente: Elaboración propia)

Alternativa	Factor $CO_2e$ ( $tn CO_2e$ )	Puntuación
1	530	6
2	1337	4

### 2.6.2 Ruido y vibraciones

El ruido y las vibraciones se califican como un indicador de impacto compatible porque una vez terminadas las obras, el tránsito de trenes por las vías subterráneas va a producir ruidos y vibraciones casi imperceptibles en el entorno superficial. Sin embargo, es importante estudiar los niveles de ruido que se van a producir durante la ejecución de las obras.

En función del nivel de percepción de ruido por parte de los ciudadanos durante la ejecución de las obras:

- Nivel bajo: puntuación de 9.
- Nivel medio: puntuación de 8.
- Nivel alto: puntuación de 7.

#### 2.6.2.1 Alternativa 1

Toda la obra se ejecuta bajo el terreno, por lo que los ruidos y las vibraciones más importante que se produzcan, serán los debidos al tránsito de camiones que entran y salen de la obra.

#### 2.6.2.2 Alternativa 2

El proceso constructivo de esta segunda alternativa incluye una fase de trabajos previos en superficie y excavación a cielo abierto, por lo que la percepción de los ruidos por parte de la ciudadanía será mucho mayor que en el caso anterior.

Calificando este indicador:

Tabla 8. Valoración ruido. (Fuente: Elaboración propia)

Alternativa	Percepción del ruido	Puntuación
1	Nivel bajo	9
2	Nivel alto	7

### 2.6.3 Movimiento de tierras

Durante la ejecución de las obras se van a producir grandes excavaciones cuyas tierras deberán ser transportadas a vertedero o a zonas de acopio de material para volver a usarse posteriormente en la misma obra o en otras zonas.

Estos movimientos de tierras van a provocar un impacto calificado como compatible por parte de las alternativas, por lo tanto, la puntuación de estas va a variar entre 7 y 9.

### 2.6.3.1 Alternativa 1

La primera alternativa se planteaba con el método belga de construcción de túneles. Los movimientos de tierras que van a producirse son los asociados a la excavación en mina de la sección del túnel a lo largo de toda la traza.

Esta alternativa, durante el desarrollo de las obras, en la geomorfología urbana de la ciudad no va a provocar cambios, ya que todo el tramo se excava de forma subterránea sin afectar a la superficie.

La cantidad de tierras que se mueve en este caso es de:

- Excavaciones: 6275 m<sup>3</sup>
- Rellenos: 0 m<sup>3</sup>

### 2.6.3.2 Alternativa 2

El procedimiento “cut and cover” tiene un mayor movimiento de tierras. En este caso existen operaciones de excavación y de relleno.

La geomorfología urbana se ve muy afectada durante la fase de ejecución de las obras ya que se demuele la vía para excavar a cielo abierto. Sin embargo, al finalizar la obra, la calle queda como en la situación inicial previa a las actuaciones.

La cantidad de tierras que se mueve en este caso es de:

- Excavaciones: 12732.5 m<sup>3</sup>.
- Rellenos: 5741.2 m<sup>3</sup>.

Asignando las puntuaciones a cada alternativa:

Tabla 9. Valoración geomorfología. (Fuente: Elaboración propia)

Alternativa	Exc. neta (excavación - relleno)	Puntuación
1	6275	9
2	6991.3	7

## 2.7 Objetivo de afecciones

### 2.7.1 Afección al tráfico superficial

El estudio de este indicador puede realizarse en función del tiempo que se ocupa la vía pública y, por tanto, se interrumpe el tráfico en superficie.

- Valor 0: La duración de toda la obra. 100% de la duración.
- Valor 10: No se interrumpe el tráfico en ningún momento. 0% de la duración de la obra.

#### 2.7.1.1 Alternativa 1

Observando el plan de obra para esta alternativa, es posible que el tráfico superficial se vea afectado durante los trabajos previos a la obra y durante la colocación de los dispositivos de auscultación del túnel.

Afecta al tráfico 8 semanas de las 37 que dura la obra en total.

#### 2.7.1.2 Alternativa 2

Entre las actividades que se prevén ejecutar, se incluyen trabajos previos y excavación a cielo abierto, por lo tanto, observando el plan de obra, el tráfico en superficie se verá afectado durante gran parte del tiempo de ejecución.

Afecta al tráfico 36 de las 43 semanas de duración de la obra.

Calificando este indicador:

Tabla 10. Valoración afección al tráfico superficial. (Fuente: Elaboración propia)

Alternativa	% afección en tiempo	Puntuación
1	21.60%	7.84
2	87.70%	1.23

### 2.7.2 Afección al tráfico ferroviario subterráneo

El tráfico ferroviario, en principio no tendría que verse afectado por las obras del tramo que se diseña, ya que el servicio de TRAM termina en la estación de Luceros. Si bien, la actuación podría afectar al Tramo 0B en la parte más cercana a la estación de ADIF, aunque la superestructura ferroviaria no llega hasta el final de la prolongación por lo que tampoco afecta a las maniobras que realizan los trenes en ese tramo.

Asignando puntuaciones de 0 a 10 en función del tiempo de afección a este tipo de tráfico:

Tabla 11. Valoración afección al tráfico ferroviario subterráneo. (Fuente: Elaboración propia)

Alternativa	% afección en tiempo	Puntuación
1	0%	10
2	0%	10

## 2.8 Objetivo económico

### 2.8.1 Coste de ejecución

Para evaluar los costes de ejecución se ha consultado la Base de Datos de Construcción del IVE [6].

Se han considerado las actividades principales que realizar durante la ejecución de cada alternativa y se ha obtenido un presupuesto aproximado para cada una de ellas.

Tomamos como criterio de evaluación:

- Valor 10: alternativas con presupuesto inferior al 50% de la media.
- Valor 5: alternativas con presupuesto igual a la media.
- Valor 0: alternativas con presupuesto superior al 50% de la media.

#### 2.8.1.1 Alternativa 1

El presupuesto para la alternativa 1 es:

Tabla 12. Coste de ejecución – Alternativa 1. (Fuente: Elaboración propia)

CAPÍTULO	Cantidad	Ud	Precio (€)	Importe (€)	Importe total (€)	Anotaciones
<b>Movimiento de tierras</b>					245367.5	
Demoliciones	862.5	m3	27.3	23546.25		
Excavaciones	6275	m3	35.35	221821.25		
Rellenos	0	m3				
<b>Obra civil</b>					420357.77	
Sostenimiento bóveda	350	ud	49.62	17367		7 bulones/secc. Y 1secc/2metros.
Hormigonado bóveda	1517	m2	151.35	229597.95		
Sostenimiento hastiales	200	ud	44.83	8966		4 bulones/secc. Y 1secc/2metros
Hormigonado hastiales	135	m3	110.22	14879.7		
Hormigonado contrabóveda	1011	m2	147.92	149547.12		
<b>Instalaciones de seguridad provisionales</b>				2701.1	2701.1	Ventilación de 55kW; 9 pantallas iluminación; 1 foco en sección de avance
<b>Servicios afectados</b>				50000	50000	
<b>Reurbanización</b>	1150	m2	75.28	86572	86572	
<b>Auscultación del túnel</b>					3945.95	
Hitos de nivelación	4	ud	16	64		1 cada 25 metros
Arquetas de subsidencia	5	ud	60.3	301.5		1 sección con 5 arquetas
Base profunda de nivelación	1	Ud	212.3	212.3		
Regletas nivelación en edificios	6	ud	45	270		
Extensómetro de varilla simple	42.5	ml	22	935		4 secciones donde se colocan los extensómetros
Inclinómetro	49.5	ml	43.7	2163.15		3 inclinómetros
<b>Seguridad y salud</b>	100	ml		63867	63867	Caseta obra; protecciones colectivas e individuales; señalización; equipamiento casetas; coordinación...

**Presupuesto total: 872 811.32 €**

#### 2.8.1.2 Alternativa 2

Para la alternativa 2, se obtiene:

Tabla 13. Coste de ejecución – Alternativa 2. (Fuente: Elaboración propia)

CAPÍTULO	Cantidad	Ud.	Precio (€)	Importe (€)	Importe total (€)	Anotaciones
<b>Movimiento de tierras</b>					509809.685	
Demoliciones	862.5	m3	27.3	23546.25		
Excavaciones	12732.5	m3	35.35	450093.875		
Rellenos	5741.2	m3	6.3	36169.56		
<b>Obra civil</b>					804369.06	
Ejecución muretes guía	200	ml	138.76	27752		
Hormigonado muros pantalla	3050	m2	184.21	561840.5		
Hormigonado losa de cubierta	740.8	m2	151.35	112120.08		
Hormigonado losa de fondo	694	m2	147.92	102656.48		
<b>Instalaciones de seguridad provisionales</b>	100	ml		9584.1	9584.1	Arriostramiento provisional pantallas; ventilación de 55kW; 9 pantallas iluminación; 1 foco en sección de avance
<b>Servicios afectados</b>				150000	150000	
<b>Reurbanización</b>	1150	m2	75.28	86572	86572	
<b>Auscultación del túnel</b>					430	
Hitos de nivelación	10	ud	16	160		1 cada 25 metros y 6 en la sección de control de subsidencias
Regletas nivelación en edificios	6	ud	45	270		
<b>Seguridad y salud</b>	100	ml		42578	42578	Caseta obra; protecciones colectivas e individuales; señalización; equipamiento casetas; coordinación

**Presupuesto total: 1 603 342.845 €**

Evaluando y asignando la puntuación a cada alternativa:

Tabla 14. Valoración coste de ejecución. (Fuente: Elaboración propia)

Alternativa	Presupuesto (€)	Puntuación
<b>1</b>	872811.32	7.95
<b>2</b>	1603342.845	2.05

### 3 COMPARACIÓN Y SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Tras analizar cada indicador de forma individual para cada alternativa, procedemos a unificar y comparar los resultados obtenidos. Los valores de los pesos ponderados de cada indicador son:

Tabla 15. Evaluación de las alternativas según los indicadores. (Fuente: Elaboración propia)

OBJETIVO	INDICADOR	PESO	Alternativa 1		Alternativa 2	
			Puntuación	Valor ponderado	Puntuación	Valor ponderado
Objetivo funcional	Tiempo ejecución	0.50	2.4	1.2	7.6	3.8
	Plan de auscultación	0.50	5	2.5	10	5
	<b>TOTAL</b>	<b>1.00</b>		<b>3.70</b>		<b>8.80</b>
Objetivo ambiental	Calidad atmosférica y cambio climático	0.30	6	1.8	4	1.2
	Ruido y vibraciones	0.30	9	2.7	7	2.1
	Geomorfología	0.40	9	3.6	7	2.8
	<b>TOTAL</b>	<b>1.00</b>		<b>8.100</b>		<b>6.10</b>
Objetivo de afecciones	Tráfico en superficie	0.5	7.84	3.92	1.23	0.615
	Tráfico ferroviario subterráneo	0.5	10	5	10	5
	<b>TOTAL</b>	<b>1.00</b>		<b>8.920</b>		<b>5.615</b>
Objetivo económico	Coste ejecución	1.00	7.95	7.95	2.05	2.05
	<b>TOTAL</b>	<b>1.00</b>		<b>7.95</b>		<b>2.05</b>

Tabla 16. Evaluación final de las alternativas según los objetivos. (Fuente: Elaboración propia)

ANÁLISIS COMPARATIVO	PESO	Alternativa 1		Alternativa 2	
		Puntuación	Valor ponderado	Puntuación	Valor ponderado
Objetivo funcional	0.15	3.70	0.56	8.80	1.32
Objetivo ambiental	0.20	8.10	1.62	6.10	1.22
Objetivo de afecciones	0.35	8.92	3.12	5.62	1.97
Objetivo económico	0.30	7.95	2.39	2.05	0.61
<b>TOTAL</b>	<b>1.00</b>		<b>7.68</b>		<b>5.12</b>

A la vista de la puntuación final sobre los objetivos fijados, la alternativa más adecuada para el diseño del tramo de túnel es la **Alternativa 1: Construcción mediante técnicas de excavación en mina – Método Belga**.

Para comprobar el resultado que se ha obtenido y corroborar que la alternativa 1 es la mejor opción, se ha decidido realizar un análisis mediante el método TOPSIS. A continuación, se muestran los pasos seguidos y los resultados obtenidos.

1. Construcción de la matriz de decisión.

Pesos	0.15	0.2	0.35	0.3
<b>Criterios de decisión</b>	<b>Obj. Funcional</b>	<b>Obj. Ambiental</b>	<b>Obj. De afecciones</b>	<b>Obj. Económico</b>
<b>Alternativa 1</b>	3.70	8.1	8.92	7.95
<b>Alternativa 2</b>	8.80	6.1	5.62	2.05

Los valores son las puntuaciones que ha obtenido cada alternativa sobre cada objetivo.

2. Normalización de la matriz de decisión.

Pesos	0.15	0.2	0.35	0.3
<b>Criterios de decisión</b>	<b>Obj. Funcional</b>	<b>Obj. Ambiental</b>	<b>Obj. De afecciones</b>	<b>Obj. Económico</b>
<b>Alternativa 1</b>	0.388	0.799	0.846	0.968
<b>Alternativa 2</b>	0.922	0.602	0.533	0.250

3. Matriz normalizada y ponderada por los pesos establecidos para cada criterio.

Pesos	0.15	0.2	0.35	0.3
<b>Criterios de decisión</b>	<b>Obj. Funcional</b>	<b>Obj. Ambiental</b>	<b>Obj. De afecciones</b>	<b>Obj. Económico</b>
<b>Alternativa 1</b>	0.058	0.160	0.296	0.290
<b>Alternativa 2</b>	0.138	0.120	0.187	0.075

4. Obtención de la solución ideal positiva y negativa para cada criterio.

Criterios de decisión	Obj. Funcional	Obj. Ambiental	Obj. De afecciones	Obj. Económico
<b>A+</b>	0.138	0.160	0.296	0.290
<b>A-</b>	0.058	0.120	0.187	0.075

5. Obtención de la distancia euclidiana y de la proximidad relativa a la solución ideal.

	d+	d-	R	Ranking
<b>Alternativa 1</b>	0.080	0.245	0.754	1
<b>Alternativa 2</b>	0.245	0.080	0.246	2

Podemos comprobar finalmente que, tal y como se había concluido, la alternativa que más se acerca a la solución óptima positiva es la **Alternativa 1: Construcción mediante técnicas de excavación en mina – Método Belga**.

## 4 BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] J. V. MARTÍ, F. GONZÁLEZ, and V. YEPES, *Temas de procedimientos de construcción. Métodos y equipos de excavación en túnel*. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. Ref. 2004.835. Valencia, 52 pp., 2004.
- [2] M. Romana Ruiz, “RECOMENDACIONES DE SOSTENIMIENTO PARA TÚNELES.” REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, 2000.
- [3] ADIF, “NAP 2-3-1.0+M1 Túneles - ADIF”.
- [4] Ministerio de Fomento. Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria, *Instrucción Ferroviaria de Gálibos. Orden FOM 1630/2015, de 14 de julio*.
- [5] Diario Oficial de la Unión Europea, “REGLAMENTO (UE) N o 1303/2014 DE LA COMISIÓN.”
- [6] “IVE \_ Instituto Valenciano de la Edificación.”
- [7] G. Técnica, I. Y. Auscultación, J. Tébar, M. Secretario, and J. O. Escobar, “GUIA TÉCNICA [INSTRUMENTACIÓN Y AUSCULTACIÓN EN EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES URBANOS [AETOS] | 2 DE TÚNELES URBANOS GRUPO DE TRABAJO 11-20 PROBLEMAS URBANOS. SOLUCIONES SUBTERRÁNEAS PRESIDENTE CARLOS OTEO MAZO.”



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

## **ANEXO 3: COMPROBACIONES GEOTÉCNICAS DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA**

---

Diseño Geotécnico de túnel ferroviario de conexión de la línea 1 del TRAM con la estación intermodal de Alicante.

---

*Presentado por*

Provincial Gallardo, Olga

---

*Para la obtención del*

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

*Curso: 2021/2022*

*Fecha: Septiembre de 2022*

*Tutor: Cuesta García, César*





## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO DEL TÚNEL</b>	<b>5</b>
2.1	DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	5
2.2	APLICACIÓN AL CASO EN ESTUDIO	7
<b>3</b>	<b>CÁLCULO DE TENSIONES Y DEFORMACIONES</b>	<b>8</b>
3.1	DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	8
3.2	GEOMETRÍA DEL MODELO	10
3.3	IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO NUMÉRICO	10
3.4	RESULTADOS	12
3.5	CONCLUSIONES	14
<b>4</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>15</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. RECOMENDACIONES PARA LA EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO DE TÚNELES EXCAVADOS EN ROCA. (FUENTE: BIENIAWSKI 1989)	5
TABLA 2. CLASIFICACIÓN MODIFICADA DE BIENIAWSKI EN SUBCLASES Y COMPARACIÓN CON LA ORIGINAL (FUENTE: ROMANA 2000)	5
TABLA 3. RECOMENDACIONES PARA LA EXCAVACIÓN DE TÚNELES DE 10-14 M DE ANCHO. (FUENTE: ROMANA, 2000)	5
TABLA 4. RECOMENDACIONES PARA EL SOSTENIMIENTO DE TÚNELES DE 10-14 M DE ANCHO (FUENTE: ROMANA, 2000)	6
TABLA 5. UNIDADES EN EL PERFIL GEOTÉCNICO DE CÁLCULO	10
TABLA 6. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS SEGÚN EL MODELO DE COMPORTAMIENTO DE MOHR COULOMB. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	10
TABLA 7. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS SEGÚN EL MODELO DE COMPORTAMIENTO DE HOEK-BROWN. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	10
TABLA 8. ESFUERZOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN LA SECCIÓN. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	14

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. SECCIÓN TRANSVERSAL – ALTERNATIVA 1. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	7
FIGURA 2. PERFIL LONGITUDINAL DEL TRAMO DE TÚNEL. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	7
FIGURA 3. ELEMENTOS TRIANGULARES DE 6 Y 15 NODOS DE MALLA EN 2D. (FUENTE: PLAXIS 2D MANUALS [2])	8
FIGURA 4. LEY $\sigma - \varepsilon$ DEL COMPORTAMIENTO ELASTO-PLÁSTICO PERFECTO. (FUENTE: PLAXIS 2D MANUALS)	8
FIGURA 5. CRITERIO DE ROTURA DE MOHR COULOMB EN TENSIONES EFECTIVAS. (FUENTE: PLAXIS 2D MANUALS)	9
FIGURA 6. SUPERFICIES DE FLUENCIA DE MOHR COULOMB EN EL ESPACIO DE TENSIONES PRINCIPALES. (FUENTE: PLAXIS 2D MANUALS)	9
FIGURA 7. CRITERIO DE ROTURA DEL MODELO HOEK-BROWN EN TENSIONES PRINCIPALES. (FUENTE: PLAXIS 2D MANUALS)	9
FIGURA 8. SUPERFICIES DE PLASTIFICACIÓN DEL MODELO HOEK-BROWN EN TENSIONES PRINCIPALES. (FUENTE: PLAXIS 2D MANUALS)	9
FIGURA 9. ESQUEMA DEL MODELO DE CÁLCULO DEL TÚNEL. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	10
FIGURA 10. MODELO DE CÁLCULO DEL TÚNEL. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	10
FIGURA 11. DEFINICIÓN DE LA MALLA DE ELEMENTOS FINITOS. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	11
FIGURA 12. EJEMPLO – DEFINICIÓN FASE 0. FASE INICIAL. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	11
FIGURA 13. PUNTOS DE CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS Y TENSIONES. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	12
FIGURA 14. PUNTOS DE PLASTIFICACIÓN Y ROTURA DEL TERRENO EN FASE 1. EXCAVACIÓN DE LA BÓVEDA. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	12
FIGURA 15. CONVERGENCIA DE LA SECCIÓN. EXCAVACIÓN DESTROZA COMPLETA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	12
FIGURA 16. CONVERGENCIA DE LA SECCIÓN. EXCAVACIÓN DESTROZA POR FASES. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	12
FIGURA 17. ESFUERZOS AXILES EN LA SECCIÓN. EXCAVACIÓN DESTROZA COMPLETA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	13
FIGURA 18. ESFUERZOS AXILES EN LA SECCIÓN. EXCAVACIÓN DESTROZA POR FASES. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	13
FIGURA 19. MOMENTO FLECTORES EN LA SECCIÓN. EXCAVACIÓN DESTROZA COMPLETA. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	14
FIGURA 20. MOMENTO FLECTORES EN LA SECCIÓN. EXCAVACIÓN DESTROZA POR FASES. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	14



# 1 INTRODUCCIÓN

En este anexo se tratará de definir el procedimiento de construcción y determinar el sostenimiento que utilizar en el túnel, así como calcular las principales tensiones y deformaciones que se van a producir en el terreno una vez esté completamente terminado el tramo.

Para conseguir estos hitos, se van a emplear dos tipos de procedimientos: un método empírico con el que se establecerán el método de excavación y los elementos de sostenimiento más adecuados y otro método numérico para, finalmente, calcular las tensiones y deformaciones y comprobar que el sostenimiento predefinido es adecuado.

## 2 EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO DEL TÚNEL

Para determinar el método de excavación y el tipo de sostenimiento necesario para el problema que se está estudiando, se van a utilizar como referencia las *RECOMENDACIONES DE SOSTENIMIENTO PARA TÚNELES* de M. Romana Ruiz. [1]

### 2.1 Descripción del método

En este artículo, se describen una serie de recomendaciones para la excavación de túneles en función de la clasificación geomecánica de los macizos rocosos. En España la clasificación geomecánica más utilizada es la de BIENIAWSKI (1976, 1979 y 1989), en función del índice RMR (“Rock mass rating”). Esta clasificación distingue entre 5 clases (I, II, III, IV, V) desde “Muy buena” a “Muy mala” según el índice RMR. Cada clase cubre un intervalo de 20 puntos.

La clasificación de BIENIAWSKI se presenta en la siguiente tabla junto con las recomendaciones de excavación y sostenimiento que plantea.

Tabla 1. Recomendaciones para la excavación y sostenimiento de túneles excavados en roca. (Fuente: BIENIAWSKI 1989)

CLASE	RMR	EXCAVACIÓN (PASE)	SOSTENIMIENTO		
			BULONES (Longitud en m)	HORMIGÓN PROYECTADO	CERCHAS METÁLICAS
I Muy buena	81-100	Sección completa (3 m)	Ocasionalmente	No necesario	No necesarias
II Buena	61-80	Sección completa (1-1.5 m). Sostenimiento terminado a 20 m del avance	Localmente en clave. L = 3 m. Espaciados a 2.5 m con mallazo ocasional	50 mm en clave donde sea necesario	No necesarias
III Media	41-60	Avance y destroza (1.5-3 m en avance) Sostenimiento empezado en el frente y terminado a 10 m del frente	Sistemáticamente en clave y hastial. L = 4 m. Espaciados 1.5 a 2.0 m. Mallazo en clave.	50-100 mm en clave. 30 mm en hastiales.	No necesarias
IV Mala	21-40	Avance y destroza (1.0-1.5 m en avance) Sostenimiento empezado simultáneamente con la excavación y hasta 10 m del frente	Sistemáticamente en clave y hastiales. L = 4 a 5 m. Espaciados a 1.0-1.5 m. Con mallazo.	100-150 mm en clave. 100 mm en hastiales.	Ligeras a medias, espaciadas a 1.5 m donde sea necesario
V Muy mala	1-20	Galerías múltiples. (0.5-1.5 m en avance) Sostenimiento simultáneo con la excavación. Hormigón proyectado inmediatamente después de la voladura.	Sistemáticamente en clave y hastiales. L = 5-6 m. Espaciados a 1.0-1.5 m. Con mallazo. Bulonar la contrabóveda.	150-200 mm en clave. 150 mm en hastiales. 50 mm en el frente.	Medias a pesadas, espaciadas a 0.75 m, con foro y longarinas donde sea necesario. Contrabóveda

ROMANA propone la división de cada clase en 2 subclases, ya que defiende que, dentro de cada clase, el valor más alto y más bajo pueden identificar a macizos muy diferentes entre sí. Se presenta a continuación la tabla con la comparación entre ambas clasificaciones.

Tabla 2. Clasificación modificada de BIENIAWSKI en subclases y comparación con la original (Fuente: ROMANA 2000)

RMR	MODIFICADO		BIENIAWSKI ORIGINAL	
	CLASE	DENOMINACIÓN	DENOMINACIÓN	CLASE
100	la	EXCELENTE	MUY BUENA	I
90	lb	MUY BUENA		
80	II a	BUENA A MUY BUENA	BUENA	II
70	II b	BUENA A MEDIA		
60	III a	MEDIA A BUENA	MEDIA	III
50	III b	MEDIA A MALA		
40	IV a	MALA A MEDIA	MALA	IV
30	IV b	MALA A MUY MALA		
20	V a	MUY MALA	MUY MALA	V
10	V b	PÉSIMA		

Las recomendaciones de excavación que propone M. Romana son adecuadas para túneles entre 10 y 14 metros de ancho, aunque recalca que simplemente son unas recomendaciones y que para cada caso habría que estudiar las circunstancias concretas de excavación y sostenimiento.

Tabla 3. Recomendaciones para la excavación de túneles de 10-14 m de ancho. (Fuente: ROMANA, 2000)

RMR	CLASE	LONGITUD DE PASE (m)		PARTICIÓN DE LA SECCIÓN	MÉTODO DE EXCAVACIÓN		
		MÁXIMA	RECOMENDADA				
100	I a		≥ 5	SECCIÓN COMPLETA CALOTA Y DESTROZA	TBM ABIERTO VOLADURAS ROZADORA		
90	I b		≥ 5				
80	II a	16.0	≥ 5				
70	II b	9.5	4/6				
60	III a	6.0	3/4				
50	III b	4.0	2/3				
40	IV a	2.5	1/2			GALERÍA DE AVANCE GALERÍAS MÚLTIPLES CONTRABO VEDA	ESCUDO FRESADO ESCARIFICACIÓN/PALA
30	IV b	1.75	1				
20	V a	1.0	0,5/0,75				
10	V b		0,5				
0							

- Notas**
- 1 La unidad para el pase es el metro (m)
  - 2 El pase máximo es el límite teórico según BIENIAWSKI
  - 3 El pase recomendado se refiere a la excavación en calota/avance y en caso de que exista galería de avance a la excavación de ensanche (y no a la propia galería)
  - 4 Las líneas continuas indican que el método es apropiado para el intervalo y se usa frecuentemente
  - 5 Las líneas de trazas indican que el método es posible para el intervalo y se usa a veces

Sobre las recomendaciones de excavación:

- Sección completa ( $RMR > 60$ ) Es posible a partir de  $RMR > 50$  y recomendable para  $RMR > 60$ .
- Calota y destroza ( $RMR > 30$ ). El gálibo mínimo para el trabajo en la calota es de 4.5 a 5 metros, por lo que, en túneles de altura reducida, la destroza puede ser muy pequeña.
- Galería de avance ( $10 < RMR < 40$ ). La ejecución de una galería de avance ligeramente por adelantado puede ser útil en terrenos de calidad media y túneles de gran anchura o en terrenos de calidad mala y túneles de ancho entre 10-12 metros.
- Galerías múltiples ( $0 < RMR < 30$ ). Se trata del método alemán con 2 o 4 galerías excavadas previamente en los hastiales. Se utilizan en terrenos de calidad muy mala (transición a los suelos).
- Contrabóveda ( $0 < RMR < 30$ ). Método complementario con los demás que requiere una construcción muy próxima a los frentes de excavación.

Los métodos de excavación más adecuados para cada caso son:

- TBM abierto ( $RMR > 60$ ). Es adecuado cuando las necesidades de sostenimiento son reducidas y el sostenimiento puede instalarse desde la cabeza de perforación.
- Voladuras ( $RMR > 40$ ). Este método es versátil y frecuente, aunque no suele resultar práctico en terrenos de calidad mala a muy mala.
- Rozadora ( $30 < RMR < 90$ ). Su principal limitación es la resistencia mecánica de la roca matriz. El ciclo de trabajo es más corto y la excavación y sostenimiento son más compatibles cuando se trabaja con rozadoras que cuando se usan TBM o voladuras.
- Fresado ( $RMR < 30$ ). Cada vez es más frecuente el uso de máquinas que montan una fresa de potencia media sobre un brazo de retroexcavadora. Son como rozadoras de tamaño pequeño que facilitan los trabajos en secciones de gálibo ancho o el perfilado del gálibo final.
- Escarificación ( $RMR < 20$ ). Los macizos de calidad muy mala pueden excavar como suelos, con palas convencionales y/o escarificarse.
- Escudo ( $RMR < 20$ ). Este método resulta muy adecuado para terrenos de calidad muy mala.

Finalmente, se hace referencia también a la longitud de pase: longitud máxima de excavación sin colocar sostenimiento. Se dice que se podrían alcanzar avances superiores a 5 metros a partir de  $RMR > 60$ , que coincide con el intervalo donde se recomienda a excavación a sección completa. Por otra parte, para macizos de media a mala calidad, se recomienda una longitud de pase entre 4 y 1 metros.

En cuanto a las recomendaciones de sostenimiento [1], se distinguen 5 métodos.

- Bulonado.
- Hormigón proyectado.
- Armadura.
- Cerchas.
- Métodos especiales.

Para cada método se especifican unas recomendaciones de ejecución según el índice RMR de la roca matriz.

Tabla 4. Recomendaciones para el sostenimiento de túneles de 10-14 m de ancho (Fuente: ROMANA, 2000)

RMR	CLASE	BULONADO			HORMIGÓN PROYECTADO			ARMADURA		CERCHAS		MÉTODOS	
		L (m)	b/m <sup>2</sup>	s' (m)	e (cm)	CAPAS	SELLADO	MALLAZO	FIBRAS	TIPO	S' (m)	ESPECIALES	
100	I a	-	-	-	-	-	-						
90	I b	2/3	0.10	Ocasional	2	Ocasional	No	SENCILLO OCASIONAL	FIBRAS	TH-21	No		
80	II a	3	0.10/0.25	Ocasional	5	1	Ocasional						No
70	II b	3	0.25/0.44	2 x 2/1.5 x 1.5	6-10	1/2	Si				No		
60	III a	3/4	0.44/0.66	1.5 x 1.5/1 x 1.5	8-15	2/3	Si	SENCILLO OCASIONAL	FIBRAS	TH-29	Ocasional		
50	III b	4	0.66/1	1 x 1.5/1 x 1	12-20	2/3	Si				1.5		
40	IV a	4/4.5	0.80/1	1 x 1.25/1 x 1	16-24	3	Si	DOBLE	FIBRAS	HEB	1	BERNOLD PARAGUAS	
30	IV b	4.5/5	1	1 x 1	20-30	3	Si				0.75/1		
20	V a	-	-	-	30-40	3/4	Si				0.5/0.75		
10	V b	<b>SISTEMAS ESPECIALES</b>											
0													

- Notas**
1. Las unidades para el bulonado son: L, longitud en metros (m); densidad en bulones por m<sup>2</sup> (b/m<sup>2</sup>) y s, espaciamiento en metros (m)
  2. La unidad para e, espesor mínimo de hormigón proyectado, es el centímetro (cm). No se ha tenido en cuenta la sobreexcavación.
  3. El número de capas de hormigón proyectado incluye la capa de sellado
  4. La unidad para S, separación entre cerchas, es el metro (m).
  5. Las líneas continuas indican que el método es apropiado para el intervalo y se usa frecuentemente
  6. Las líneas indican que el método es posible para el intervalo y se usa a veces.

## 2.2 Aplicación al caso en estudio

Para determinar el método de excavación y sostenimiento adecuado debemos tener en cuenta el perfil geotécnico del terreno donde se llevará a cabo la actuación.

La sección de túnel se diseña en bóveda semicircular de radio interior 4.63 metros, hastiales de 1.45 metros y una contrabóveda inferior.

Como ya se ha explicado, el plano de rodadura discurre con una pendiente del -2 % en dirección hacia la Avenida de la Estación. Conocemos que en el PK 0+000 del Tramo 0B, la plataforma ferroviaria se encuentra a 14 metros de profundidad, por lo que la sección transversal de unión del tramo con la estación intermodal estaría 12 metros bajo la superficie.

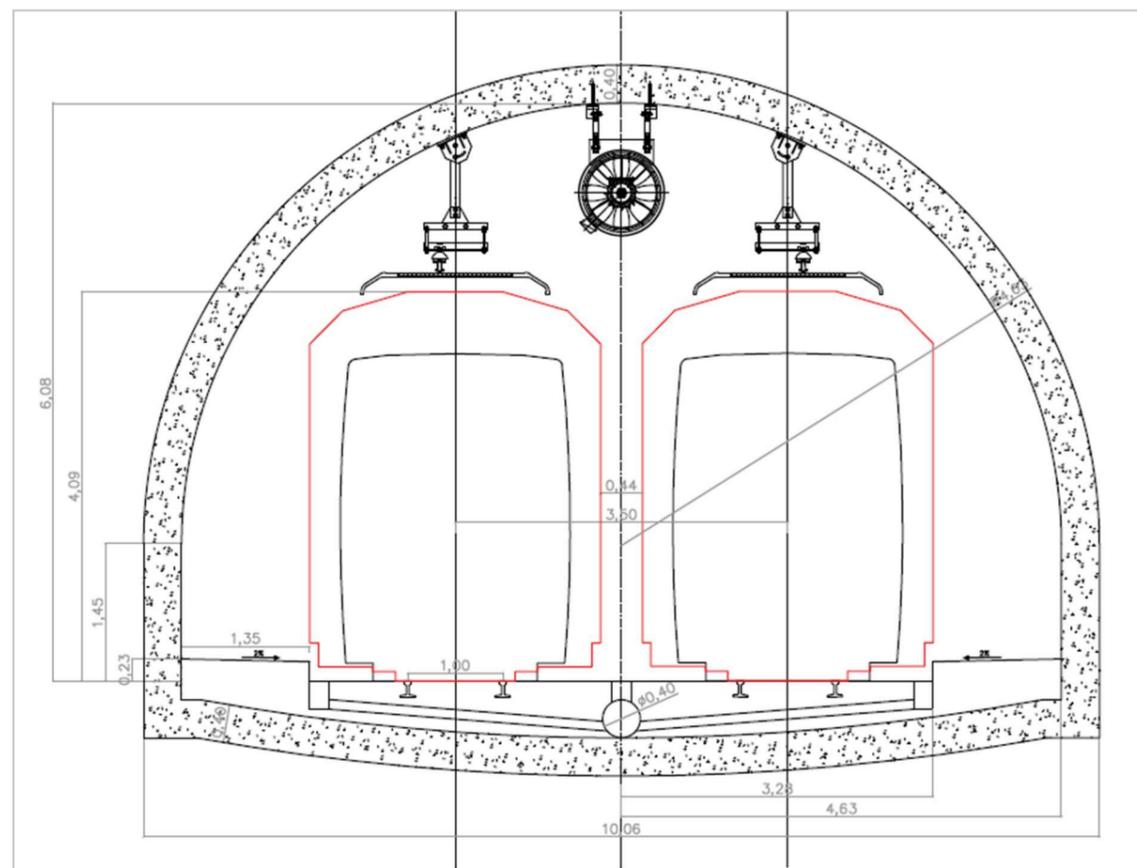


Figura 1. Sección transversal – Alternativa 1. (Fuente: Elaboración propia)

Conociendo la sección transversal y la profundidad a la que se va a construir el tramo de túnel, vamos al perfil geotécnico obtenido a partir de la campaña geotécnica para determinar qué estratos serán los afectados por las excavaciones.

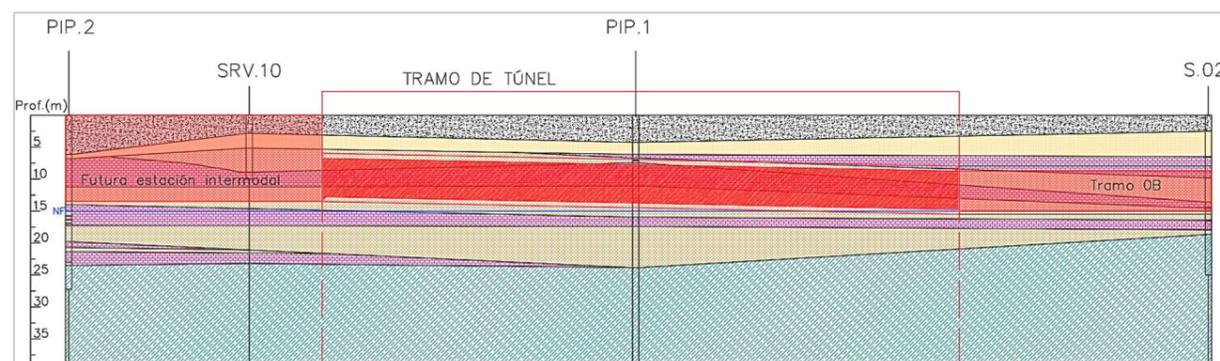


Figura 2. Perfil longitudinal del tramo de túnel. (Fuente: Elaboración propia)

Observando el perfil longitudinal, podemos determinar que la traza del túnel atravesará el nivel definido en el estudio geotécnico como “UNIDAD 2: Calizas y conglomerados” dividida en dos subunidades. La subunidad 2a compuesta por una formación rocosa de diferentes texturas de roca caliza y conglomerados que presentan altas resistencias a compresión, entre 8.3 y 34.3 MPa, llegando en algunas zonas a alcanzarse valores superiores a los 70 MPa. Al determinar los parámetros geotécnicos de esta unidad, se ha fijado que su índice RMR es 72, y, por lo tanto, el macizo se clasifica con Clase IIa y calidad “Buena a muy buena”.

Sin embargo, se define otra subunidad 2b compuesta por intercalaciones limoarcillosas de caliza lacustre. Esta subunidad supone una merca en la calidad y resistencia de la matriz rocosa. Los parámetros geotécnicos para las intercalaciones limoarcillosas se asemejan y se equiparan con los determinados para la Unidad 1: Coluvial de limos y limos arenosos con gravas, con unas propiedades muy inferiores a las detectadas en las subunidad 2a.

Por lo tanto, si se considera únicamente la subunidad 2a, y se aplica directamente el método de M. Romana, obtendríamos:

- Partición de la sección: Sección completa o calota y destroza.
- Método de excavación: TBM o rozadora.
- Longitud de pase: superior a 5 metros (recomendada).

Sin embargo, debemos tener en cuenta las intercalaciones limoarcillosas que se encuentran en la matriz rocosa y que hacen que su resistencia disminuya. Para esto se va a considerar que el índice RMR decrece hasta situarse en los valores del grupo de Clase IIIa – Calidad “Media a buena”, es decir, se reduce en 2 grupos la calidad del macizo. Con esto, los métodos de excavación adecuados serían:

- Partición de la sección: Calota y destroza.
- Método de excavación: Rozadora.
- Longitud de pase: de 3 a 4 metros (recomendada).

Para las Clase IIIa, los métodos de sostenimiento serían:

- Bulonado: longitud de los bulones entre 3 y 4 metros, y espaciamiento entre ellos de 1.5x1.5 o 1x1.5.
- Hormigón proyectado: espesor mínimo entre 8 y 15 cm aplicados en 2 o 3 capas y con una capa de sellado.
- Armadura: de mallazo ocasional o de fibras.
- Cerchas: de tipo TH-21 y con separación de 1.5 metros.

Conociendo las recomendaciones establecidas por Romana [1], podemos definir tanto el método de excavación como el sostenimiento definitivo para el tramo que se está diseñando.

El método de excavación se realizará mediante rozadora, con partición de la sección en bóveda y destroza, y una longitud de pase de 4 metros. Por otra parte, el método de sostenimiento que se propone es el hormigón proyectado con fibras con espesor de 4 cm más una capa de sellado, cerchas tipo TH-21/1.5 metros y bulonado con barras de acero corrugado B500S de  $\phi 25 \text{ mm}$  inyectado con mortero, con longitudes de bulón de 4 metros y espaciamientos en mallas de 1.5x1.5 metros entre ellos. El revestimiento final se ejecutará posteriormente mediante encofrado y hormigonado en masa.

Este diseño de excavación y sostenimiento podría modificar ligeramente el presupuesto y el plan de obra planteado de forma aproximada en el estudio de alternativas.

### 3 CÁLCULO DE TENSIONES Y DEFORMACIONES

Para determinar las tensiones y deformaciones que se van a inducir en el terreno debido a la obra proyectada, se recurre a un método numérico, concretamente el de elementos finitos mediante la utilización del software PLAXIS 2D.

#### 3.1 Descripción del método

El método de elementos finitos es un método numérico basado en la discretización o división del objeto de estudio en un número discreto de elementos conectados entre sí por un cierto número de puntos denominados “nodos”. Al conjunto de elementos en que se ha dividido el elemento mayor, se denomina malla. Además de los nodos, en cada elemento existen los llamados puntos de tensión (de Gauss), donde se calculan las tensiones.

El comportamiento de un punto cualquiera dentro de cada elemento estará regido por el desplazamiento de sus nodos, que actúan según las denominadas “funciones de forma”.

Este método permite estudiar el comportamiento de un modelo discretizado en términos de tensiones y deformaciones sometido a cargas externas.

La solución del problema que se obtiene es aproximada, y la precisión en los resultados depende de:

- El modelo de comportamiento de terreno que se aplique.
- Los parámetros de resistencia y deformabilidad que se introduzcan en el modelo además de las condiciones de contorno.
- La discretización que se realice sobre el modelo; los tipos de elementos que se utilicen (número de nodos y geometría de los elementos).

Si hablamos del método de elementos finitos aplicado a modelos bidimensionales, estaremos suponiendo comportamiento en tensión o deformación plana, dependiendo de la geometría y las cargas aplicadas.

Los modelos en 2D se discretizan mediante elementos triangulares o cuadrados, y en concreto, en el programa Plaxis, la malla puede estar formada por elementos triangulares de 6 o 15 nodos.

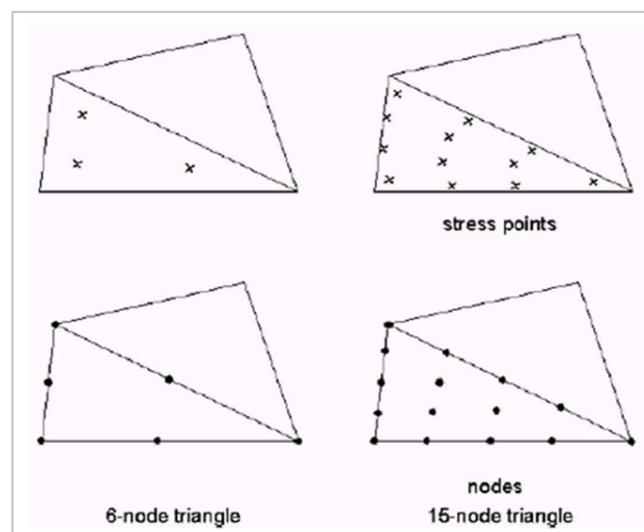


Figura 3. Elementos triangulares de 6 y 15 nodos de malla en 2D. (Fuente: Plaxis 2D Manuals [2])

El desplazamiento de un punto cualquiera dentro de cada elemento ( $\delta$ ) estará regido por el desplazamiento de cada uno de sus nodos ( $U$ ), que actúan según funciones de forma ( $N$ ).

$$\delta^e = N \cdot U^e$$

Las funciones de forma ( $N$ ) definirán de manera única el estado de  $\varepsilon$  dentro del elemento en función de los desplazamientos  $U$ .

$$\varepsilon^e = L\delta^e = LNU^e = BU^e$$

Siendo  $B$  la matriz de deformación o las derivadas de las funciones de forma.

Conocida  $\varepsilon$  y a partir de las propiedades constitutivas del material, pueden obtenerse las tensiones.

$$\sigma^e = D\varepsilon^e = DBU^e$$

Siendo  $D$  la matriz constitutiva del material.

Finalmente se determina un sistema de fuerzas que actúan concentradas en los nodos, de manera que se equilibren las tensiones, resultando una relación entre fuerzas y desplazamientos con la siguiente estructura:

$$P^e = KU^e$$

Siendo  $K$  a matriz de rigidez del elemento.  $K = \int B^T DB dv$ .

Las ecuaciones de equilibrio global se obtienen de la suma de los sistemas de ecuaciones de cada uno de los elementos.

$$P = KU$$

El programa Plaxis se subdivide a su vez en cuatro subprogramas: Input, Calculations, Output y Curves [2].

- Input: Es donde se crea el modelo: la geometría, materiales, parámetros, cargas aplicadas, condiciones de contorno y mallado.
- Calculations: se definen las fases y el modo de cálculo que se emplea. Y se ejecuta el cálculo.
- Output: aquí se muestran gráficamente los resultados obtenidos del cálculo.
- Curves: Almacena los resultados obtenidos en nodos o puntos de Gauss seleccionados previamente para poder representar gráficamente la evolución de tensiones, deformaciones y coeficientes de seguridad.

En lo que respecta a los modelos de comportamiento del terreno, Plaxis implementa varios[2], aunque de todos ellos, en este estudio se utilizarán dos en concreto:

- Modelo de Mohr-Coulomb: El comportamiento de los suelos no es lineal cuando se someten a incrementos de tensiones o fuerzas. El modelo de Mohr Coulomb es un modelo simple y que simula muy bien el comportamiento lineal elasto-plástico perfecto y puede ser utilizado para obtener una primera aproximación del comportamiento de un suelo.

El principio de la elasto-plasticidad se basa en que las deformaciones pueden descomponerse en una parte elástica (deformaciones recuperables) y en otra parte plástica (no recuperables).

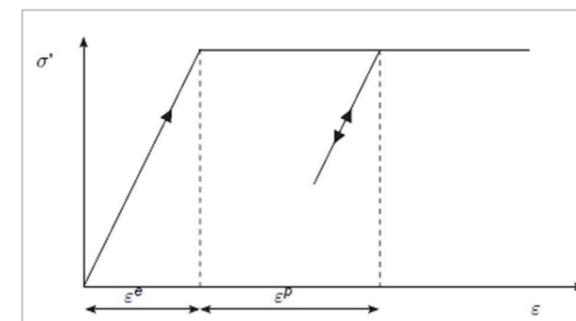


Figura 4. Ley  $\sigma - \varepsilon$  del comportamiento elasto-plástico perfecto. (Fuente: Plaxis 2D Manuals)

Los parámetros que se requieren para implementar este modelo son: Módulo de Young ( $E'$ ), Coeficiente de Poisson ( $\nu'$ ), ángulo de rozamiento interno ( $\phi$ ), cohesión ( $c$ ) y ángulo de dilatación ( $\psi$ ).

Este modelo se basa en la Teoría de la Plasticidad y, la rotura del terreno se alcanza cuando el material plastifica. En este caso, se trata de plasticidad no asociada y, por tanto, a partir del colapso del terreno, el comportamiento queda gobernado por una ley de fluencia, donde entra en juego la dilatación. Para plasticidad no asociada, los ángulos de rozamiento interno ( $\phi$ ) y de dilatación ( $\psi$ ) tienen diferente valor.

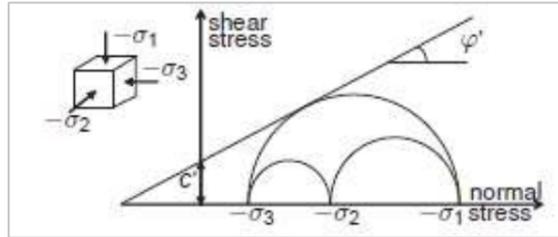


Figura 5. Criterio de rotura de Mohr Coulomb en tensiones efectivas. (Fuente: Plaxis 2D Manuals)

Las superficies de fluencia, en el espacio de tensiones principales, son seis y forman un cono piramidal. Dentro del cono el comportamiento es elástico, en la superficie del cono, se presenta el comportamiento plástico y al rebasar esa superficie cónica es cuando el terreno alcanza el colapso. También puede observarse que si dividimos el tensor de tensiones en parte esférica (responsable de las deformaciones volumétricas) y desviadora (responsable del cambio de forma), y observamos el material, con este modelo solo puede alcanzar el colapso por el incremento de la tensión desviadora, no se ve afectado por los cambios de volumen.

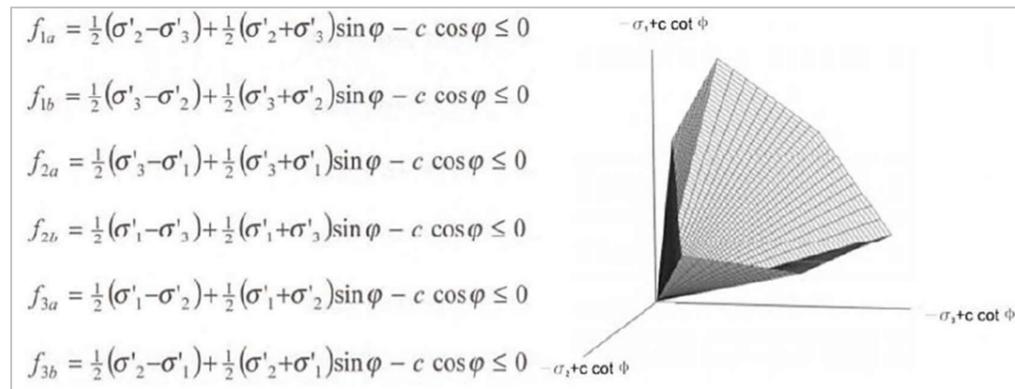


Figura 6. Superficies de fluencia de Mohr Coulomb en el espacio de tensiones principales. (Fuente: Plaxis 2D Manuals)

- Hoek-Brown Model: El criterio de rotura no lineal de Hoek-Brown es el que mejor se aproxima a la ley de resistencia de las rocas. Incorpora tanto la resistencia al corte como la resistencia a tracción en una formulación continua. Junto con la ley Hooke de comportamiento isotrópico lineal elástico, se forma el modelo Hoek-Brown que simula el comportamiento de las rocas.

Los principales parámetros que intervienen en este modelo son: Módulo de Young del macizo rocoso ( $E_{rm}$ ), Coeficiente de Poisson ( $\nu$ ), resistencia a la compresión uniaxial ( $|\sigma_{ci}|$ ), parámetro de roca intacta ( $m_i$ ), índice de resistencia geológica ( $GSI$ ), factor de perturbación ( $D$ ) y ángulo de dilatación ( $\psi_{máx}$ ).

El criterio de rotura de Hoek-Brown en tensiones principales y las superficies de rotura de este modelo de comportamiento se muestran en las siguientes imágenes:

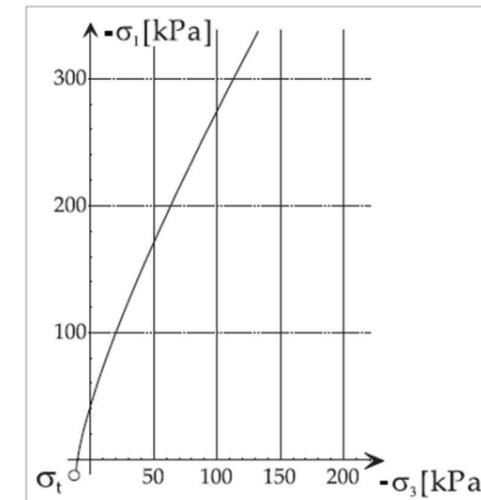


Figura 7. Criterio de rotura del modelo Hoek-Brown en tensiones principales. (Fuente: Plaxis 2D Manuals)

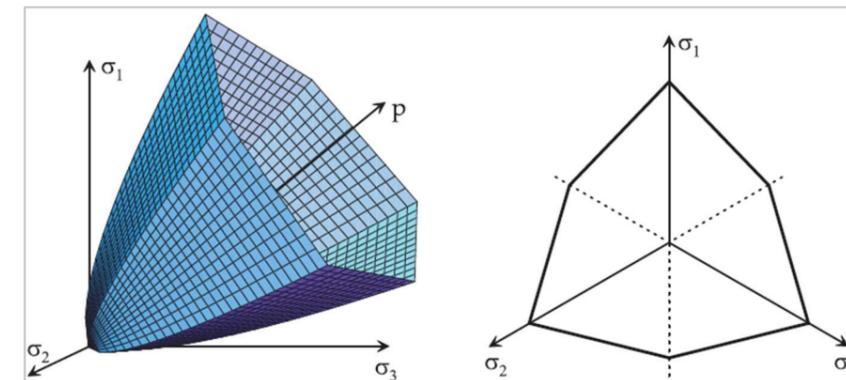


Figura 8. Superficies de plastificación del modelo Hoek-Brown en tensiones principales. (Fuente: Plaxis 2D Manuals)

### 3.2 Geometría del modelo

Una vez que se conoce el método que se va a emplear para el cálculo, hay que construir el modelo, estableciendo en primer lugar su geometría.

Nos encontramos ante una obra longitudinal, por lo que a lo largo de la traza las secciones de terreno que se atraviesan pueden variar considerablemente, por este motivo, para realizar el cálculo de tensiones y deformaciones se va a estudiar una sección concreta y se va a suponer que es la representativa de toda la traza.

Como simplificaciones se toma:

- Los estratos son horizontales en el ancho de la sección.
- Para tener cierta certeza sobre los espesores de cada uno de los estratos se toma la columna litológica extraída del sondeo PIP.1 como la representativa de toda la traza.

El esquema queda de la siguiente manera:

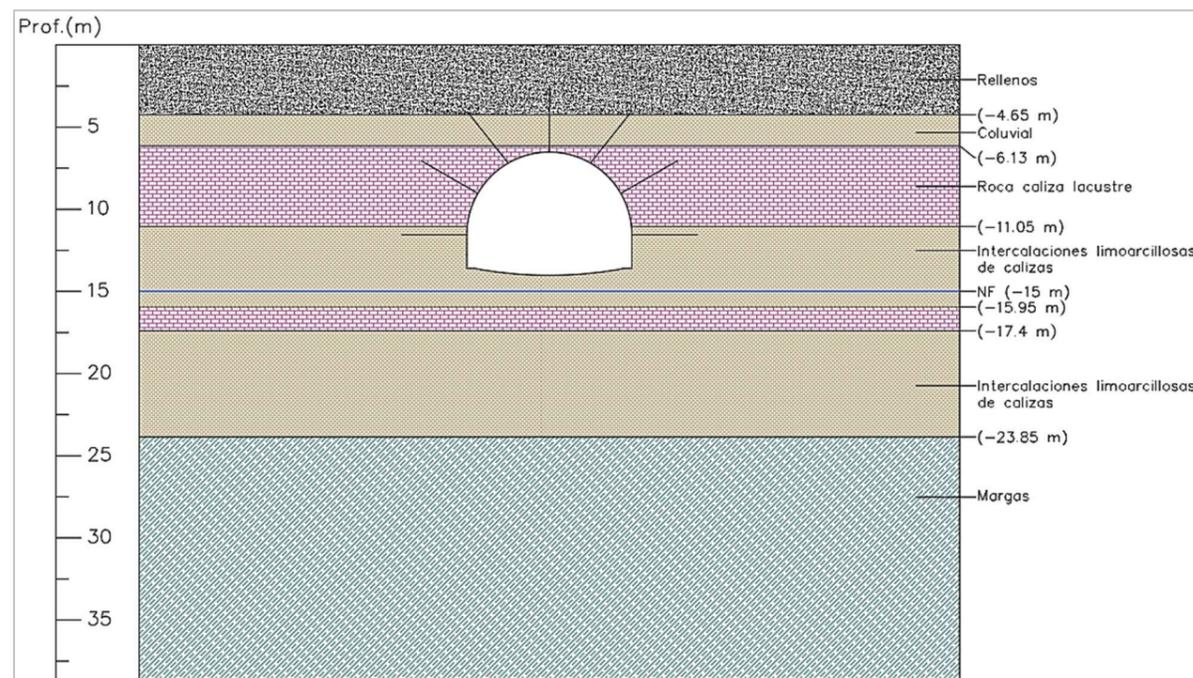


Figura 9. Esquema del modelo de cálculo del túnel. (Fuente: Elaboración propia)

En el esquema se observa cómo la sección de túnel queda encajada entre las unidades geotécnicas 2a y 2b. La primera de ellas muy resistente con características de roca de “Buena calidad” según la clasificación RMR y la segunda de ellas, con propiedades más cercanas a los suelos.

Los estratos que se consideran son:

Tabla 5. Unidades en el perfil geotécnico de cálculo

Unidad	Descripción	Profundidad de techo y base (m)
0	Rellenos	0-4.25
1	Coluvial	4.25-6.13
2a	Roca caliza lacustre	6.13-11.05
		15.95-17.4
2b	Intercalaciones limoarcillosas de roca caliza	11.05-15.95
		17.4-23.85
3	Margos	>23.85

### 3.3 Implementación del modelo numérico

Para ejecutar los cálculos numéricos y obtener los resultados deseados se debe incorporar tanto la geometría como las propiedades de cada uno de los estratos en el programa de elementos finitos con el que se vaya a calcular, en este caso PLAXIS 2D.

Se muestra en la figura siguiente la geometría del modelo introducido en el software de cálculo.

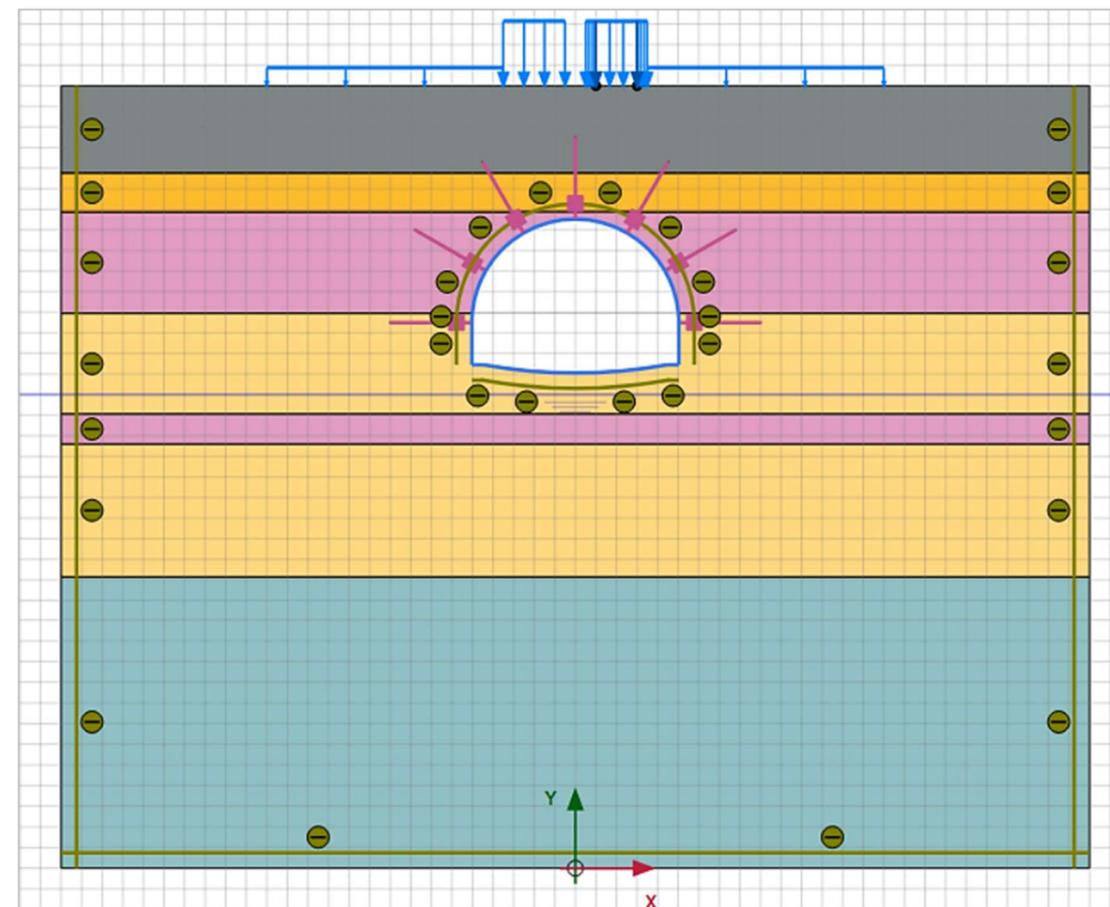


Figura 10. Modelo de cálculo del túnel. (Fuente: Elaboración propia)

Para los materiales presentes en el terreno se deben especificar ciertos parámetros. Estos se han determinado a partir de los resultados de la campaña geotécnica y se presentan a continuación. A los materiales con características de suelos, se les ha asignado comportamiento elasto-plástico perfecto (Modelo de Mohr Coulomb) y a la unidad rocosa (unidad 2a) se le ha asignado comportamiento de rocas (Modelo Hoek-Brown). Los parámetros requeridos en ambas situaciones van a ser diferentes:

Tabla 6. Parámetros geotécnicos según el modelo de comportamiento de Mohr Coulomb. (Fuente: Elaboración propia)

	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$k_x = k_y$ (cm/s)	E (Mpa)	$\nu$	$c'$ (MPa)	$\phi'$ (°)
Rellenos	18	20.5	1.00E-07	10	0.3	0	21
Coluvial	20.4	20.9	1.00E-08	22.5	0.4	18	34.2
Intercalaciones limoarcillosas de roca caliza	20.4	20.4	1.00E-08	22.5	0.4	18	34.2
Margos	21.4	21.4	1.00E-08	60	0.15	141	22.3

Tabla 7. Parámetros geotécnicos según el modelo de comportamiento de Hoek-Brown. (Fuente: Elaboración propia)

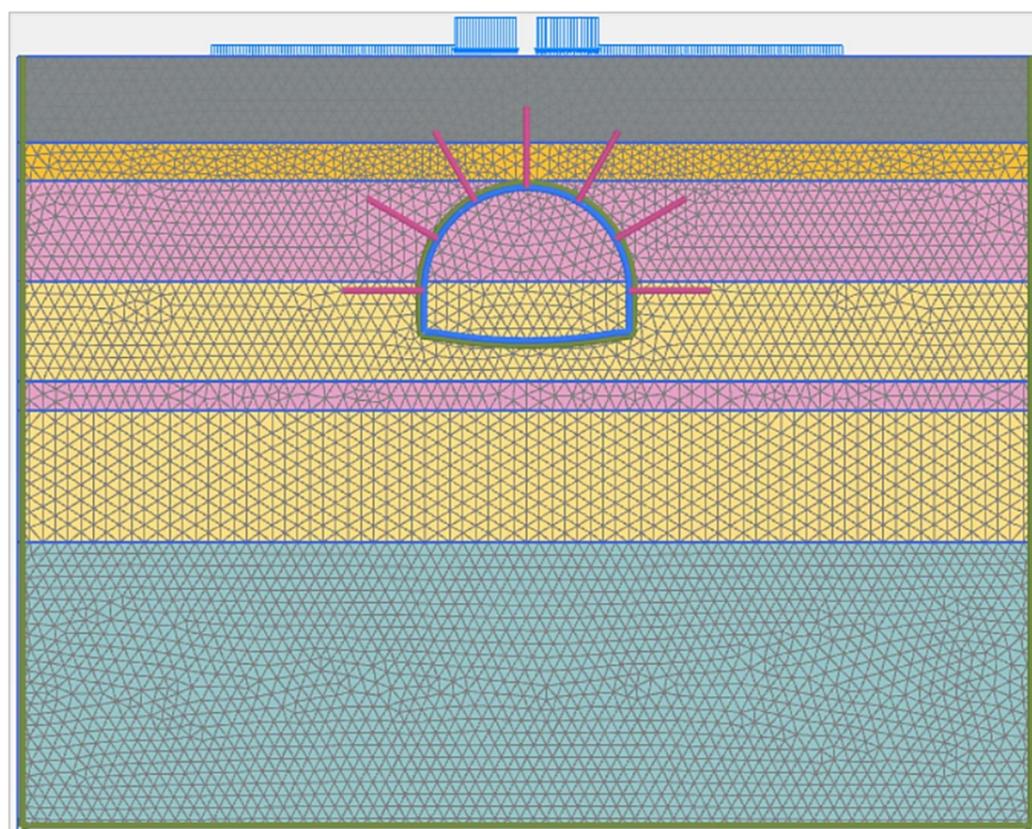
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$E_{rm}$ (Mpa)	$ \sigma_{ci} $ (Mpa)	$\nu$	$\psi$ (°)	$m_i$	GSI	D
Roca caliza lacustre	25.9	25.9	43223.77	35	0.2	0	8	72	0

Además de los materiales presentes en el terreno con sus características, debe considerarse el entorno urbano en el que se construirá esta obra, por lo que hay que aplicar unas cargas de tráfico en superficie que pueden llegar a influir significativamente en el cálculo de tensiones y deformaciones.

Estas cargas se incluyen conforme a lo establecido en la Instrucción de Acciones sobre Puentes (IAP) [3]. Se considerará únicamente las cargas verticales por sobrecarga de uso debidas al tráfico de vehículos. Se contempla:

- Ancho total ocupado por el tráfico: 30 metros.
- Mediana de 1 metro en el centro.
- 4 carriles virtuales a cada lado de la mediana, de 3 metros de ancho. Un área remanente de 2 metros a cada lado.
- Carga uniforme vertical en los dos carriles centrales:  $9 \text{ kN/m}$ .
- Carga uniforme vertical en el resto de los carriles y el área remanente:  $2.5 \text{ kN/m}$ .
- Vehículo pesado en el primer carril situado a la derecha de la mediana. Ruedas separas  $2 \text{ m}$ . Carga puntual sobre cada rueda:  $150 \text{ kN}$ .

Para continuar con el modelo, se genera la malla de elementos finitos, la cual se ha construido mediante elementos triangulares de 15 nodos.



<b>General</b>	
Model	Plane strain
Elements	15-Noded
<b>Acceleration</b>	
<b>Mesh</b>	
Nr of soil elements	10368
Nr of nodes	84735
Average element size	0.6493 m
Maximum element size	1.090 m
Minimum element size	0.2518 m

Figura 11. Definición de la malla de elementos finitos. (Fuente: Elaboración propia)

Desde el punto de vista constructivo, hay que definir unas fases de diseño, para las cuales se han estudiado dos alternativas diferentes. En la primera de ellas se considera la excavación de la destroza como una única etapa y tiene las siguientes fases de ejecución:

- Fase 0. Fase inicial. Se considera el terreno en su estado natural.
- Fase 1. Excavación de la bóveda.
- Fase 2. Ejecución de la bóveda y su sostenimiento.
- Fase 3. Excavación de los hastiales y destroza.
- Fase 4. Ejecución de los hastiales y su sostenimiento.
- Fase 5. Hormigonado de la contrabóveda.

Todas las fases de cálculo se consideran etapas de cálculo y se ejecutan mediante análisis plástico.

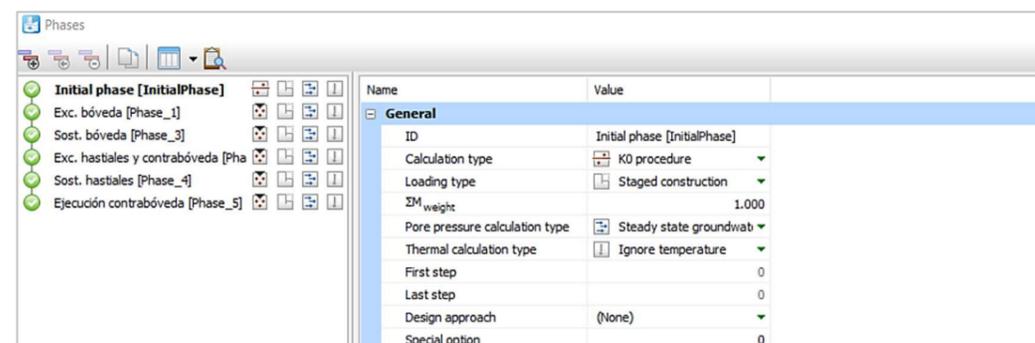


Figura 12. Ejemplo – Definición Fase 0. Fase inicial. (Fuente: Elaboración propia)

La segunda alternativa es plantear la excavación de la destroza en tres etapas: zona central, hastial izquierdo y hastial derecho:

- Fase 0. Fase inicial. Se considera el terreno en su estado natural.
- Fase 1. Excavación de la bóveda.
- Fase 2. Ejecución de la bóveda y su sostenimiento.
- Fase 3. Excavación zona central de la destroza.
- Fase 4. Excavación hastial izquierdo.
- Fase 5. Ejecución hastial izquierdo y su sostenimiento.
- Fase 6. Excavación hastial derecho.
- Fase 7. Ejecución hastial derecho y su sostenimiento.
- Fase 8. Hormigonado de la contrabóveda.

Esta se ajustaría en mayor medida al Método Belga, proceso de ejecución planteado en los capítulos anteriores.

Una vez definidas las fases de cálculo y previo al análisis del modelo, se escogen ciertos puntos de control para posteriormente analizar tanto desplazamientos como tensiones en los mismos. Estos puntos deberán seleccionarse en aquellas zonas que proporcionen una información de mayor interés.

En este caso se han tomado puntos en la clave de la bóveda, en la unión de esta con los hastiales, en la unión de los hastiales con la contrabóveda y en el centro de la contrabóveda. A continuación, se muestran los puntos seleccionados en este caso.



Figura 13. Puntos de control de desplazamientos y tensiones. (Fuente: Elaboración propia)

Se procede finalmente a la ejecución del cálculo y al análisis de resultados.

### 3.4 Resultados

Al realizar el cálculo inicial considerando la geometría y las cargas introducidas, se comprueba con el software que el terreno no puede resistir las tensiones, alcanzando el colapso en la primera fase de cálculo.

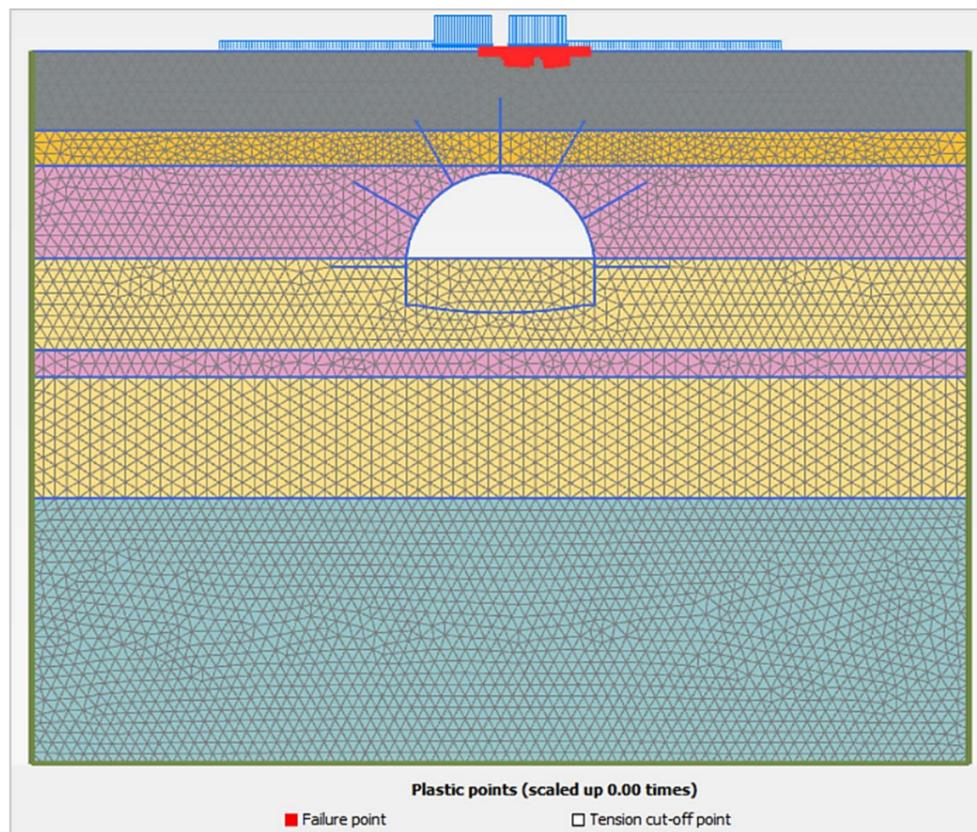


Figura 14. Puntos de plastificación y rotura del terreno en Fase 1. Excavación de la bóveda. (Fuente: Elaboración propia)

Por este motivo se han tomado algunas decisiones:

- Las cargas de tráfico descritas anteriormente se utilizan solo para el cálculo de la Fase 0. Fase inicial.
- Cortar el tráfico a los vehículos pesados durante el período de ejecución de la obra.
- Cortar el tráfico de los carriles centrales, uno a cada lado de la mediana. Estos soportaban una carga mayor de tráfico al ser considerados como los más desfavorables.

Se ejecutan de nuevo las fases de cálculo.

Para analizar los resultados, podemos hacerlo estudiando cada una de las alternativas definidas en el cálculo. Comenzando por el análisis de los desplazamientos verticales y para ello estudiamos la convergencia de la sección:

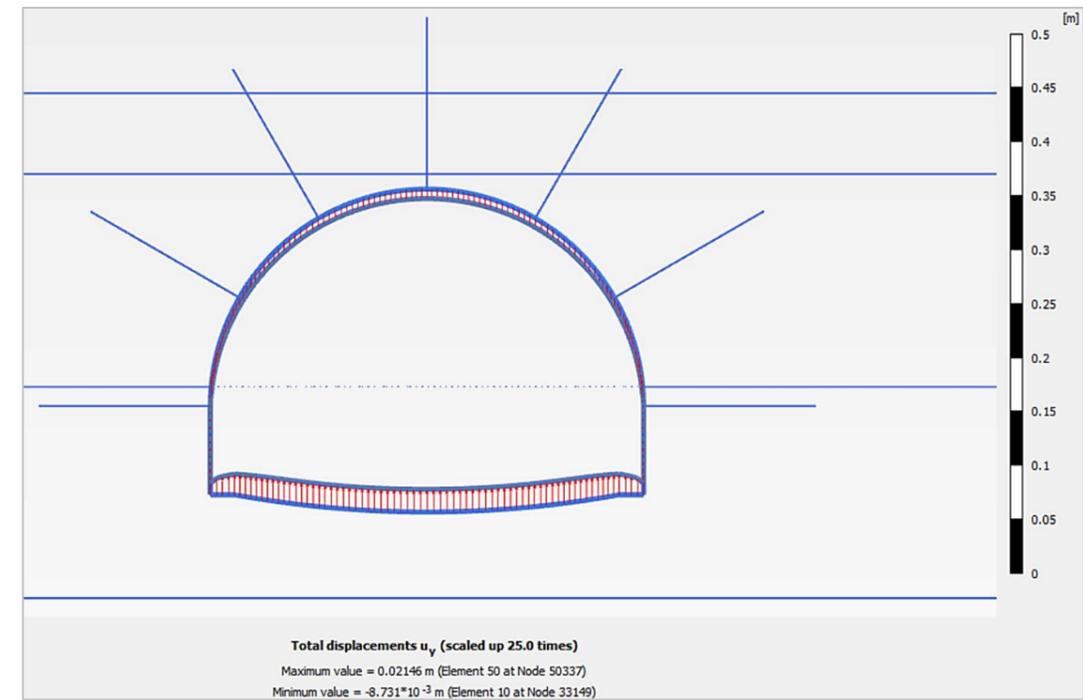


Figura 15. Convergencia de la sección. Excavación destroza completa (Fuente: Elaboración propia)

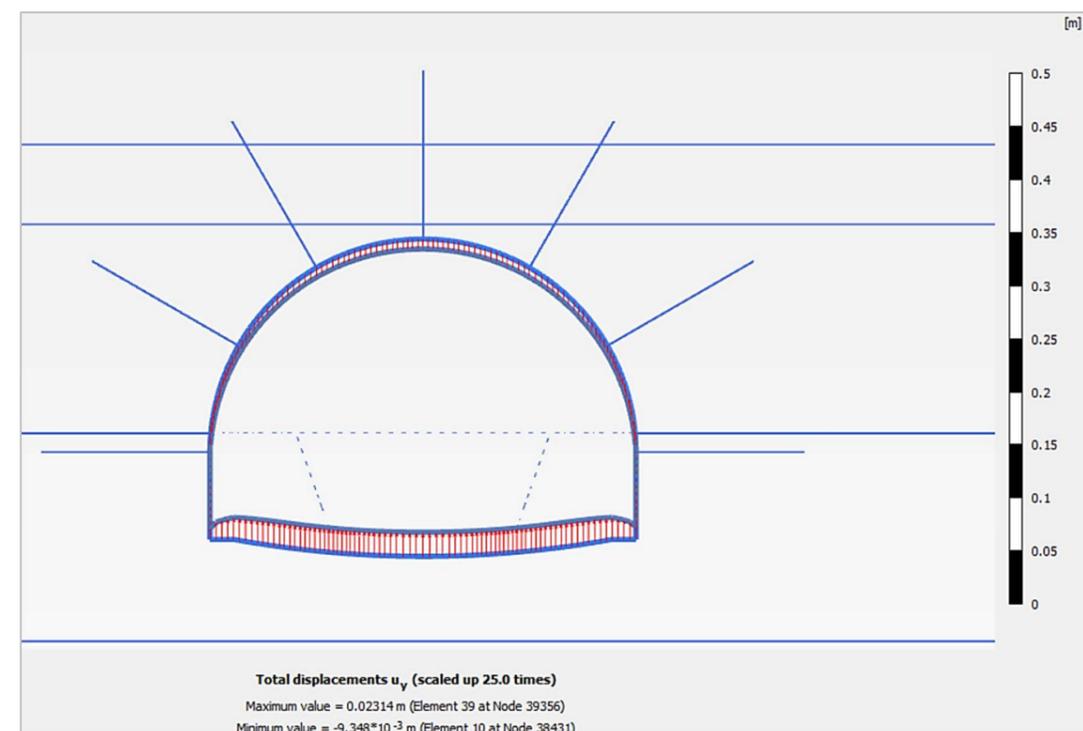


Figura 16. Convergencia de la sección. Excavación destroza por fases. (Fuente: Elaboración propia)

La convergencia total en el eje central de la sección sumando los desplazamientos de la clave y la contrabóveda es:

- Excavación destroza completa:  $convergencia = 29.7 \text{ mm}$
- Excavación destroza por fases:  $convergencia = 32.3 \text{ mm}$

En ambos casos el valor de la convergencia es similar.

Los valores de desplazamientos máximos se dan en la contrabóveda y estos son positivos, es decir, el terreno asciende. El levantamiento del fondo de la excavación se debe a la retirada de material que provoca la desaparición de parte de las tensiones geostáticas, lo que a su vez genera ese hinchamiento del terreno.

- Excavación destroza completa:  $u_{y,máx} = 0.02279 \text{ m} = 2.279 \text{ cm}$
- Excavación destroza por fases:  $u_{y,máx} = 0.02312 \text{ m} = 2.312 \text{ cm}$

Analizando los asientos en superficie, se observa cómo el mayor asiento se produce sobre la clave de la bóveda y para cada caso estudiado, se obtiene:

- Excavación destroza completa:  $u_{y,superficie} = -7.888 \cdot 10^{-3} \text{ m} = -7.9 \text{ mm}$
- Excavación destroza por fases:  $u_{y,superficie} = -8.488 \cdot 10^{-3} \text{ m} = -8.5 \text{ mm}$

Igualmente, el valor es parecido en las dos situaciones planteadas.

Estudiamos ahora las tensiones que van a producirse en el sostenimiento que se ha diseñado. Comenzando por los esfuerzos axiales:

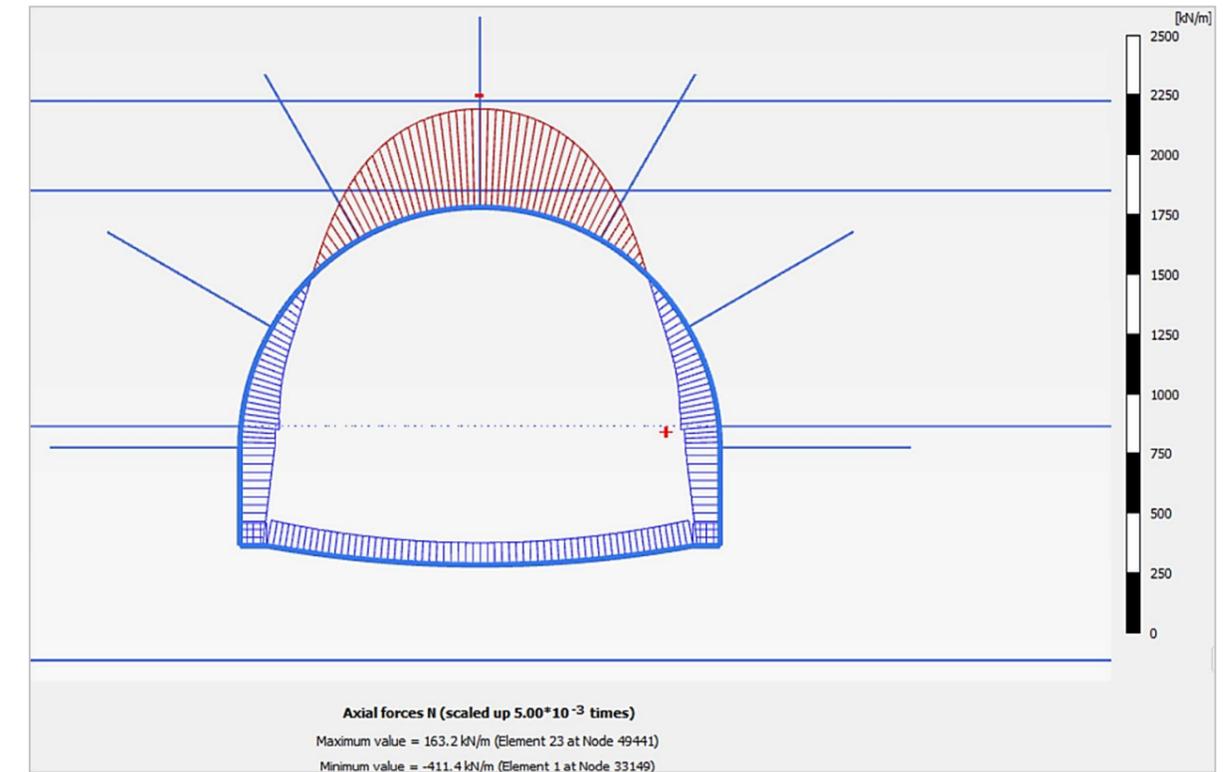


Figura 17. Esfuerzos axiales en la sección. Excavación destroza completa (Fuente: Elaboración propia)

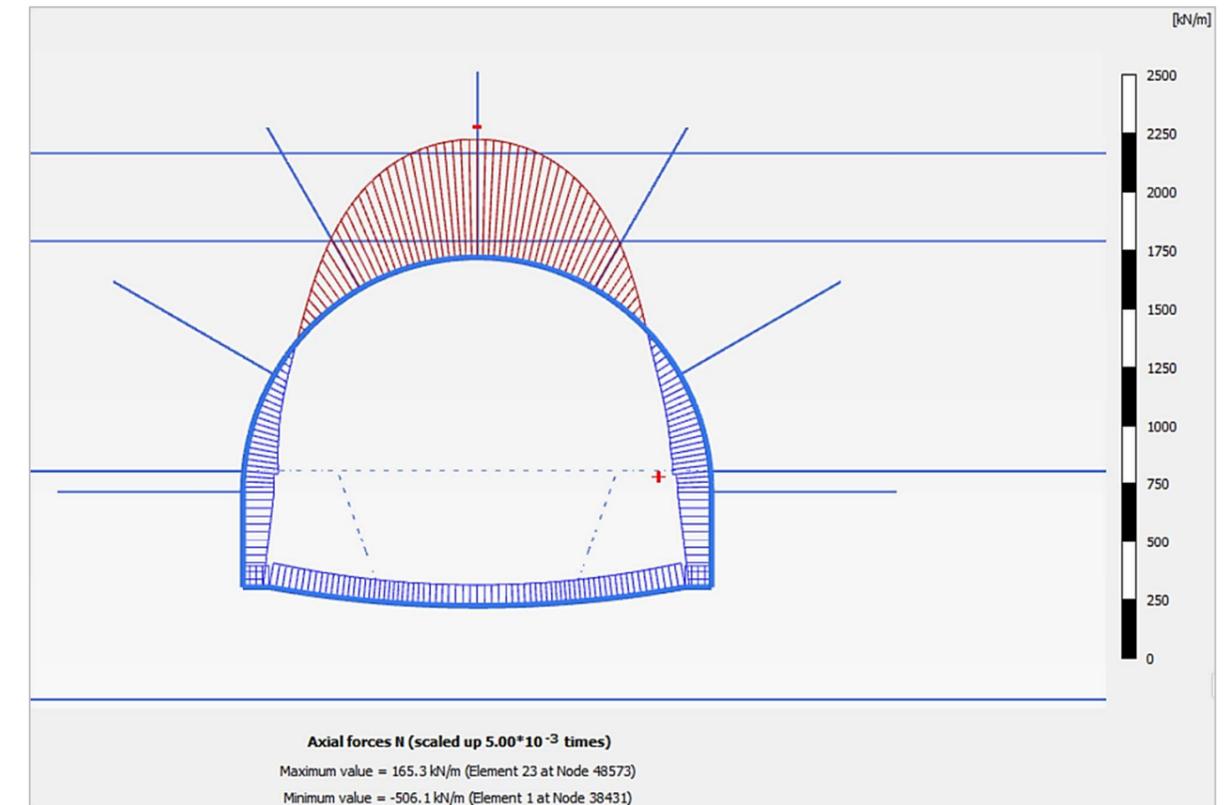


Figura 18. Esfuerzos axiales en la sección. Excavación destroza por fases. (Fuente: Elaboración propia)

Además, se pueden observar los momentos flectores que actuarán sobre el sostenimiento:

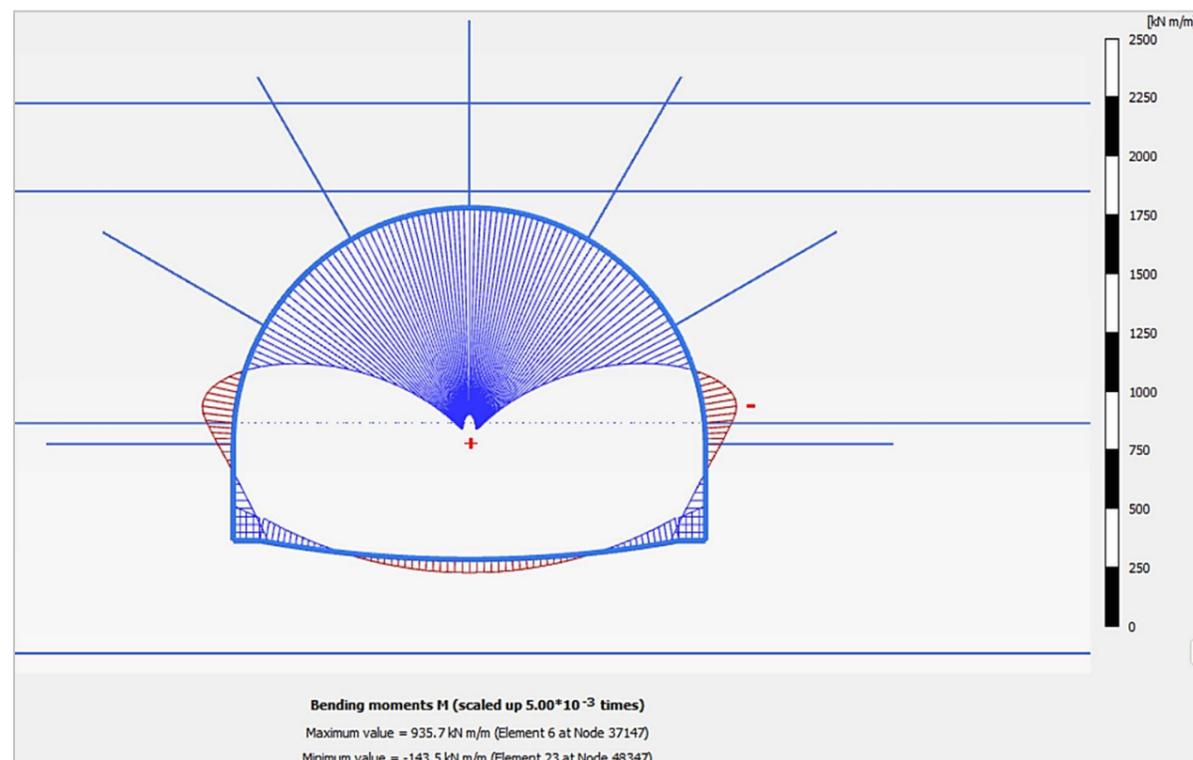


Figura 19. Momento flectores en la sección. Excavación destroza completa. (Fuente: Elaboración propia)

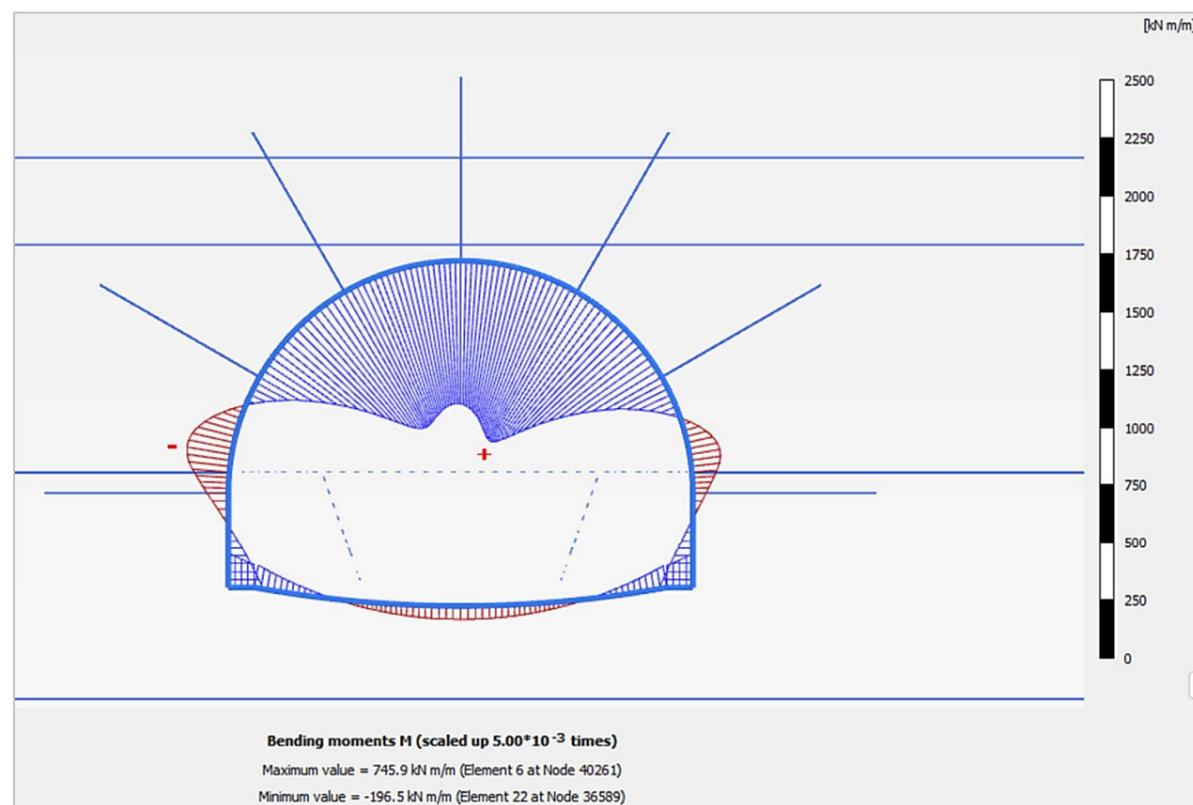


Figura 20. Momento flectores en la sección. Excavación destroza por fases. (Fuente: Elaboración propia)

Estudiando con detalle cada uno de los valores de los esfuerzos máximos y mínimos:

Tabla 8. Esfuerzos máximos y mínimos en la sección. (Fuente: Elaboración propia)

Alternativa	$N_{m\acute{a}x}$ (kN)	$N_{m\acute{i}n}$ (kN)	$M_{m\acute{a}x}$ (kN · m)	$M_{m\acute{i}n}$ (kN · m)
Exc. Destroza completa	163.2	-411.4	935.7	-143.5
Exc. Destroza por fases	165.3	-506.1	745.9	-196.5

Observando tanto los diagramas como los valores máximos y mínimos de los esfuerzos, cabe destacar:

- Los esfuerzos de compresión son tres veces mayores que los esfuerzos de tracción. Estos se dan en la zona central de la bóveda.
- Se observa que los momentos máximos positivos son notablemente mayores para el procedimiento de excavación de la destroza completa. Sin embargo, existe una asimetría que se produce en los valores de los momentos flectores cuando el proceso constructivo se lleva a cabo mediante la excavación de la destroza por fases.
- Esa construcción por fases provoca también que el momento máximo negativo sea en valor absoluto sensiblemente mayor que en el caso en que se excava la destroza en una única fase.

### 3.5 Conclusiones

Como conclusiones a estas comprobaciones geotécnicas:

- Los asentamientos en superficie serán mínimos. Esta es una cuestión importante ya que nos encontramos en un entorno urbano y cualquier asentamiento con valores alejados de lo adecuado puede afectar a las infraestructuras en superficie.
- La convergencia de la sección se encuentra en torno a los 3 cm y se debe fundamentalmente al asentamiento negativo que se produce en el fondo de la excavación, provocada por la eliminación de las presiones geostáticas. Para combatir este hinchamiento, si su valor fuese excesivo, se podrían disponer distintas soluciones como dar mayor curvatura a la contrabóveda, colocar anclajes o el uso de apoyos deformables bajo la contrabóveda.
- Los esfuerzos que actúan son moderados, por lo que el sostenimiento diseñado con bulones es adecuado y garantiza la estabilidad de la estructura.

## 4 BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] M. Romana Ruiz, “RECOMENDACIONES DE SOSTENIMIENTO PARA TÚNELES.” REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, 2000.
- [2] *PLAXIS Material Models CONNECT Edition V20*. 2015.
- [3] Ministerio de Fomento, “IAP-11\_Instrucción sobre Acciones en Puentes”.
- [4] J. V. MARTÍ, F. GONZÁLEZ, and V. YEPES, *Temas de procedimientos de construcción. Métodos y equipos de excavación en túnel*. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. Ref. 2004.835. Valencia, 52 pp., 2004.
- [5] ADIF, “NAP 2-3-1.0+M1 Túneles - ADIF”.
- [6] Ministerio de Fomento. Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria, *Instrucción Ferroviaria de Gálidos. Orden FOM 1630/2015, de 14 de julio*.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

## ANEXO 4: PLANOS

---

Diseño Geotécnico de túnel ferroviario de conexión de la línea 1 del TRAM con la estación intermodal de Alicante.

---

*Presentado por*

Provincial Gallardo, Olga

---

*Para la obtención del*

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

*Curso: 2021/2022*

*Fecha: Septiembre de 2022*

*Tutor: Cuesta García, César*





# ÍNDICE

---

<b>1 LOCALIZACIÓN</b>	<b>5</b>
<b>2 PERFIL GEOTÉCNICO</b>	<b>6</b>
<b>3 PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL</b>	<b>7</b>
<b>4 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS: SECCIONES TIPO</b>	<b>8</b>
4.1 ALTERNATIVA 1	8
4.2 ALTERNATIVA 2	9
<b>5 COMPROBACIONES GEOTÉCNICAS: ESQUEMA DE CÁLCULO</b>	<b>10</b>
<b>6 SOLUCIÓN FINAL</b>	<b>11</b>



TÍTULO DEL TFM:  
**DISEÑO GEOTÉCNICO DE TÚNEL FERROVIARIO DE CONEXIÓN  
 DE LA LÍNEA 1 DEL TRAM CON LA ESTACIÓN INTERMODAL DE  
 ALICANTE**

TÍTULO DEL PLANO:  
 Localización

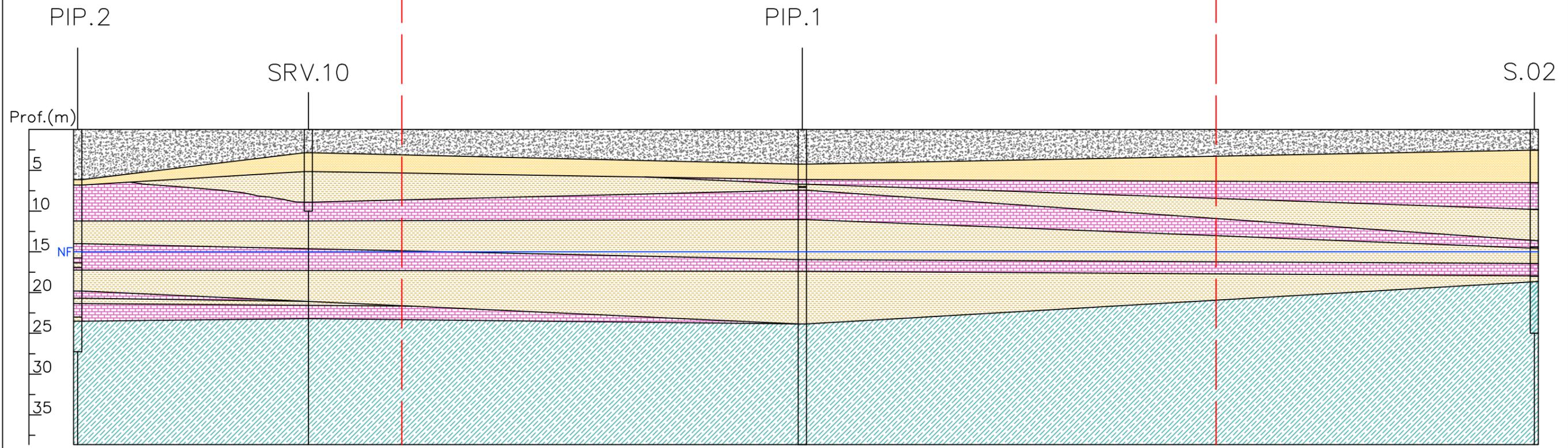
AUTORA:  
 Olga Provincial Gallardo  
 TUTOR:  
 César Cuesta García

FECHA:  
 Septiembre de  
 2022

ESCALA:  
 1:5 000

Nº DE PLANO:  
 1

TRAMO DE TÚNEL



LEYENDA:

-  Unidad 0: Rellenos antrópicos
-  Unidad 1: Coluvial
-  Unidad 2a: Calizas lacustres y conglomerados
-  Unidad 2b: Intercalaciones limoarcillosas
-  Unidad 3: Margas



**TÍTULO DEL TFM:**  
 DISEÑO GEOTÉCNICO DE TÚNEL FERROVIARIO DE CONEXIÓN  
 DE LA LÍNEA 1 DEL TRAM CON LA ESTACIÓN INTERMODAL DE  
 ALICANTE

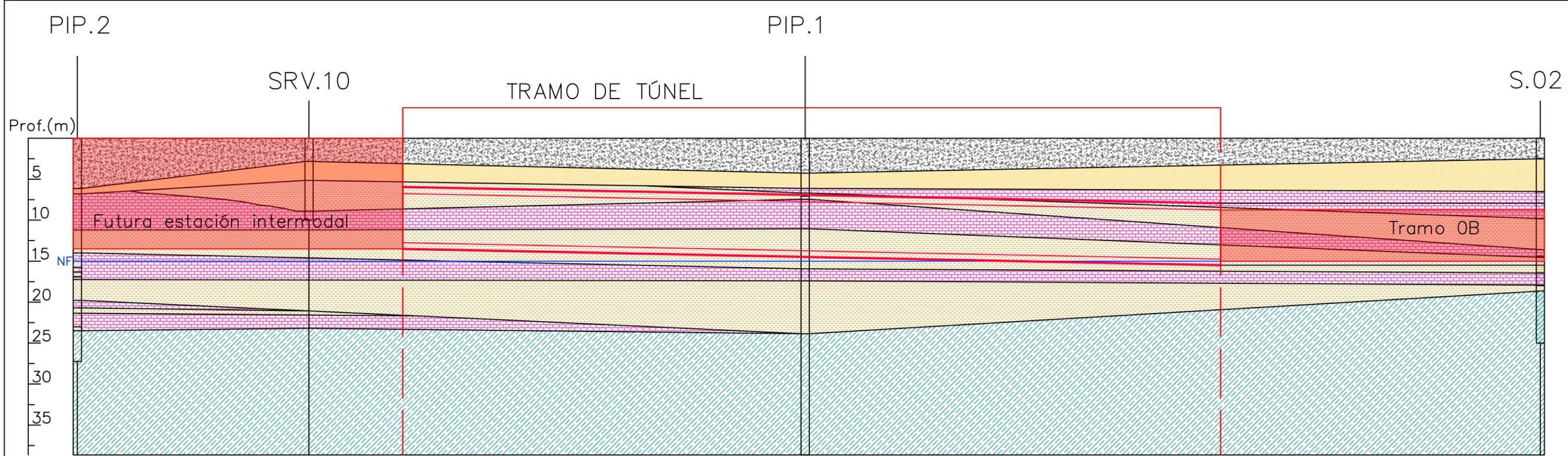
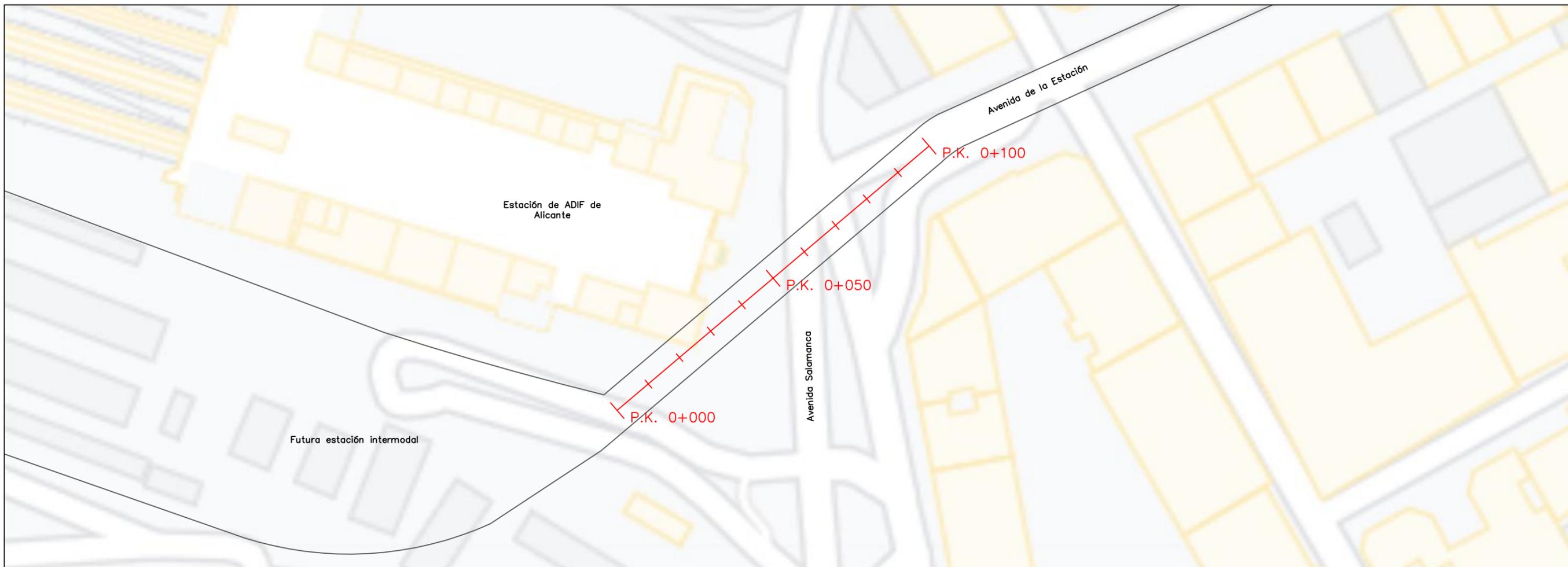
**TÍTULO DEL PLANO:**  
 Perfil geotécnico

**AUTORA:** Olga Provincial Gallardo  
**TUTOR:** César Cuesta García

**FECHA:**  
 Septiembre de  
 2022

**ESCALA:**  
 1:500

**Nº DE PLANO:**  
 2



**TÍTULO DEL TFM:**  
 DISEÑO GEOTÉCNICO DE TÚNEL FERROVIARIO DE CONEXIÓN  
 DE LA LÍNEA 1 DEL TRAM CON LA ESTACIÓN INTERMODAL DE  
 ALICANTE

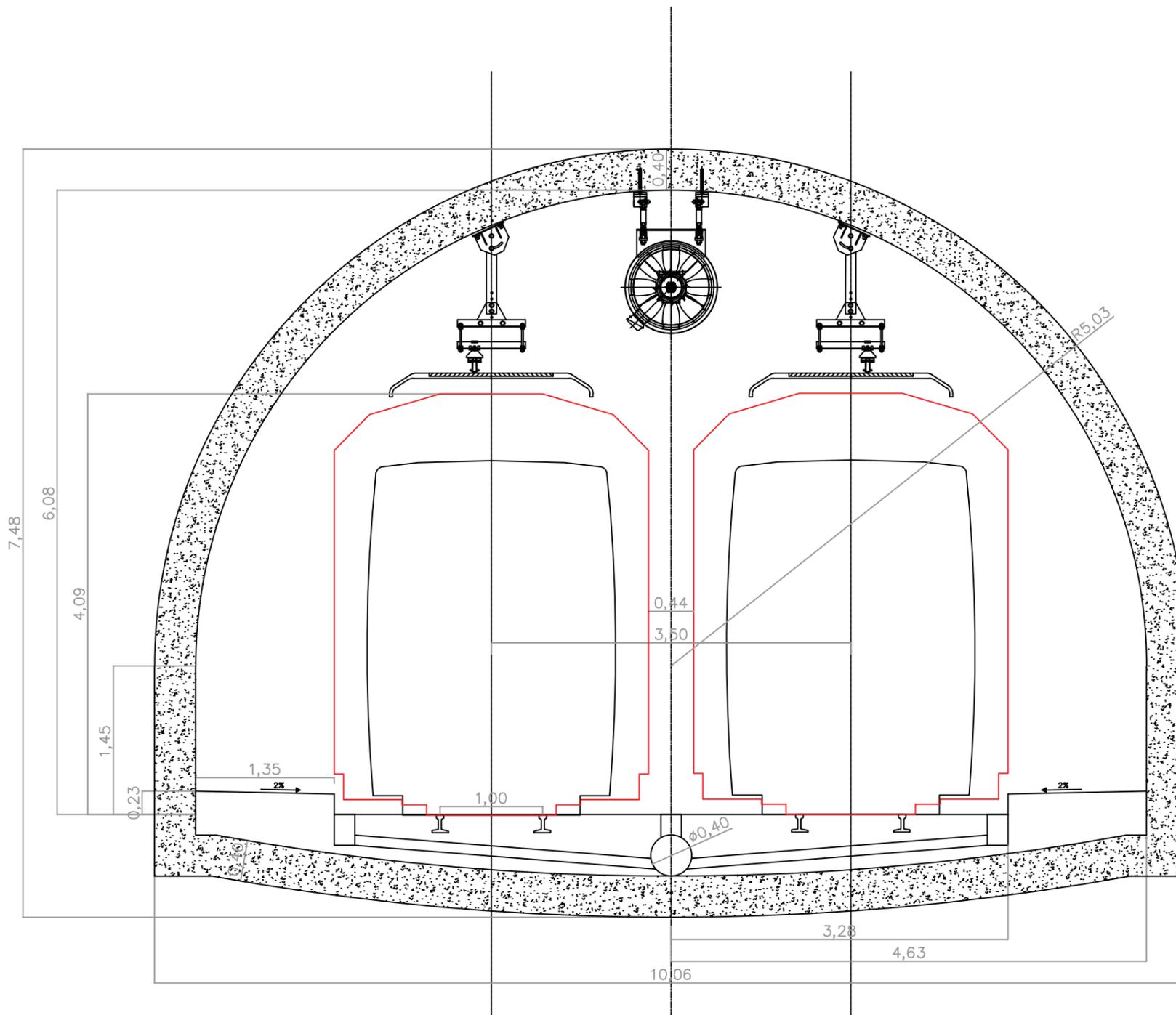
**TÍTULO DEL PLANO:**  
 Planta y perfil longitudinal

**AUTORA:** Olga Provincial Gallardo  
**TUTOR:** César Cuesta García

**FECHA:**  
 Septiembre de  
 2022

**ESCALA:**  
 1:1000  
 1:500

**Nº DE PLANO:**  
 3



**TÍTULO DEL TFM:**  
 DISEÑO GEOTÉCNICO DE TÚNEL FERROVIARIO DE CONEXIÓN  
 DE LA LÍNEA 1 DEL TRAM CON LA ESTACIÓN INTERMODAL DE  
 ALICANTE

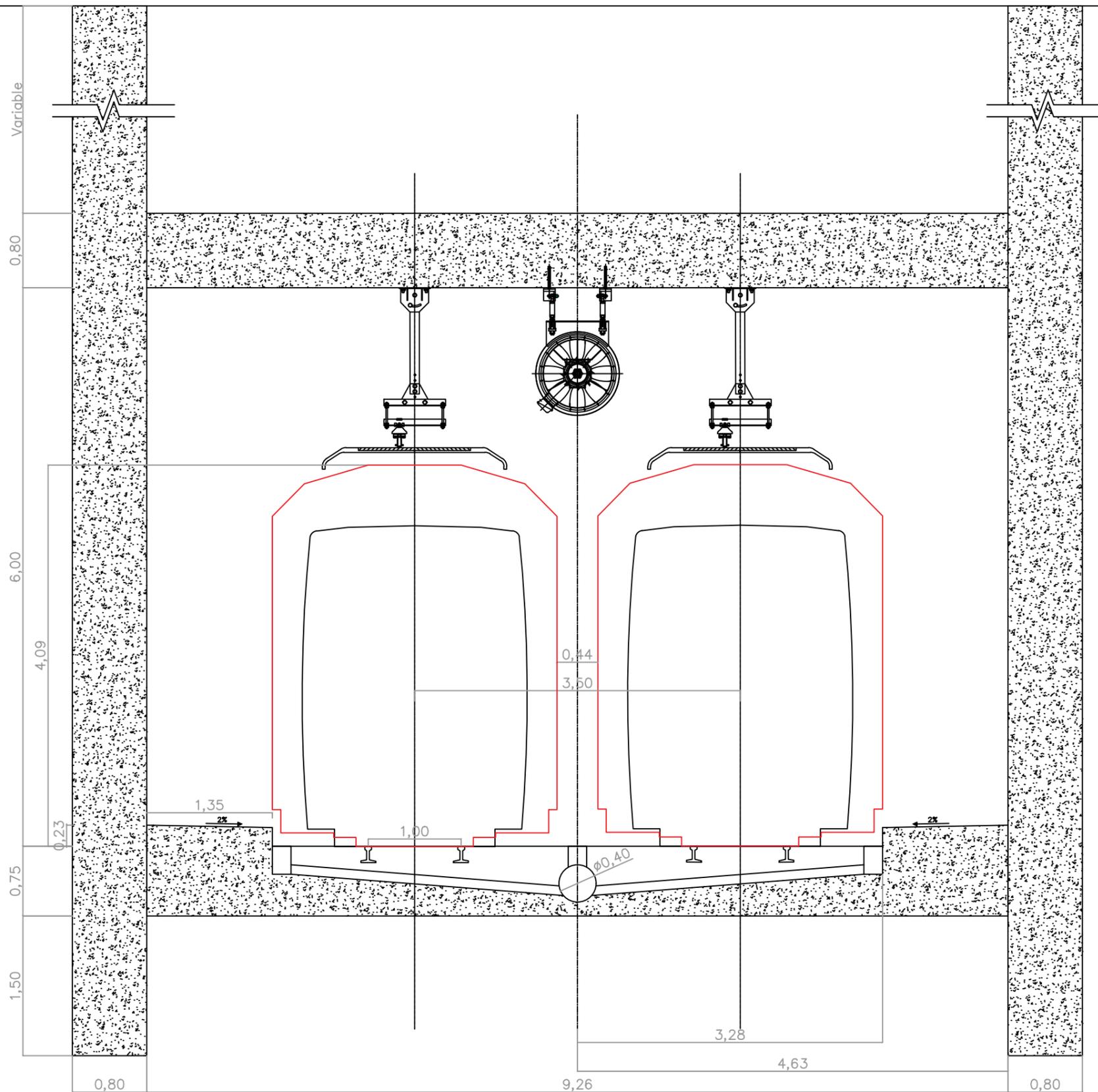
**TÍTULO DEL PLANO:**  
 Estudio de alternativas:  
 Secciones tipo - Alternativa 1

**AUTORA:** Olga Provincial Gallardo  
**TUTOR:** César Cuesta García

**FECHA:**  
 Septiembre de  
 2022

**ESCALA:**  
 1:50

**Nº DE PLANO:**  
 4.1



**TÍTULO DEL TFM:**  
 DISEÑO GEOTÉCNICO DE TÚNEL FERROVIARIO DE CONEXIÓN  
 DE LA LÍNEA 1 DEL TRAM CON LA ESTACIÓN INTERMODAL DE  
 ALICANTE

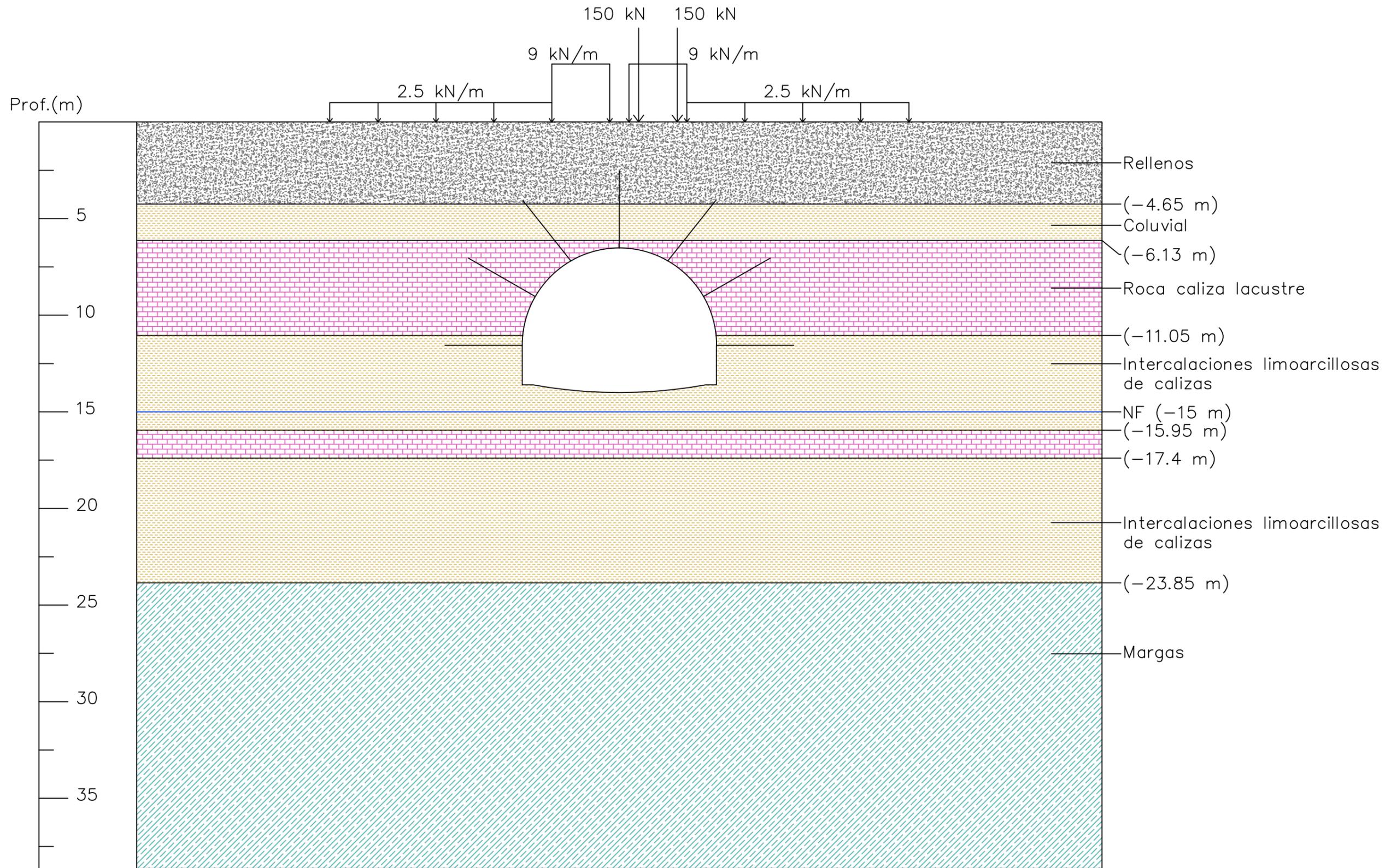
**TÍTULO DEL PLANO:**  
 Estudio de alternativas:  
 Secciones tipo - Alternativa 2

**AUTORA:** Olga Provincial Gallardo  
**TUTOR:** César Cuesta García

**FECHA:**  
 Septiembre de  
 2022

**ESCALA:**  
 1:50

**Nº DE PLANO:**  
 4.2



**TÍTULO DEL TFM:**  
 DISEÑO GEOTÉCNICO DE TÚNEL FERROVIARIO DE CONEXIÓN  
 DE LA LÍNEA 1 DEL TRAM CON LA ESTACIÓN INTERMODAL DE  
 ALICANTE

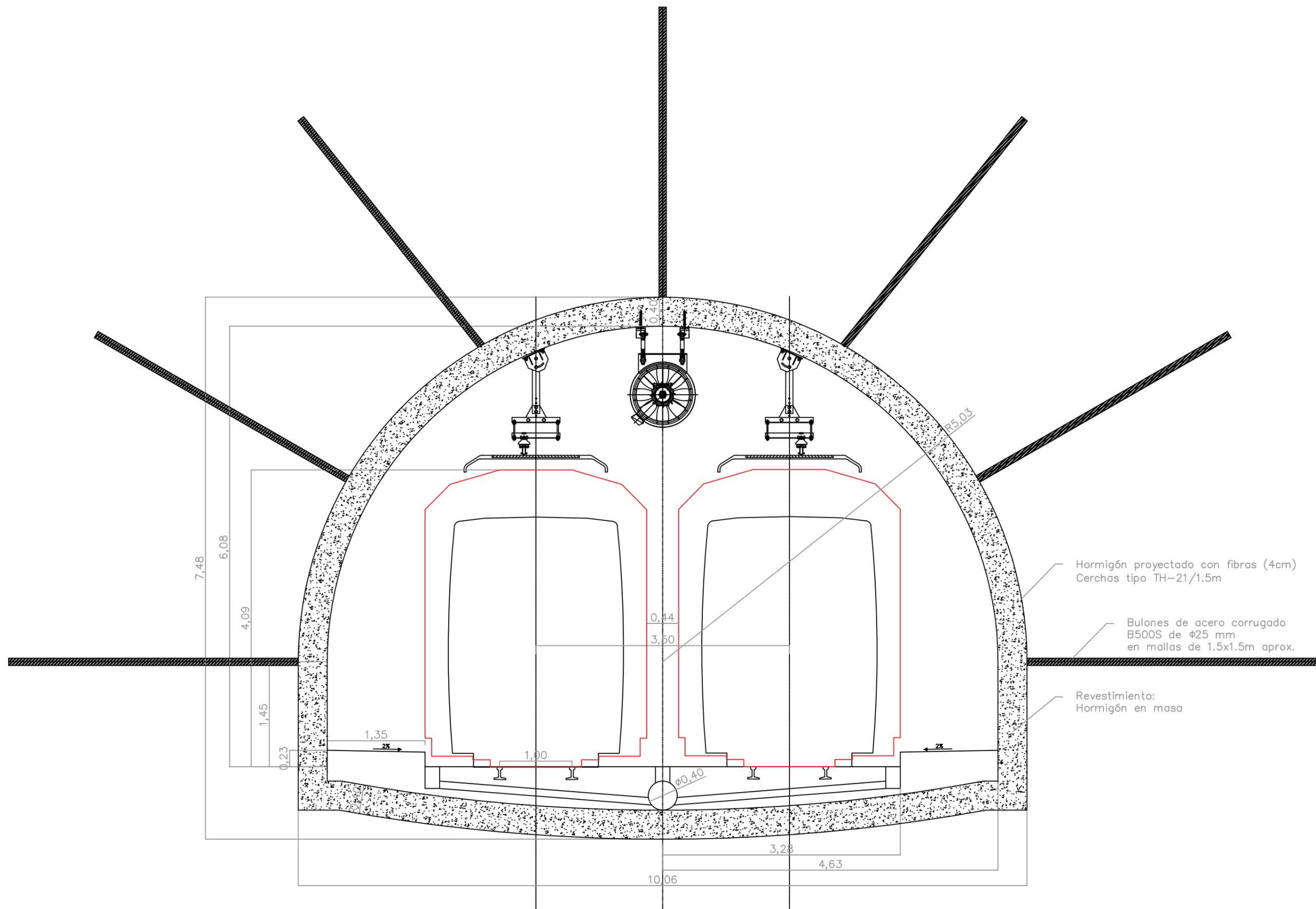
**TÍTULO DEL PLANO:**  
 Comprobaciones geotécnicas:  
 Esquema de cálculo

**AUTORA:** Olga Provincial Gallardo  
**TUTOR:** César Cuesta García

**FECHA:**  
 Septiembre de  
 2022

**ESCALA:**  
 1:200

**Nº DE PLANO:**  
 5



Hormigón proyectado con fibras (4cm)  
Cerchas tipo TH-21/1.5m

Bulones de acero corrugado  
B500S de  $\phi 25$  mm  
en mallas de 1.5x1.5m aprox.

Revestimiento:  
Hormigón en masa



**TÍTULO DEL TFM:**  
DISEÑO GEOTÉCNICO DE TÚNEL FERROVIARIO DE CONEXIÓN  
DE LA LÍNEA 1 DEL TRAM CON LA ESTACIÓN INTERMODAL DE  
ALICANTE

**TÍTULO DEL PLANO:**  
Solución final

**AUTORA:** Olga Provincial Gallardo  
**TUTOR:** César Cuesta García

**FECHA:**  
Septiembre de  
2022

**ESCALA:**  
1:50

**Nº DE PLANO:**  
6



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

## **ANEXO 5: VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA SOLUCIÓN**

Diseño Geotécnico de túnel ferroviario de conexión de la línea 1 del TRAM con la estación intermodal de Alicante.

---

*Presentado por*

Provincial Gallardo, Olga

---

*Para la obtención del*

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

*Curso: 2021/2022*

*Fecha: Septiembre de 2022*

*Tutor: Cuesta García, César*





# ÍNDICE

---

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA SOLUCIÓN</b>	<b>5</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

---

TABLA 1.	VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA SOLUCIÓN. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	5
TABLA 2.	RESUMEN DEL PRESUPUESTO TOTAL POR CAPÍTULO. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	6



# 1 INTRODUCCIÓN

Durante el desarrollo del estudio de alternativas, se llevó a cabo análisis del presupuesto aproximado que tendría cada una de las actuaciones consideradas, sin embargo, tras las comprobaciones geotécnicas se han modificado ligeramente las condiciones de ejecución de la solución.

En este anexo se presenta el presupuesto de la solución finalmente adoptada.

## 2 VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA SOLUCIÓN

Tabla 1. Valoración económica de la solución. (Fuente: Elaboración propia)

CAPÍTULO		Cantidad	Ud.	Precio (€)	Importe (€)	Importe total (€)	Anotaciones
<b>Movimiento de tierras</b>						245367.5	
	Demoliciones	862.5	m3	27.3	23546.25		
	Excavaciones	6275	m3	35.35	221821.25		
	Rellenos	0	m3				
<b>Obra civil</b>						617325.898	
	Sostenimiento bóveda				109747.752		
		Bulones	250	Ud.	74.85	18712.5	5 bulones/secc. y 1secc/2metros
		Cerchas tipo TH-21	24670.8	kg de acero	3.69	91035.252	Cercha tipo TH-21/1.5 m (BP Extrem.)
		Hormigón proyectado	1517	m2	26.3	39897.1	4 cm
	Hormigonado bóveda	1517	m2	151.35	229597.95		Revestimiento
	Sostenimiento hastiales	100	Ud.	68.85	6885		2 bulones/secc. y 1secc/2metros
	Hormigonado hastiales	740.8	m3	110.22	81650.976		
	Hormigonado contrabóveda	1011	m2	147.92	149547.12		
<b>Instalaciones de seguridad provisionales</b>					2701.1	2701.1	Ventilación de 55kW; 9 pantallas iluminación; 1 foco en sección de avance
<b>Servicios afectados</b>					50000	50000	
<b>Reurbanización</b>		1150	m2	75.28	86572	86572	
<b>Auscultación del túnel</b>						3945.95	
	Hitos de nivelación	4	Ud.	16	64		1 cada 25 metros
	Arquetas de subsidencia	5	Ud.	60.3	301.5		1 sección con 5 arquetas
	Base profunda de nivelación	1	Ud.	212.3	212.3		
	Regletas nivelación en edificios	6	Ud.	45	270		
	Extensómetro de varilla simple	42.5	ml	22	935		4 secciones con extensómetros
	Inclinómetro	49.5	ml	43.7	2163.15		3 inclinómetros
<b>Seguridad y salud</b>		100	ml		63867	63867	Caseta obra; protecciones colectivas e individuales; señalización; equipamiento casetas; coordinación

**Presupuesto total: 1 069 779.448 €**

El resumen del presupuesto por capítulos se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Resumen del presupuesto total por capítulos. (Fuente: Elaboración propia)

<b>CAPÍTULO</b>	<b>Importe total (€)</b>
<b>Movimiento de tierras</b>	245367.5
<b>Obra civil</b>	617325.898
<b>Instalaciones de seguridad provisionales</b>	2701.1
<b>Servicios afectados</b>	50000
<b>Reurbanización</b>	86572
<b>Auscultación del túnel</b>	3945.95
<b>Seguridad y salud</b>	63867
<b>TOTAL</b>	<b>1069779.448</b>