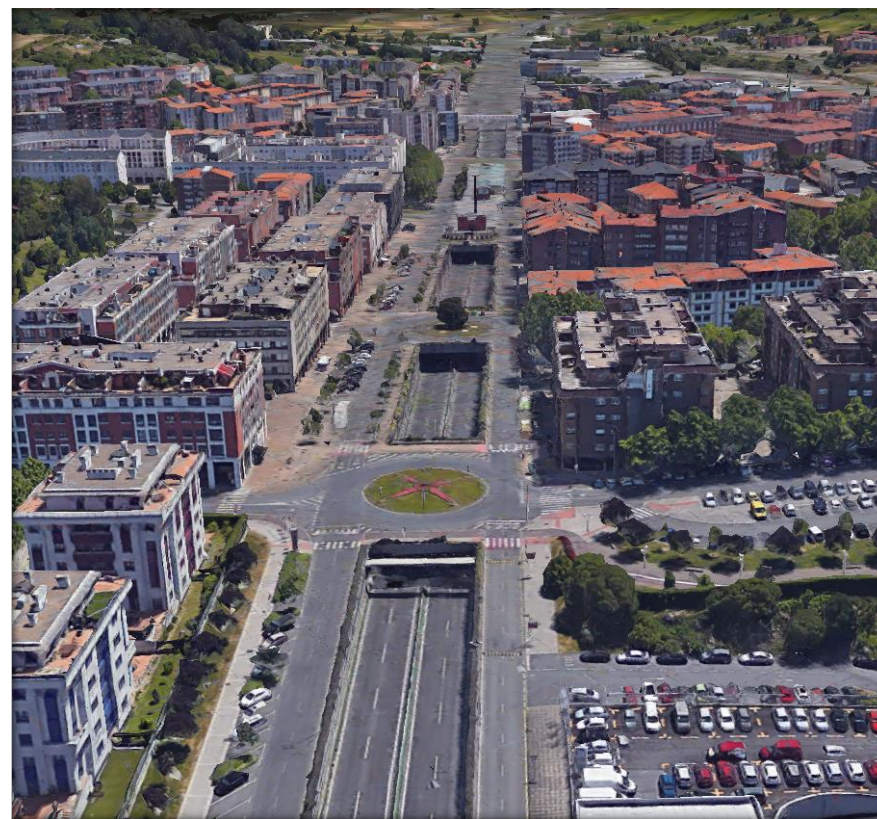


PROYECTO CONSTRUCTIVO DE ADECUACIÓN DEL TÚNEL DE LA AVANZADA EN LA BI-637
Nº EX.: 2020/004/073/10

PROYECTO DE ADECUACIÓN DEL TÚNEL DE LA AVANZADA EN LA BI-637



MEMORIA

Memoria

Control de firmas

Realizado	Aprobado
Cristina Medina	Jorge Alcalde
Fecha y Firma	Fecha y Firma
No precisa firma si está aprobado electrónicamente mediante ruta	

Información del Documento	
Código Documento	P0210L59-ATA-AP-GE-ME-0001
Referencia	P0210L59

Registro de cambios				
Rev	Fecha	Autor	Sección afectada	Cambios
00	28/05/2021	Cristina Medina	Todo	Versión inicial
01	14/06/2021	Cristina Medina	Apartados 1 y 18	Actualizado e Incluido el apartado
02	04/10/2021	Cristina Medina	Apartado 10 y 16	Actualizado
03	06/10/2021	Cristina Medina	Apartado 16	Actualizado
04	20/10/2021	Cristina Medina	Todo	Actualización
05	29/10/2021	Cristian Medina	Apartado 2.3 y 10	Actualización

INDICE

1	INTRODUCCIÓN Y OBJETO	5	9.7	Señalización, balizamiento y defensa	21
2	DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL E IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	5	10	INTEGRACIÓN URBANÍSTICA	21
2.1	La carretera de la Avanzada BI-637.....	5	11	ENERGÍA Y ALUMBRADO	22
2.2	La BI-637 a su paso por Leioa. El túnel La Avanzada	6	12	VENTILACIÓN	22
2.3	Identificación de la problemática	6	12.1	Ventilación de túnel	22
3	NORMATIVA DE SEGURIDAD EN TÚNELES Y APLICACIÓN AL TÚNEL DE LA AVANZADA	6	12.2	Control de la calidad ambiental.....	23
3.1	Normativa de aplicación	6	12.3	Ventilación de galería	23
3.1.1	La Norma Foral de Seguridad de túneles en carreteras	6	12.4	Ventilación y climatización de los cuartos técnicos	23
3.1.2	Otras normas y recomendaciones de referencia	6	13	PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS	24
3.2	Clasificación del Túnel La Avanzada	7	13.1	Sistema de extinción de incendios	24
3.2.1	Clasificación según el Decreto Foral de Seguridad de Túneles	7	13.2	Sistema de detección de incendios	24
4	ALCANCE Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	8	13.3	Señalización de emergencia.....	25
5	ANTECEDENTES	9	14	SEGURIDAD, VIGILANCIA Y CONTROL	25
6	DATOS BÁSICOS	9	15	SERVICIOS AFECTADOS	26
6.1	Geología	9	16	PLAN DE OBRA	27
6.2	Tráfico	10	17	VALORACIONES ECONÓMICAS	27
6.3	Equipamiento e infraestructura	11	18	PRINCIPALES ASPECTOS A CONFIRMAR EN FASE DE PROYECTO CONSTRUCTIVO.....	28
7	ANÁLISIS DE RIESGOS	12	19	DOCUMENTOS QUE INTEGRAN EL PROYECTO.....	28
8	ESTRUCTURA	13	20	CONCLUSIONES.....	29
8.1	Introducción	13		FIGURAS	
8.2	Muros existentes.....	13		Figura 1: Situación de la BI-637 dentro de la Red de Carreteras de Bizkaia	5
8.2.1	Muro pantalla en zona del túnel existente	13		Figura 2: Situación de la BI-637 dentro de la Red de Carreteras de Bizkaia	7
8.2.2	Estribos situados por debajo de las glorietas	13		Figura 3: Estaciones de aforo en la BI-637	10
8.2.3	Muro tipo bandeja y Muro tipo “T” en trinchera.	14		Figura 4: Descripción del conjunto de escenarios analizados en los AARR	12
8.3	Cubierta existente	15		Figura 5: Sección tipo y geometría muros bandeja con cargadero en zona de glorietas.	14
8.4	Condicionantes del diseño	15		Figura 6: Sección Tipo y geometría muros bandeja.....	14
8.5	Solución propuesta	16		Figura 7: Secciones Muros	14
8.5.1	Cubierta ligera en bocas de túnel	17		Figura 8: detalle de plataforma superior de la sección tipo 2, con cubierta	15
8.5.2	Estructura para centro de transformación	17		Figura 9: Curvas temperatura - Tiempo - CN y HCM	15
8.5.3	Cubierta transitable	18		Figura 10: Protección contra incendios.....	16
8.6	Salidas de emergencia	19		Figura 11: Montaje protección contra incendios	16
9	INFRAESTRUCTURA BÁSICA DE SEGURIDAD	20		Figura 12: Refuerzo de muros existentes con micropilotes.....	16
9.1	Trazado.....	20		Figura 13: Tipologías estructurales de cubierta	17
9.2	Sección transversal.....	20		Figura 14: Sección Tipo A.....	17
9.3	Firmes	20		Figura 15: Sección Tipo B.....	17
9.4	Revestimiento Estético	20		Figura 16: Sección Tipo C.....	18
9.5	Salidas de emergencia/galerías de evacuación	20		Figura 17: Detalle del apoyo sección tipo C	18
9.6	Drenaje	21			

Figura 18: Sección tipo D y E.....19

Figura 19: Detalle viga pretensada para la cubierta transitable.....19

Figura 20: Detalle colocación del revestimiento anti incendios de la cubierta transitable.....19

Figura 21: Planta y sección galería evacuación20

Figura 22: Posición de los ventiladores en el túnel de La Avanzada.22

TABLAS

Tabla 1: Parámetros geotécnicos deducidos en el estudio geotécnico.10

Tabla 2: Tráfico y % de pesados en las estaciones de aforo de la BI-637 - Año 201911

Tabla 3: Tráfico y % de pesados en las estaciones de aforo de la BI-637 - Año 204911

Tabla 4: Datos de equipamiento del Túnel de La Avanzada11

Tabla 5: Zonas cubiertas en la actualidad13

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO

El presente Proyecto tiene por objeto la definición y valoración preliminares de las actuaciones necesarias para la ampliación del Túnel de La Avanzada en Leioa (Bizkaia) desde su configuración actual, con una longitud de 310 m, hasta la solución futura que resulta una longitud total de 824 m, y para la adecuación del mismo, a la normativa de seguridad en túneles.

El 3 de marzo de este año 2020 la Diputación Foral de Bizkaia publicó el primer documento para licitar los trabajos de ASISTENCIA TÉCNICA PARA LA REDACCIÓN DEL PROYECTO CONSTRUCTIVO DE ADECUACIÓN DEL TÚNEL DE LA AVANZADA EN LA BI- 637, siendo adjudicados el 22 de septiembre del 2020 a SENER, INGENIERÍA Y SISTEMAS, S.A. y formalizándose mediante la resolución 2020-004-073-10.

El trabajo tiene un nivel de detalle correspondiente a un Proyecto Básico, por lo que previamente a su ejecución las soluciones que se plantean en el mismo deberán ser validadas y desarrolladas en el correspondiente Proyecto de Construcción.

El diseño incluido se corresponde con el diseño final de la adecuación del túnel, no obstante, en algunos equipamientos se ha hecho referencia a la construcción por fases por la implicación en el diseño de dichas instalaciones que tienen si no se hacen en una sola fase.

2 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL E IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

2.1 La carretera de la Avanzada BI-637

La carretera BI-637 de Algorta a Kukularra, conocida comúnmente como carretera de La Avanzada, e integrada dentro de la Red Básica de la Diputación Foral de Bizkaia, constituye el eje fundamental a través del cual se articula la margen derecha de la ría en el Área Metropolitana de Bilbao, desde el nudo de Kukularra, donde enlaza con el Puente de Rontegi y con el Corredor del Txorierrri (N-637) hasta la rotonda de Artaza, desde la cual se prolonga por el Corredor de Uribe-Kosta.

Con esta configuración, la BI-637 relaciona todas las poblaciones de la comarca de Uribe-Kosta (Berango, Sopelana, Urdúliz y Barrika), Getxo y Leioa, entre sí y con Bilbao, con la Margen Izquierda y con las vías de alta capacidad de acceso al Área Metropolitana.

La carretera de La Avanzada tiene características de autovía metropolitana, con dos calzadas separadas de cuatro carriles cada una en el tramo inicial entre Kukularra y el Enlace de Erandio-Landa y de dos carriles a partir de este punto. Entre los nudos de Erandio y Artaza, la BI-637 lleva adosadas dos vías de servicio, que se integran en la Red Complementaria foral bajo la denominación de BI-738 de Algorta a Asua, aunque algunos tramos de las mismas han sido transferidas a la Administración municipal.



Figura 1: Situación de la BI-637 dentro de la Red de Carreteras de Bizkaia

Fuente: Diputación Foral de Bizkaia

La velocidad se encuentra limitada en la BI-637 a 80 km/h, aunque las características de trazado permiten alcanzar velocidades notablemente superiores.

La BI-637 soporta unos niveles de tráfico muy importantes, especialmente en el tramo comprendido entre el nudo de Kukularra y la Rotonda de Artaza, con intensidades medias diarias (IMD) próximas a 100.000 vehículos. El porcentaje de vehículos pesados se sitúa en torno al 3%. La carretera da servicio fundamentalmente a viajes de motivo trabajo, con puntas importantes en las horas de entrada y salida de los centros laborales. Los grandes volúmenes de tráfico registrados y la acumulación de los mismos en determinados momentos del día dan lugar a niveles de servicio deficientes, con episodios de congestión recurrentes. Esta situación es la causa de la moderación observada en la evolución del tráfico en la vía en los últimos años, particularmente en los tramos más saturados.

2.2 La BI-637 a su paso por Leioa. El túnel La Avanzada

La BI-637 y la BI-738 atraviesan el casco urbano de Leioa con dirección SE-NO en una longitud total de 2.900 m, compartiendo trazado con la Avenida de Iparraguirre.

Tanto las calzadas principales como sus vías de servicio discurren a cielo abierto, con la excepción de un tramo de 310 m de longitud, entre los cruces con las calles Luis Bilbao Libano y Etxebarriena, donde las dos calzadas centrales se hallan soterradas, en lo que se conoce como el Túnel de La Avanzada. En este tramo, la zona de cubierta se encuentra destinada al uso peatonal, con tránsito rodado únicamente en los extremos.

Al NO del tramo soterrado existen otros dos pequeños tramos cubiertos, bajo las rotondas que conectan las vías laterales con las calles Dendiarena y Txabi eta Joseba Etxebarrieta.

El tramo soterrado tiene una plataforma de 18,00 m de anchura total, con una mediana central de 1,00 m ocupada por una barrera doble de hormigón, arceles interiores de 0,50 m y arceles exteriores de 1,00 m, sobre los cuales se ha colocado una barrera simple de hormigón contra el hastial. La estructura de cubrimiento está formada por una serie de vigas de 0,90 m de canto que sustentan una losa de 0,20 m de canto, y que se apoyan sobre pantallas laterales de 0,60 m de anchura. La altura libre bajo la estructura es de aproximadamente 4,60 m.

El soterramiento del tramo citado se consigue deprimiendo el perfil longitudinal de las calzadas centrales con respecto a las laterales, mediante sendas rampas del 5,15% y 5,40% de inclinación. El tramo intermedio es horizontal. La calzada lateral norte mantiene en el tramo cubierto un perfil prácticamente horizontal, mientras que la calzada sur presenta un alzado mucho más irregular.

En los tramos de acceso al túnel la anchura libre se mantiene en los 18,00 m mencionados. El desnivel con respecto a las calzadas laterales se salva por medio de muros de hormigón de 0,5 m de anchura con una bandeja situada a la altura del nivel de roca.

2.3 Identificación de la problemática

El paso a cielo abierto de la BI-637 por el casco urbano de Leioa genera inconvenientes importantes, por una parte de efecto barrera, con afección a la permeabilidad territorial -tanto rodada como, fundamentalmente, peatonal- y por otro lado de molestias generadas por el tráfico, principalmente acústicas.

Todos estos problemas redundan en una limitación de la calidad de vida de los ciudadanos en el entorno, y también en una agresión al medio ambiente.

La problemática resulta especialmente patente en el entorno del tramo actualmente cubierto, donde la trama urbana ha adquirido un desarrollo más importante en las inmediaciones de la vía.

Por otra parte, el Túnel de La Avanzada es una infraestructura que data de los años 80, y, a pesar de que ha sido objeto de diversas actuaciones de modernización en los últimos años, ni su infraestructura ni sus instalaciones se encuentran adecuadas a los requisitos de seguridad establecidos por la normativa vigente en el momento actual, lo que se traduce en una situación de riesgo para las personas, para el medio ambiente y para la propia infraestructura.

3 NORMATIVA DE SEGURIDAD EN TÚNELES Y APLICACIÓN AL TÚNEL DE LA AVANZADA

3.1 Normativa de aplicación

3.1.1 La Norma Foral de Seguridad de túneles en carreteras

La Norma de aplicación para el proyecto, construcción, puesta en servicio y explotación de los túneles de carretera del Territorio Histórico de Bizkaia es la Norma Foral de Seguridad de túneles en carreteras, aprobada mediante Decreto Foral 135/2006, de 23 de agosto.

El objetivo fundamental de la Norma es la seguridad de las personas, y en particular:

- Prevenir situaciones de riesgo que puedan poner en peligro:
 - La vida de las personas
 - El medio ambiente
 - La infraestructura de obra civil e instalaciones del túnel
- Mitigar las posibles consecuencias de una situación de riesgo, fundamentalmente derivada de un incendio en un túnel, proporcionando los requisitos ideales para:
 - Permitir que las personas involucradas en la situación de riesgo puedan ponerse a salvo ellas mismas
 - Permitir que los usuarios de la carretera puedan intervenir inmediatamente
 - Asegurar una acción eficaz por parte de los servicios de emergencia
 - Proteger el medio ambiente
 - Limitar los daños materiales

Los requisitos técnicos sobre la Infraestructura, Infraestructura Auxiliar y Superestructura de los túneles se establecen en las denominadas: Instrucciones de Diseño Seguro de Túneles. Decreto Foral 91/2012 (Pendiente de aprobación la revisión e inclusión de la Instrucción Técnica VIII)

- Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación I. Infraestructura
- Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación II. Energía eléctrica
- Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación III. Alumbrado
- Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación IV. Ventilación
- Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación V. Protección Contra Incendios
- Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación VI. Sistemas de Seguridad, Vigilancia y Control
- Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación VII. Explotación
- Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación VIII. Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de la Red de Carreteras de Bizkaia
- Se ha tratado de tener en cuenta, en todo momento, las modificaciones propuestas en el Borrador de la revisión de las Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación en Túneles de Carreteras, facilitado por el Organismo de Inspección de Túneles de la Diputación de Bizkaia pendiente de aprobación.

3.1.2 Otras normas y recomendaciones de referencia

Aunque no son de aplicación directa, se considera también a título de referencia la siguiente normativa y recomendaciones:

- Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado.

- Directiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras.
- Circular Interministerial Francesa 2000-63, “Seguridad en los túneles de carretera de la Red Nacional de Carreteras francesa”, de 25 de agosto de 2000.
- Nota de Servicio sobre equipamiento en los túneles en servicio de la Red de Carreteras del Estado (RCE) gestionada por la Dirección General de Carreteras. Ministerio de Fomento 2001.

3.2 Clasificación del Túnel La Avanzada

3.2.1 Clasificación según el Decreto Foral de Seguridad de Túneles

El Decreto Foral de Seguridad de Túneles de Carreteras establece los siguientes criterios de clasificación:

- Longitud del túnel
- Volumen de tráfico soportado o que se prevé que soporte el túnel, incluyendo la probabilidad y frecuencia de congestión de tráfico dentro del túnel
- Sentido de la circulación por tubo, único o doble
- Otros factores de riesgo relevantes: pendiente del túnel, trazado...

A su vez, establece tres umbrales de longitud del túnel:

- L1 = 500 m
- L2 = 350 m
- L3 = 200 m

De la misma forma, establece un umbral para el nivel de servicio que tiene en cuenta la posibilidad de congestión en el túnel en un plazo cercano y realiza una distinción entre los túneles en servicio y túneles nuevos.

Atendiendo a su nivel de riesgo, el Decreto clasifica los túneles en tres tipos: I, II y III, siendo los de clase I los de mayor riesgo. Los criterios de clasificación se muestran en la siguiente figura, para túneles en servicio, como es el caso del túnel de La Avanzada.

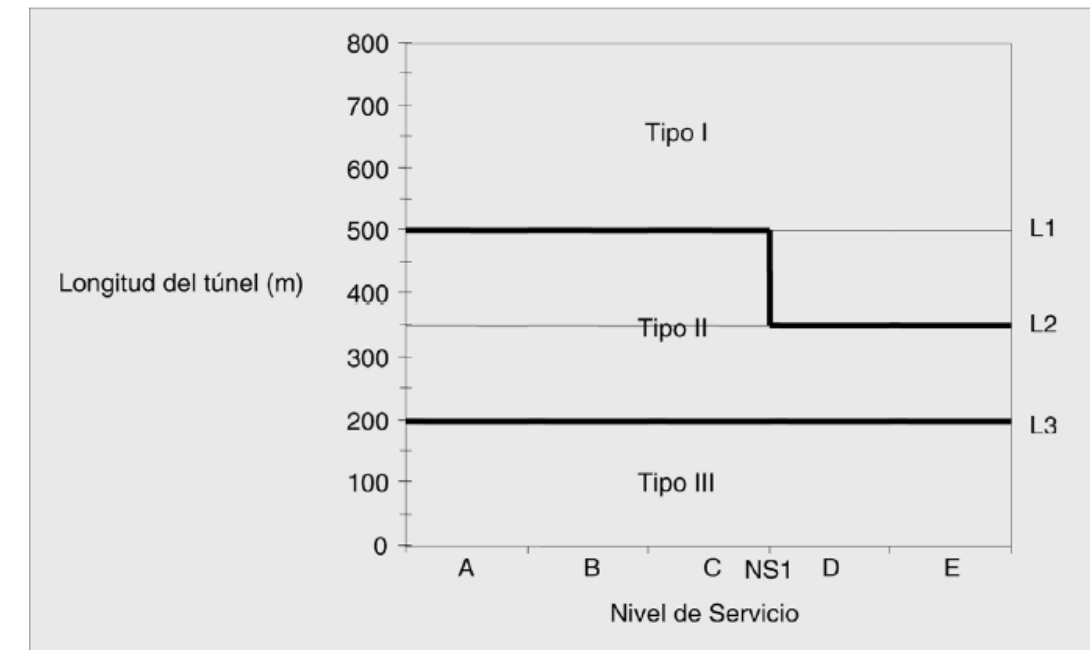


Figura 2: Situación de la BI-637 dentro de la Red de Carreteras de Bizkaia

Fuente: Diputación Foral de Bizkaia

Con su configuración actual (longitud 310 m), el Túnel de La Avanzada se clasificaría en principio como tipo II pero debido a los condicionantes descritos con anterioridad el OITB ya lo clasifica como tipo I. Con la configuración futura prevista (longitud 824 m), el túnel pasaría a clasificarse en todo caso como tipo I.

4 ALCANCE Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

La solución a adoptar para la problemática identificada debe cumplir con los requisitos siguientes:

- Debe ser una solución socialmente deseable, que dé respuesta a los deseos y necesidades de los ciudadanos
- Debe ser ambientalmente saludable, y respetuosa con el entorno
- Debe ser funcionalmente adecuada y segura, tanto desde el punto de vista del usuario como del del medio ambiente y la propia infraestructura
- Debe ser técnicamente posible y razonable
- Debe ser económicamente viable

Desde el punto de vista ambiental, la solución sería tanto más adecuada cuanto más se ampliara la zona cubierta. Sin embargo, la ampliación del cubrimiento en una gran longitud iría en contra del resto de requisitos a tener en cuenta, en el siguiente sentido:

- Funcionalmente, la vía debe mantener sus conexiones con el viario local, so pena de dar lugar a una merma en la accesibilidad y, lo que es más, de que se produzca un traslado del tráfico desde la vía principal a las laterales, con un agravamiento de los problemas sociales y ambientales.
- Económicamente, la solución resultará tanto menos viable cuanto mayor sea la longitud a cubrir, no sólo por el mero incremento de longitud, sino también por la complejidad que revestirían las obras en caso de que fuera preciso llegar a alterar el perfil longitudinal de la carretera, así como por el incremento preciso en las medidas de seguridad a implantar en el túnel, que no puede considerarse proporcional a la longitud.
- El impacto sobre el tráfico existente se incrementa exponencialmente con el aumento de la longitud cubierta.

Conjugando todos los criterios anteriores, se ha adoptado la solución de ampliar el cubrimiento entre la zona actualmente cubierta y las rotondas de las calles Dendiarena y Txabi eta Joseba Etxebarrieta y la ampliación en estas bocas de unos 90 m, alcanzando la zona cubierta una longitud total de 824 m.

Longitudes superiores de cubrimiento comenzarían a afectar a la conectividad de la red, por la proximidad de los nudos de Artaza y Udondo, y empezarían a requerir la depresión del perfil de la carretera, con costes económicos muy importantes.

Con esta limitación, las actuaciones consideradas en el presente Proyecto pueden agruparse de acuerdo con la siguiente relación:

- Estructura de cubrimiento
- Infraestructura básica y de seguridad: Adecuación de la sección transversal, firmes, protección contra el fuego de la estructura, revestimiento estético, salidas de emergencia y galerías de evacuación, drenaje, señalización, balizamiento y defensas
- Energía eléctrica y alumbrado
- Ventilación
- Protección contra incendios
- Seguridad, vigilancia y control
- Obras complementarias: Servicios afectados, adecuación ambiental, urbanización, desvíos provisionales, etc.

Es preciso señalar que el hecho de partir de un túnel en servicio impone unas limitaciones muy importantes en las soluciones a implementar, lo que en algunos casos se traduce en la imposibilidad de cumplir de forma estricta la normativa sin incurrir en soluciones desproporcionadas. Así, se ha tratado de cumplir la normativa en la medida de lo razonablemente posible.

En los capítulos que siguen se describen y se justifican las soluciones propuestas en cada uno de los campos, pudiéndose encontrar mayor detalle en la exposición en los correspondientes anejos.

5 ANTECEDENTES

Como antecedentes básicos del presente trabajo pueden citarse los documentos que a continuación se reseñan, los cuales han sido suministrados por la Diputación Foral de Bizkaia:

- “Proyecto de Construcción del Desdoblamiento de la Carretera de La Avanzada”, redactado por Ingeniería de Autopistas, S.A. para el Departamento de Obras Públicas y Transportes de D.F.B. en 1985.
- “Modificaciones técnicas al Proyecto de Desdoblamiento de la Carretera de La Avanzada y Canalización del Arroyo Elexalde. Tramo B”, redactado para el Departamento de Obras Públicas y Transportes de D.F.B en 1990.
- “Estudio previo y de factibilidad para la mejora de diversos elementos del Desdoblamiento de La Avanzada”, redactado por PROCISA-JPC Ingenieros para el Ayuntamiento de Leioa en 1999.
- “Proyecto de regeneración funcional de la Carretera de La Avanzada. Tramo: Enlace de la Universidad - Rotonda de Artatza”, redactado por DAIR Ingenieros, S.L. para el departamento de Obras Públicas y Transportes de D.F.B. en 2000.
- “Estudio acústico en detalle para la Autovía de La Avanzada a su paso por el municipio de Leioa”, redactado por AAC Centro de Acústica Aplicada, S.L. y BASOINSA, S.L. para el Departamento de Obras Públicas y Transportes de D.F.B. en 2003.
- “Estudio de nueva vialidad en el Bulevar de Leioa”, redactado por la UTE ZAINDU BI para el Departamento de Obras Públicas y Transportes de D.F.B. en 2004.
- “Anteproyecto de ampliación y adecuación del túnel de La Avanzada”, redactado para la Diputación Foral de Bizkaia en 2008
- “Proyecto de Construcción de ampliación y adecuación del túnel de La Avanzada en la BI-637. Fase I: Medidas de Apantallamiento Acústico” redactado para la Diputación Foral de Bizkaia en 2016.

En el Anejo nº 1 “Antecedentes” se resumen los aspectos más significativos de los documentos citados.

6 DATOS BÁSICOS

6.1 Geología

A continuación, en el presente apartado, se resume la información geológico-geotécnica más relevante; dicha información deberá ser complementada y contrastada mediante la realización de una nueva campaña que se describe en el anejo correspondiente (anejo nº geología y geotecnia), orientada al diseño de cada una de las estructuras, en la fase de Proyecto.

Con carácter general, la traza de la carretera de La Avanzada se asienta sobre terrenos secundarios cartografiados como Cretácico Superior (unidades C₂₂/C₂₃₋₂₄: margas y calizas, pisos Cenomaniense, Coniaciense y Santoniense) por el IGME (cuadrante 61, 1973). Cartografías posteriores del área (EVE, 1993) han precisado la unidad de sustrato en la zona de proyecto como un Flysch Detrítico Calcáreo (FDC) (unidad nº 1 del cuadrante 61-II (Cret. Sup. Unidad de Oiz).

Tectónicamente destaca la configuración que proporciona a estos terrenos el sinclinatorio de Vizcaya de eje Bergara-Berango en el que por denudación aparecen los terrenos terciarios. Los materiales aparecen en disposición subvertical incluso localmete puede aparecer invertidos por lo que es importante la meteorización diferencial que puede afectar a materiales de diferentes naturalezas.

Describiendo los terrenos de la zona afectada por el estudio con un mayor nivel de detalle, se pueden distinguir la siguiente serie de formaciones que existían antes de la ejecución del proyecto en función del P.K. de la traza en el que se encuentre, siendo estos los que aparecen en el Proyecto de Desdoblamiento.

- A partir del P.K. 1+200, la traza asciende hasta el punto del camino de Ondiz en las proximidades del P.K. 1+800 por terrenos coluviales.
- Entre el P.K. 1+600 y el P.K. 1+950, el recubrimiento coluvial era escaso y se lograba apreciar en algún afloramiento las areniscas amarillas y margas apizarradas.
- A partir del P.K. 1+950 aumentaba el espesor de suelos arcillosos que tenía un máximo del orden de 9 m coincidiendo con el centro de la vaguada del arroyo Elexalde en el P.K. 2+250 (En la actualidad este arroyo se encuentra canalizado).
- En el P.K. 2+350, el espesor de suelos era de unos 7 m y en el P.K. 2+500 de unos 2 m.
- A la altura del P.K. 2+550 y hacia el monte Mendibil, existía una excavación en margas muy pizarrosas y superficiales con un buzamiento de 65° y una dirección de buzamiento de 230°. Hacia el pie de monte, sin embargo los espesores de limos y limos arcillosos tenían cierta importancia.

De acuerdo con la investigación geotécnica disponible se han establecido los siguientes niveles parámetros:

Nivel 1: rellenos antrópicos: Nivel en general escasamente significativo por su reducido espesor (0-2 m). Se proponen las siguientes características.

Nivel 2: Suelos de alteración (eluviales): Se da lugar a suelos predominantemente limosos de plasticidad baja a intermedia (ML/CL puntualmente MH de acuerdo con el sistema USCS con LL=28.5-52.1/ IP=6.7-17.2 (8.4-18 en el estudio de 1983)). Parece haber diferencias entre los suelos de la zona de Elexalde (valores de resistencia al corte (s_u) están por debajo de 1 kp/cm² en esta zona).

Los suelos presentan una densidad húmeda (n=4 datos) de 1.8-1.9 g/cm³, seca (1.29-1.52 g/cm³) con humedades (n=6 datos) de un 5 a 20% por debajo del límite líquido.

La relación con la profundidad no resulta excesivamente clara y dados los resultados de los ensayos de penetración es recomendable adoptar valores conservadores. En el siguiente gráfico se muestran los valores obtenidos y dos posibles correlaciones con:

$$S_u/\sigma'_v=0.16-0.22$$

Los valores de resistencia a compresión simple en probetas del año 1983 se deben valorar con precaución (0.1-0.9 kp/cm²) ya que entendemos que podrían haber estado influidas por la naturaleza del material.

Nivel 3: Roca:

Se estima para la roca sana (GM II) una densidad de 24-27 KN/m³. Se han realizado una serie de ensayos que muestran con claridad el carácter heterogéneo del material. Los materiales corresponden a un flysch calcáreo (alternancia de margas, calizas y calizas arenosas) con porcentajes de carbonatos significativos (27.5-37.5%). Los valores de resistencia a compresión simple obtenidos han sido muy heterogéneos (13-92 MPa (el valor de 8.39 (SR-3) corresponde a rotura por la estratificación)) así como los de tracción indirecta (3.5-7.7 MPa).

En síntesis, con los datos obtenidos se ha estimado una envolvente de rotura por los criterios de Hoek-Brown y su correspondiente lineal para un talud de unos 8 metros de altura ($c=0.37 \text{ kp/cm}^2 / \phi=34.7^\circ$).

A la espera de la campaña geotécnica complementaria se establecen como valores estimados para el cálculo los siguientes:

Nivel	Espesor	Tipos (USCS)	Porcentaje de finos	W _{nat} (%)	γ (kN/m³)	c (kp/cm²)	Φ (°)	Su (kp/cm²)	Qu (kp/cm²)	Cc (adim)
1: rellenos	0-2 metros	GM-GP/GW	45% (1 ensayo)			<0.1	34°			
2: Suelos de alteración	2-9 metros (espesores mayores en zona Elexalde)	ML-MH/CL (localmente GM-SC)	40-99%	20-40% (1985)	13-15 (seca)-18-19	0.44 (0.4-0.52) (3 ensayos)	25° (23.7-27.5°)	0.48-3.75 (1.28) (vane test=41 ensayos) Su/σ'v =0.16-0.22	1->6 3.38* (penetrómetro de bolsillo=61 ensayos)	0.11-0.34 (2 ensayos) Pasarela 0.1-0.33 (6 ensayos)
3: Roca tipo FDC GM II-III		Roca	--		24-27	0.37	34.7		130-920	

Tabla 1: Parámetros geotécnicos deducidos en el estudio geotécnico.

A partir de los datos recopilados en los estudios realizados los parámetros que se consideran aplicables al cálculo serían:

- Nivel geotécnico 1) Rellenos de tipo granular con matriz limosa, en general materiales compactados: En este nivel la variabilidad corresponde a la proporción de finos y su compactación.
 - γ (kN/m³): 18-19
 - c (kN/m²): 0-5
 - Φ (°): 32-34°
 - Es: 20-50 MPa
- Nivel geotécnico 2) Suelos arcillosos/ roca meteorizada GM V (NG 2.1) /roca meteorizada a grado IV (NG 2.2):

En este nivel la variabilidad de parámetros obedece a la meteorización diferencial de la roca.

- γ (kN/m³): 18-19
- Wl=28-52%
- I_p=6.7-17.2% (8.4-18% (1985))

- Wnat=25-43%
- c (kN/m²): 60-20
- Φ (°): 15-27°
- Es: 20-30 MPa
- Nivel geotécnico 3) Roca sana a moderadamente meteorizada (grado II-III):

En este nivel la variabilidad se debe a la naturaleza litológica y especialmente al grado de fracturación.

- γ (kN/m³): 24-27
- RCS (kp/cm²): 120-250
- c (kN/m²): 40 a >100
- Φ (°): 35-30°
- Es: 20-30 MPa

La tensión admisible considerada en el proyecto de 1985 variaba para los apoyos en roca entre los 400 (roca descompuesta en la zona de cubrición), 500 (muros de la zona deprimida) y 700 KPa, este último valor para la zona de cubrición y en caso de que la roca aparezca sana, aunque se indicaban valores de hasta 1000 KPa (OF-1-8, a partir de 9 metros de profundidad con un RQD del 85%). Se desconoce la distribución de la roca fracturada en el apoyo de los muros y el diseño o soluciones finalmente aplicados en estas cimentaciones.

Según los sondeos realizados en marzo -abril 2012, el nivel freático se encuentra en profundidades entre 2,8 y 7 m desde la cota del terreno.

6.2 Tráfico

Se han tomado como referencia la última publicación de datos de tráfico del Departamento de Infraestructuras y Desarrollo Territorial de la Diputación Foral de Bizkaia en el informe *Evolución del tráfico en las carreteras de Bizkaia*, correspondiente al año 2019.

En la BI-637, en el tramo entre el enlace de Erandio y la rotonda de Artaza existen 3 estaciones de aforo: 81A, 83A Y 84A.



Figura 3: Estaciones de aforo en la BI-637

Fuente: Evolución del tráfico en las carreteras de Bizkaia - Año 2019

A partir de estos valores se han obtenido los valores necesarios según las necesidades del documento, siendo la IMD el valor mayormente utilizado.

- IMD y porcentaje de vehículos pesados.

ESTACIÓN	DÍA MEDIO		DÍA LABORABLE	
	IMD (veh/d)	% PESADOS	IML (veh/d)	% PESADOS
84A	92.896	3,00%	100.238	3,50%

Tabla 2: Tráfico y % de pesados en las estaciones de aforo de la BI-637 - Año 2019

Fuente: Evolución del tráfico en las carreteras de Bizkaia - Año 2019

Basado en los volúmenes e intensidades registrados, se ha realizado una prognosis del tráfico a veinte años tras la puesta en servicio del túnel tras las obras, prevista para el 2029. Los resultados y previsiones de tráfico que tendrá la infraestructura son los siguientes:

A partir de esta tendencia se ha realizado la proyección al año 2049, obteniéndose los siguientes resultados de volumen y distribución vehicular en el interior del túnel:

ESTACIÓN	DÍA MEDIO		DÍA LABORABLE	
	IMD (veh/d)	% PESADOS	IML (veh/d)	% PESADOS
84A	106.629	3,00%	116.359	3,50%

Tabla 3: Tráfico y % de pesados en las estaciones de aforo de la BI-637 - Año 2049

Fuente: Elaboración propia

En lo referente a las mercancías peligrosas, el volumen de vehículos de mercancías peligrosas que circulan por la BI-637 se ha obtenido a partir del estudio *Mapa de flujos del Transporte de Mercancías Peligrosas por carretera y ferrocarril en Euskadi*, realizado en el año 2013 por IHOBE, Sociedad Pública Medioambiental del Gobierno Vasco. En este año, por la BI-637 se transportaron 317.135,55 toneladas de productos de MMPP, lo que representa un porcentaje de MMPP respecto al total de 0,0559%.

6.3 Equipamiento e infraestructura

Se han considerado los siguientes datos del equipamiento e infraestructura proyectadas:

EQUIPAMIENTO	LA AVANZADA
Carácter del túnel	Urbano
Direccionalidad de circulación	Unidireccional
Apartaderos	No
Anchura de aceras	No
Salidas de emergencia interiores	Si
Nº de salidas de emergencia	6
Señalización de salidas de emergencia y vías de evacuación	Si
Sistema de ventilación automatizado	Si
Sistema de detección de incendios	Si
Revestimiento hormigón en el túnel	Revestido y con barreras
Explanadas en bocas	No
Centro de Control permanente y vigilado con control de accesos	Si (24h/7días)

EQUIPAMIENTO	LA AVANZADA
Gestionado con dos o más operadores de sala	Si
Protocolos automatizados de incidentes de incendio	Si
Permitido el adelantamiento a los vehículos pesados	Si
Control de radar con posibilidad de sanción	Si, en las aproximaciones
Señal activa de radar en bocas	Si
Drenaje de líquidos tóxicos o inflamables	No
Iluminación de seguridad y evacuación garantizada (SAI + G.E.)	Si
Postes SOS con extintores	Si
Megafonía	En el interior, salidas, vías de evacuación y bocas
Señalización vial obligatoria	Si
Señalización dinámica: PMVs, semáforos, CLVs y AFs	En los accesos
Sistema de cierre de túnel	Semáforos, barreras y AFs bocas con C.Control y DAI
Sistema de detección, clasificación y conteo de vehículos	Si
Conexiones transversales interiores adaptadas para los SSEE	No requiere
Cruce de mediana en las bocas	Si
Doble suministro eléctrico	Si
Mediana en túnel	No requiere
CCTV con DAI	Si
Cámaras térmicas en el interior	Si
Sistema de extinción (BIEs e hidrantes, red propia y extintores)	Si
Semáforos interiores	No requiere
Sistema de radiocomunicaciones para los SSEE	Si
Mensajería de emergencia por canales de radio	Si

Tabla 4: Datos de equipamiento del Túnel de La Avanzada

Fuente: Elaboración propia

7 ANALISIS DE RIESGOS

Con el objetivo principal de garantizar la seguridad del túnel proyectado, se han realizado los análisis de riesgo cuantitativos en aplicación del Borrador de las Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación VIII de Metodología de Análisis de Riesgos de la Red de Carreteras de Bizkaia, MARTBI, los cuales son:

- AARR mediante el método general, AARR MG.
- AARR mediante el método por el Mercancías Peligrosas - DGQRAM, AARR MMPP.

Estos análisis de riesgo permiten evaluar tanto la peligrosidad asociada al paso de vehículos de transporte de mercancías peligrosas por el túnel de la Avanzada y el tramo el enlace de Erandio (P.K. 9+800) hasta la rotonda de Artaza (P.K. 13+400) de la BI-637, como el riesgo propio del túnel ante diferentes incidentes que desencadenan un incendio en el interior. La MARTBI establece una serie de escenarios de incendio predeterminados para cada metodología, situaciones que entrañan un mayor riesgo para los usuarios. El conjunto de escenarios considerados y aplicados es:

MÉTODO	ESCENARIO	DESCRIPCIÓN
AARR MG	E1	Incendio de uno dos vehículos ligeros de 8 MW
AARR MG	E2	Incendio de un vehículo pesado y otro vehículo ligero de 30MW
AARR MG	E3	Incendio de un vehículo ligero y un autocar de 15 MW
AARR MG	E4	Incendio de un vehículo pesado y un autocar 30 MW
AARR MG	E5	Incendio de dos vehículos capaces de provocar un incendio de 100 MW
AARR MMPP	E1	Fuego de 20 MW con Vehículo Pesado
AARR MMPP	E2	Fuego 100 MW con Vehículo Pesado
AARR MMPP	E3	BLEVE de GLP en cilindros 50 kg, Vehículo de MMPP
AARR MMPP	E4	Incendio de charco de gasolina, Vehículo de MMPP
AARR MMPP	E5	VCE de carburante, Vehículo de MMPP
AARR MMPP	E6	Vertido de cloro 20 t, Vehículo de MMPP
AARR MMPP	E7	BLEVE de GLP a granel, Vehículo de MMPP
AARR MMPP	E8	VCE de GLP a granel 18 t, Vehículo de MMPP
AARR MMPP	E9	Incendio en antorcha de GLP a granel, Vehículo de MMPP
AARR MMPP	E10	Vertido de un tanque de transporte de amoniaco, Vehículo de MMPP
AARR MMPP	E11	Vertido de acroleína transportada a granel, Vehículo de MMPP
AARR MMPP	E12	Vertido de acroleína transportada en cilindros 100 l, Vehículo de MMPP
AARR MMPP	E13	BLEVE con tanque de CO2, Vehículo de MMPP

Figura 4: Descripción del conjunto de escenarios analizados en los AARR

Fuente: Instrucción Técnica VIII de Metodología de AARR - MARTBI

El método general se basa en la integración de tres modelos, cada uno de los cuales trata de reproducir un determinado aspecto del riesgo del túnel para cuantificar el riesgo del túnel analizado: Modelo de riesgo, Modelo de ventilación y Modelo de evacuación. Para poder determinar el nivel de riesgo del túnel, conforme a los escenarios indicados, se calcula el denominado índice de riesgo del túnel mediante el cociente entre el coeficiente de riesgo del túnel real y el coeficiente de riesgo del túnel virtual, el cual representa un túnel que cumple con todos los requisitos normativos. La metodología establece los valores limitantes de este índice de riesgo para finalmente calificar la seguridad del túnel:

- Túneles seguros:** aquellos que presenten un valor del índice de riesgo muy próximo a la unidad.
- Túneles aceptables:** los túneles que presenten un valor del índice de riesgo inferior a 1,15.
- Túneles con posibles restricciones:** valor comprendido entre 1,15 y 1,50. El riesgo es compatible con mantenerlos en servicio durante un cierto periodo de tiempo, pero es necesario estudiar las medidas complementarias aplicables para incrementar la seguridad.

- Túneles con peligrosidad elevada:** valor superior a 1,50 y no se considerarán seguros.

Como parte del desarrollo de los trabajos de este análisis de riesgo y con el objetivo de obtener una calificación de túnel seguro, el AARR por el Método General ha evaluado y cuantificado la eficacia de la aplicación de distintas medidas adicionales que compensan los riesgos intrínsecos de la infraestructura, facilitando la toma de decisiones. Finalmente, en aplicación de los criterios y características de infraestructura, sistemas y explotación detallados en el Anejo nº12 Análisis de Riesgo y el tráfico en hora punta de un día laborable en el año horizonte 2049, se obtiene un Índice de Riesgo de 0,9472 para el túnel; inferior a la unidad y por lo tanto una calificación de túnel seguro. Este valor inferior a la unidad representa que el túnel proyectado es más seguro que el túnel virtual con el que se compara, el cual representa un túnel tipo que cumple con todos los requisitos de infraestructura e instalaciones requeridos por la normativa foral.

En el caso del análisis de riesgo por el método de mercancías peligrosas, está basado en el empleo del software DG QRAM (“Dangerous Goods Quantitative Risk Assessment Model” - Modelo Cuantitativo de Evaluación del Riesgo de Mercancías Peligrosas), desarrollado por la OCDE y la PIARC y permite evaluar el nivel de riesgo derivados del transporte de mercancías peligrosas por el túnel y por la ruta a cielo abierto, en términos de riesgo social. Los resultados se ilustran mediante una “curva F/N”, donde F es la frecuencia de N o más víctimas mortales (y/o lesiones graves). Cada curva también puede evaluarse en términos de un solo valor que representa el número medio de muertes al año, llamado el valor esperado (VE). Las curvas F/N pueden ocasionar víctimas mortales en accidentes y / o lesiones graves, en usuarios de la carretera y/o en la población local. Los rangos de peligrosidad y criterios de acepción establecidos en la MARTBI son los siguientes:

- Riesgo aceptable socialmente: No es necesaria la implantación de medidas adicionales.
- Riesgo tan bajo como razonablemente posible - ALARP: Es posible la explotación del túnel, pero se debe llevar a cabo medidas adicionales de seguridad de manera que se consiga reducir el riesgo.
- Riesgo no aceptable socialmente: Debe reconsiderarse el diseño del túnel y de su equipamiento.

Para analizar de forma detallada la peligrosidad asociada al transporte de vehículos de mercancías peligrosas por el túnel La Avanzada, se han analizado cuatro situaciones diferentes y se han disgregado los resultados de cada escenario de la siguiente manera:

- Analizar el túnel tanto de forma individual como en conjunto, incluyendo el tramo a cielo abierto entre el enlace de Erandio y la rotonda de Artaza
- Considerar el tráfico proyecto al año horizonte, en situación de hora punta y diario, disgregando en tres periodos.
- Disgregar los resultados obtenidos en dos tipologías de vehículos: Transporte de mercancías peligrosas y vehículos pesados (E1 + E2).

Analizando el transporte de mercancías peligrosas y los vehículos pesados de forma separada, las calificaciones de la peligrosidad obtenidas son:

- Riesgo asociado al transporte de mercancías peligrosas:** “Zona de riesgo aceptable o asumible socialmente: la explotación del túnel no hace necesaria la implantación de medidas adicionales de seguridad”.
- Riesgo asociado al transporte de vehículos pesados (E1 +E2):** “ALARP (“As Low As Rational Possible” - Tan bajo como razonablemente sea posible): representa la zona en la que es posible la explotación del túnel en condiciones aceptables, si bien se deberían llevar a cabo medidas adicionales de seguridad de manera que se consiga reducir el riesgo tanto como razonablemente sea posible”.

Se ha podido por lo tanto concluir que el riesgo asociado a la circulación de los vehículos de MMPP a través del tramo de BI-637 que incluye el túnel La Avanzada supone un riesgo aceptable o asumible socialmente y por lo tanto no es necesario establecer limitaciones de paso de estos vehículos.

Con relación al tránsito de vehículos pesados con capacidad de provocar un incendio de magnitudes equivalentes a las que provoca un transporte de mercancías peligrosas (Escenarios 1 y 2 correspondientes a incendios 100 MW y 20 MW), se ha comprobado que por sí mismos suponen un riesgo socialmente tan bajo como razonablemente es posible, denominada por la MARTBI con el nombre de ALARP (“As Low As Rational Possible”), “representa la zona en la que es posible la explotación del túnel en condiciones aceptables, si bien se deberían llevar a cabo medidas adicionales de seguridad de manera que se consiga reducir el riesgo tanto como razonablemente sea posible”. Con relación al riesgo asociado al tránsito de vehículos pesados, el análisis de riesgo por el método general estudio en los escenarios E2, E3, E4 y E5 estos incendios, por lo que

se ha analizado y evaluado la aplicación de medidas de mejora necesarias que garantizan la seguridad del túnel.

8 ESTRUCTURA

8.1 Introducción

La propuesta del diseño estructural para la futura cubierta y las galerías de evacuación pretende dar respuesta a los condicionantes del entorno y los requerimientos técnicos del proyecto.

En la actualidad la carretera está cubierta en la zona del túnel existente y bajo las dos glorietas. La posición de las tres zonas cubiertas en la actualidad se incluye en la siguiente tabla.

P.K. inicio	P.K.Fin	Tipo
11+800	12+111,7	túnel existente
12+240,61	12+287,6	glorieta
12+372,27	12+418,69	glorieta

Tabla 5: Zonas cubiertas en la actualidad

Fuente: Sener

La cubierta existente se amplía entre las dos glorietas y el túnel existente con una cubierta transitable y con la estructura para un centro de transformación seguido por una cubierta ligera en cada una de las dos bocas en dirección Getxo y Bilbao.

8.2 Muros existentes

Existen tres tipos de muros que se diseñaron en función de la cota de la roca y del uso. Los tres tipos se describen a continuación.

8.2.1 Muro pantalla en zona del túnel existente

En la zona del túnel existen muros pantalla de 60cm de espesor. La estabilidad de los muros pantalla se garantiza mediante el empotramiento en el terreno y el apoyo horizontal formado por las vigas de la cubierta.

Las pantallas se han diseñado en las zonas donde el sustrato rocoso aparece en cotas inferiores a la cota de la máxima excavación.

8.2.2 Estribos situados por debajo de las glorietas

Estos consisten en muros del tipo bandeja. El espesor es de 60 cm. La altura de las secciones es de 8, 9 o 10 m. El talón situado en el trasdós del muro se ha colocado en la cota de aparición de la roca. Desde la cota máxima de la roca hasta el fondo de cimentación se ha excavado vertical. En el fondo de excavación se ha construido una zapata en el intradós.

Las vigas de los pasos superiores se apoyan en el eje del muro.

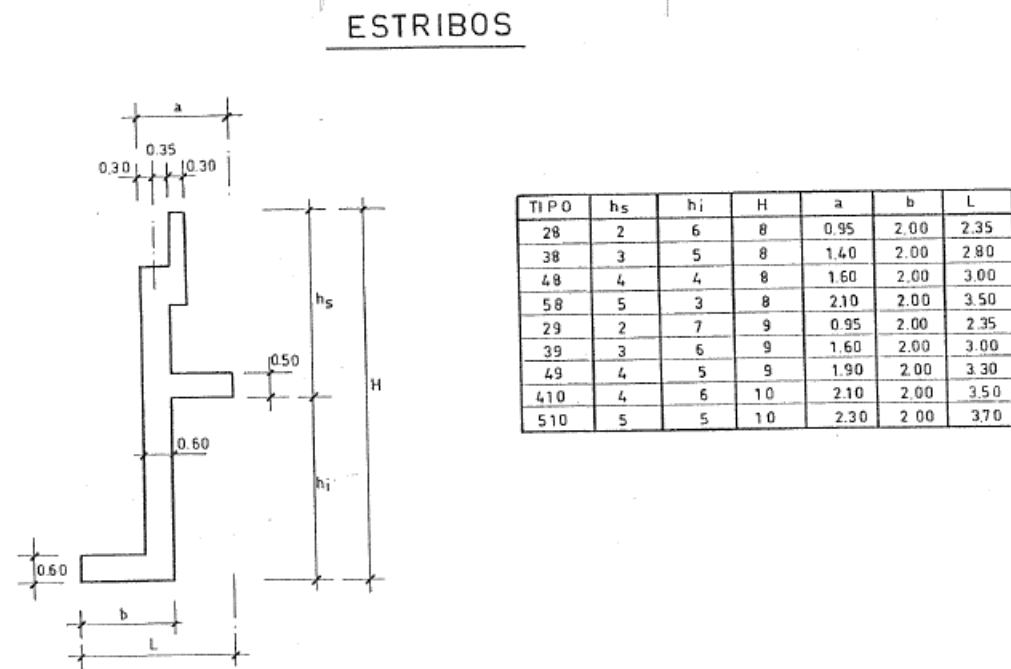


Figura 5: Sección tipo y geometría muros bandeja con cargadero en zona de glorietas.

Fuente: [MODIFICACIONES TÉCNICAS AL PROYECTO DE DESDOBLAMIENTO DE LA CARRETERA DE LA AVANZADA Y CANALIZACIÓN DEL ARROYO ELEXALDE. TRAMO B]

8.2.3 Muro tipo bandeja y Muro tipo "T" en trinchera.

El muro existente en la zona en la trinchera entre glorietas y entre glorietas y túnel existente tiene la misma tipología que los estribos con la sección adaptada a las cargas a las que está sometida actualmente. La falta de un apoyo horizontal en la cabeza del muro requiere una armadura mayor a flexión con un espesor de muro de 50 cm. El espesor de las zapatas de 60 cm es menor que en los muros de estribo.

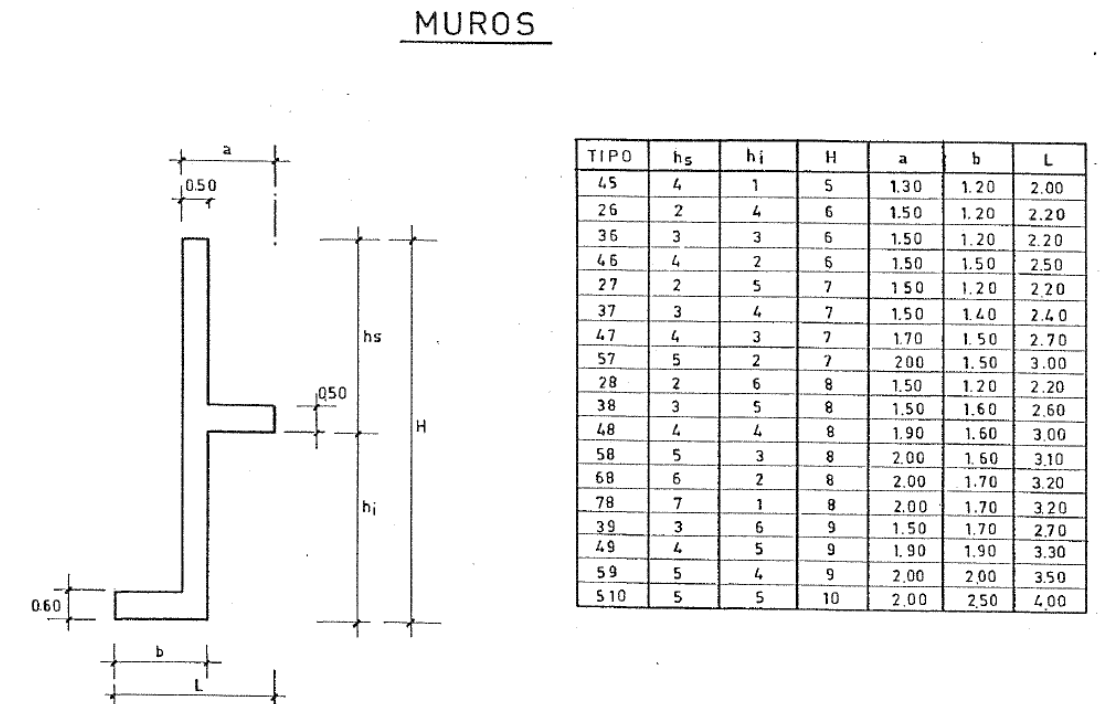


Figura 6: Sección Tipo y geometría muros bandeja

Fuente: [MODIFICACIONES TÉCNICAS AL PROYECTO DE DESDOBLAMIENTO DE LA CARRETERA DE LA AVANZADA Y CANALIZACIÓN DEL ARROYO ELEXALDE. TRAMO B]

En las zonas de las bocas del túnel, el nivel de la roca está por debajo de la calzada y se emplean muros convencionales con talón denominados tipo T con las siguientes secciones:

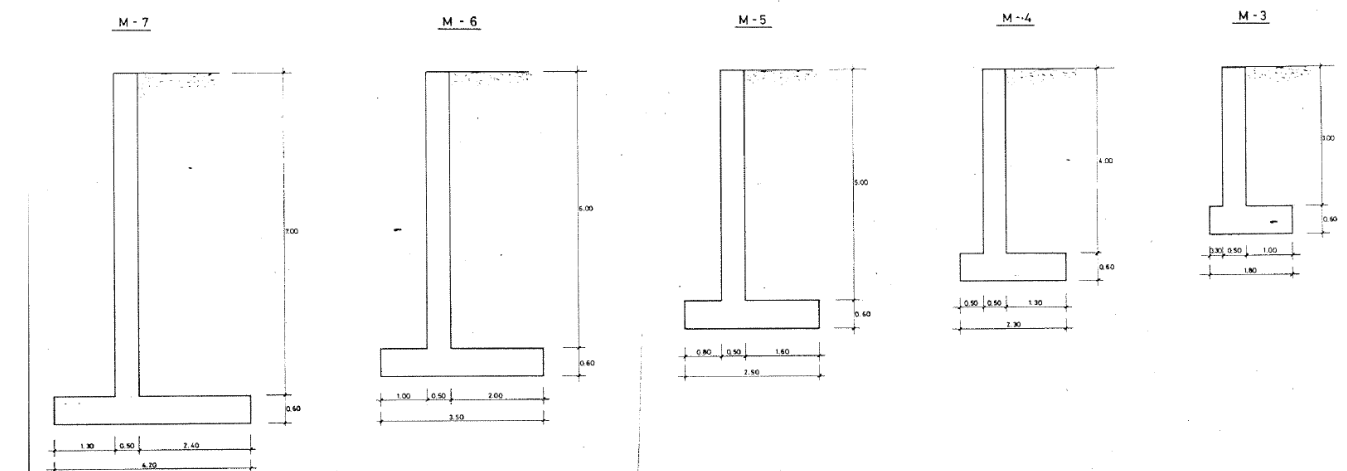


Figura 7: Secciones Muros

Fuente: [MODIFICACIONES TÉCNICAS AL PROYECTO DE DESDOBLAMIENTO DE LA CARRETERA DE LA AVANZADA Y CANALIZACIÓN DEL ARROYO ELEXALDE. TRAMO B]

8.3 Cubierta existente

En cuanto a la cubierta existente, está formada por vigas de hormigón pretensado con forma de “I” de 0,90m de canto, sobre estas está situada una losa de hormigón armado de 0,20m de canto. Las vigas se encuentran apoyadas sobre apoyos zunchado de neopreno con mesetas de mortero. Se muestra la sección de la viga y el detalle del apoyo.

Son tres cubiertas transitables, que se encuentran sobre la carretera BI-637. Como ya se ha indicado dos de ellas se encuentran apoyadas sobre los estribos formados por los muros bandeja y la plataforma más grande está apoyada sobre el muro pantalla.

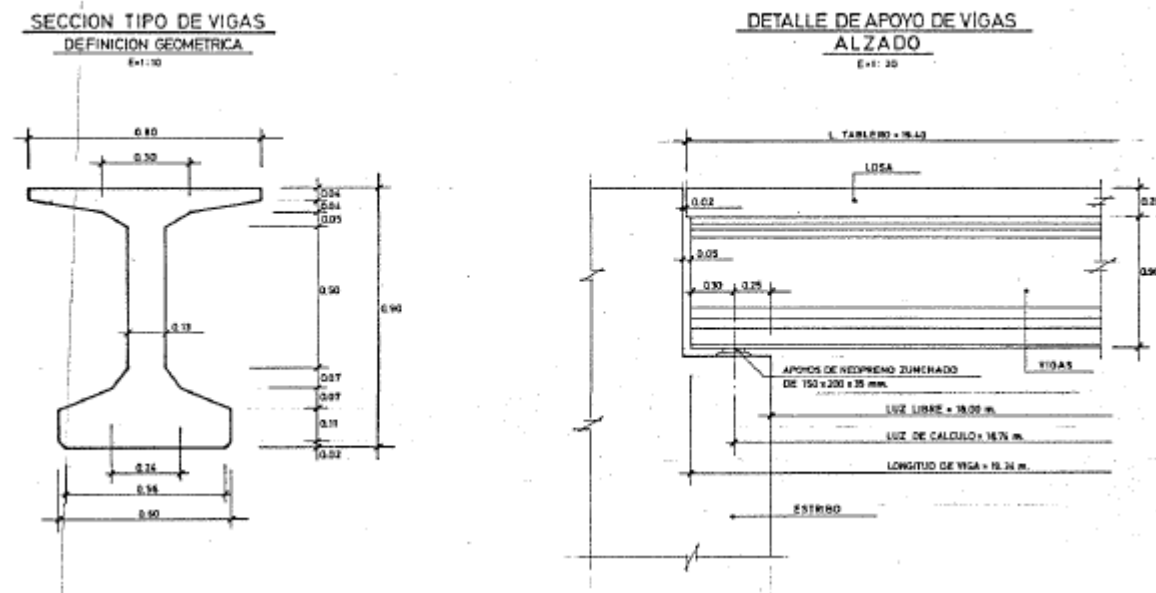


Figura 8: detalle de plataforma superior de la sección tipo 2, con cubierta

Fuente: [MODIFICACIONES TÉCNICAS AL PROYECTO DE DESDOBLAMIENTO DE LA CARRETERA DE LA AVANZADA Y CANALIZACIÓN DEL ARROYO ELEXALDE. TRAMO B]

8.4 Condicionantes del diseño

Los requisitos de diseño para la estructura del túnel y las galerías se describen con detalle en el Anejo de Estructuras. Para el desarrollo del diseño estructural destacan los siguientes condicionantes:

- Garantía de la seguridad de la estructura nueva y existente en cualquier momento durante todas las fases de la obra y en el estado final.
- Menor impacto posible sobre el tráfico durante la ejecución de la obra
- Habilitar el uso como túnel dentro del marco de una arquitectura exigente y el espacio urbano; integrar el centro de transformación, salida de emergencia, etc.

El menor impacto sobre el tráfico existente se consigue utilizando forjados prefabricados que se instalen durante trabajos nocturnos. La mayoría de los trabajos se desarrollan en la zona de los viales laterales con impacto mínimo sobre el tráfico de la avanzada. En la planificación de obra deben limitarse los trabajos sobre los muros existentes a zonas pequeñas para limitar las afecciones también en los viales laterales. En los trabajos nocturnos deben tenerse en cuenta las restricciones de ruido para limitar las afecciones a las viviendas colindantes.

La seguridad y resistencia estructural está condicionando por un lado por la limitada capacidad portante de los muros actuales y por el otro lado por la alta resistencia al fuego requerida en el túnel.

Los niveles de seguridad a la resistencia al fuego se definen en el DF 91/2012 del 24 de abril, Instrucción Técnica de Seguridad y Explotación de Túneles de Carretera.

N1: “El nivel N1 de estabilidad al fuego se aplica para estructuras que soportan una carretera o una zona accesible a los peatones situada encima de ellas.”

Sin embargo, queda especificado también: “En todos los casos anteriores será necesario prever medidas para prohibir en un tiempo corto la circulación en la vía soportada o en el segundo tubo. Si esto no es posible, o si la estrategia de intervención precisa preservar la vía soportada o el segundo tubo, se exigirá un nivel de resistencia al fuego superior.”

La situación en el caso de incendio requiere el uso continuo de las vías longitudinales y transversales situadas sobre la estructura. Por lo tanto, el nivel de seguridad frente a incendio es el N2.

Las exigencias correspondientes al nivel 2 son de 120HCM, 120 minutos sobre la curva HCM, siendo la resistencia requerida de 1300° durante 120 minutos.

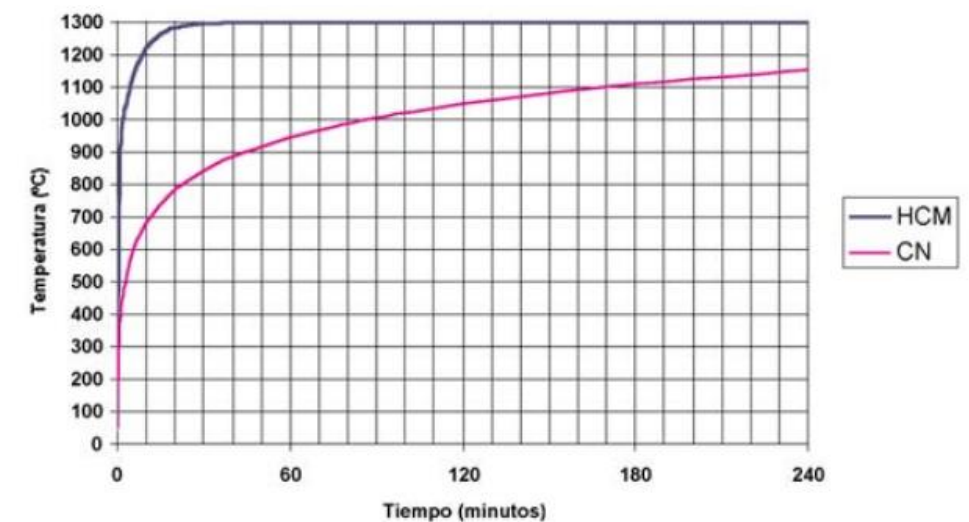


Figura 9: Curvas temperatura - Tiempo - CN y HCM

Fuente: Sener

La acción de fuego requiere una protección pasiva de las vigas de cubierta existentes. Esta protección se extiende también a la zona de la cubierta nueva para conseguir un acabado uniforme en todo el túnel. Además, el empleo de placas de protección frente a incendio permite el uso de una estructura metálica con menor carga vertical sobre los muros existentes.

Las placas de protección de 20mm de espesor a base cemento reforzado con fibra de vidrio y certificadas para la curva de fuego HCM 120 se cuelgan de una estructura auxiliar que se coloca entre las vigas prefabricadas de hormigón según el siguiente esquema para minimizar las afecciones al gálibo en el túnel.



Figura 10: Protección contra incendios

Fuente: Catalogo Comercial Aestuver

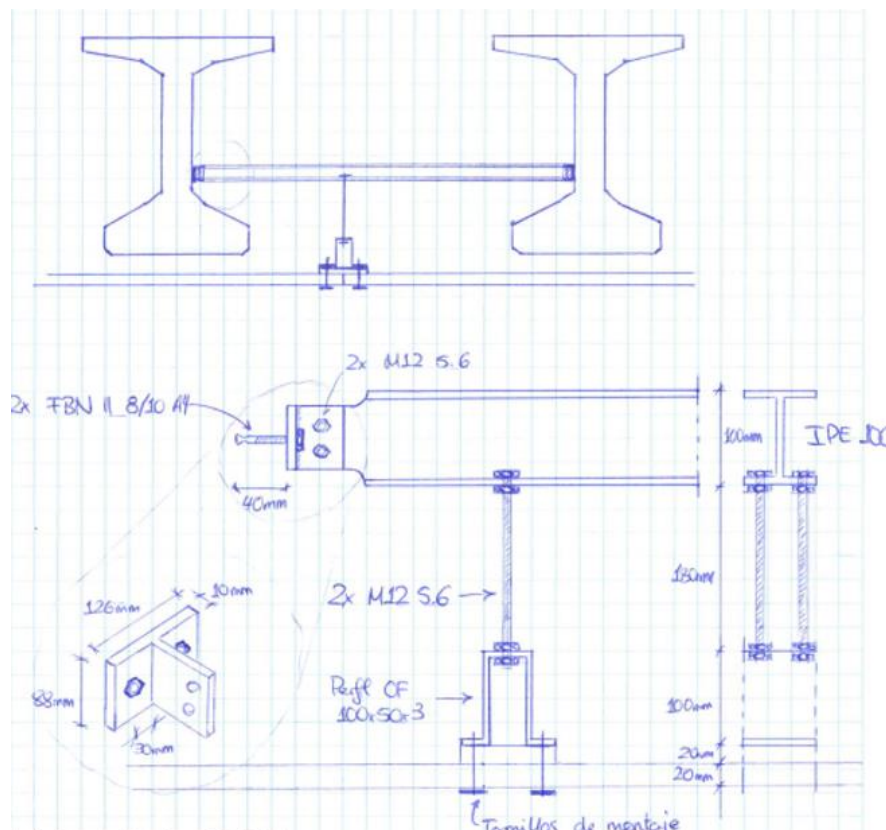


Figura 11: Montaje protección contra incendios

Fuente: Sener

La capacidad portante de los muros actuales ha sido evaluada y se ha llegado a la conclusión que se deben reforzar para el apoyo de la nueva cubierta y para poder contener el terreno con suficiente garantía también en el futuro.

Para aumentar la capacidad portante de los muros se propone la ejecución de micropilotes en el trasdós del muro según el esquema indicado en la siguiente figura. Para el refuerzo se distingue entre dos casos que se presentan en el lado izquierdo y lado derecho de la figura.

En el lado izquierdo, el nivel del vial lateral es superior o igual que el nivel de la cubierta o es posible la ocupación permanente del vial lateral. Esto permite prolongar las vigas de la cubierta y apoyarlos en el eje de la primera línea de pilotes.

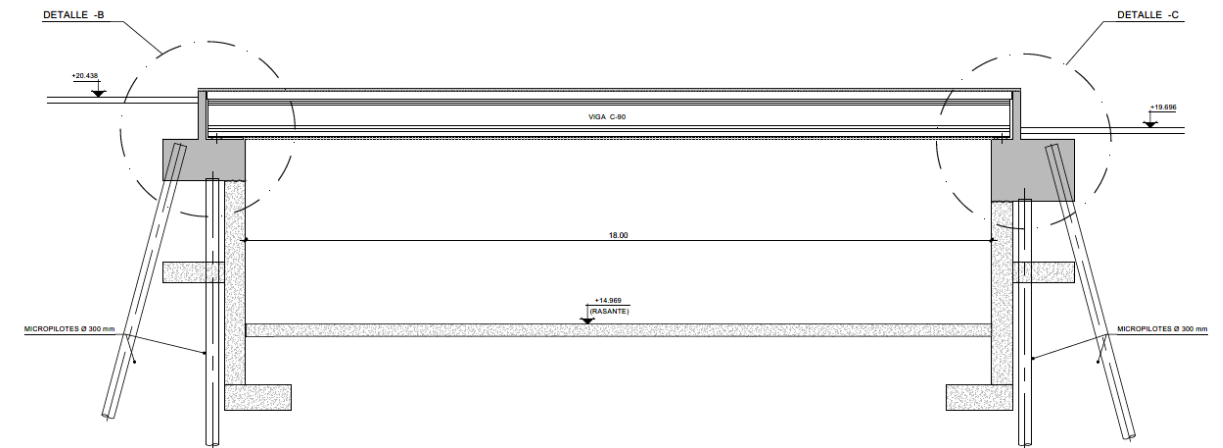


Figura 12: Refuerzo de muros existentes con micropilotes

Fuente: Sener

En el lado derecho no se puede invadir el vial lateral y la viga prefabricada deben apoyarse en el muro existente. Esta solución requiere un mayor refuerzo y una sustitución parcial de la parte superior del muro para garantizar la transmisión de los esfuerzos que resultan del apoyo excéntrico.

El refuerzo del muro se puede ejecutar sin afectar el tráfico en la Avanzada y se necesitará aproximadamente un espacio de 5m en las vías laterales para la ejecución de la obra. Solamente en las últimas fases de corte del muro y la colocación de las vigas prefabricadas se afectará al tráfico de la Avanzada por un periodo reducido.

8.5 Solución propuesta

En función de los condicionantes del diseño funcional, uso, diseño arquitectónico, tipologías de los muros existentes, espacio disponible etc, se plantean 5 secciones estructurales diferentes para la cubierta nueva del túnel. Las diferentes zonas y su ubicación referenciado al trazado se presentan en la siguiente figura y tabla.

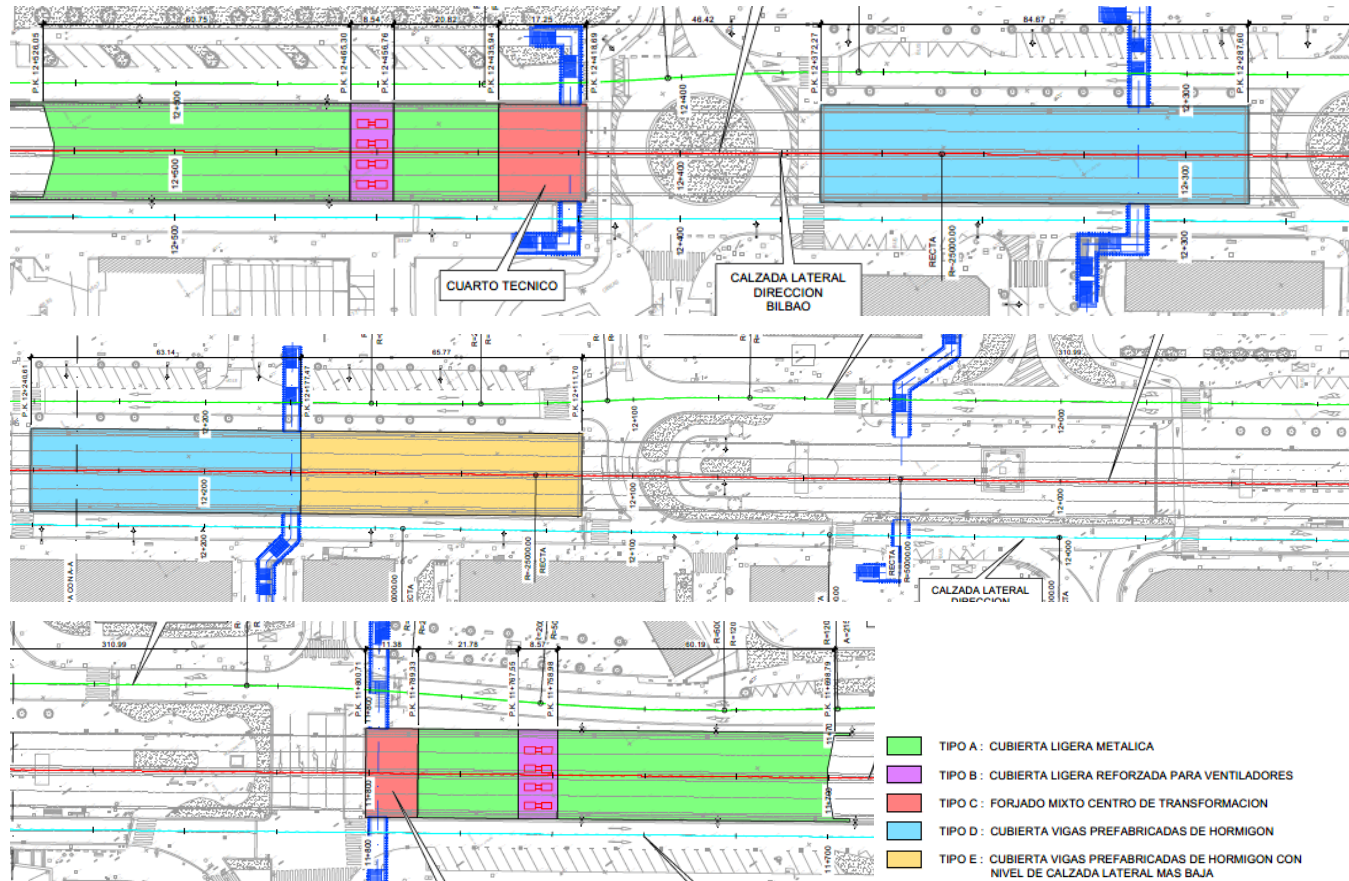


Figura 13: Tipologías estructurales de cubierta

Fuente: Sener

- Tipo A: Cubierta ligera con pórticos metálicos (color verde)
- Tipo B: Cubierta ligera con pórticos metálicos con ventiladores (color rosa)
- Tipo C: Estructura metálica con pórticos para el CT (color naranja)
- Tipo D: Cubierta transitable con viga pretensada sobre recreado del muro con micropilotes (color azul)
- Tipo E: Cubierta transitable con viga apoyada sobre el muro y con carga excéntrica sobre el recreado con micropilotes. (color amarillo)

8.5.1 Cubierta ligera en bocas de túnel

En este caso los tipos de estructura son el Tipo A y el Tipo B. La diferencia entre ambas es la presencia de los ventiladores.

La estructura está formada por pórticos con perfiles HEB situados sobre los muros existentes y transmitiendo las cargas al refuerzo planteado para este. Los pórticos están formados por dos pilares HEB300 de altura variable respetando el gálibo y acorde con el planteamiento arquitectónico. Estos dos pilares están conectados con una viga HEB340 que, del mismo modo, poseerá una inclinación variable respetando la arquitectura de la propuesta. La interdistancia entre pórticos será de 1 metro para introducir las cargas de la cubierta en los muros de manera uniforme y sin picos de carga.

Los refuerzos planteados en el muro consisten en un recreado del hormigón por el trasdós formando una viga que servirá de encepado para el enlace de los micropilotes con el muro y con la estructura. Este elemento será necesario para transmitir las cargas de la cubierta al terreno y colaborar con el equilibrio del muro existente. Se plantea al existir restricciones de ampliación de la cubierta realizar un encepado con carga

excéntrica sobre los micropilotes. Para esto se ejecutarán dos micropilotes, uno en vertical y otro con inclinación para la correcta transmisión de las cargas.

La estructura, estará revestida en su interior por paneles resistentes al fuego de acuerdo con la curva de fuego especificada en el apartado 3.12.4.3. Para el soporte de este revestimiento se anclarán a perfiles de acero laminado de tipo omega. Los perfiles omegas, a su vez, se anclarán tanto a los pilares en las caras verticales y se colgarán por unos tirantes a la viga superior.

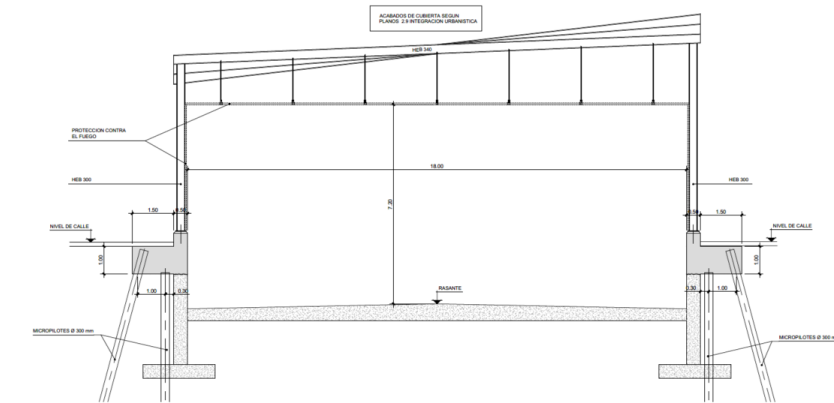


Figura 14: Sección Tipo A

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la cubierta Tipo B se añadirá como carga permanente el peso de los 4 ventiladores.

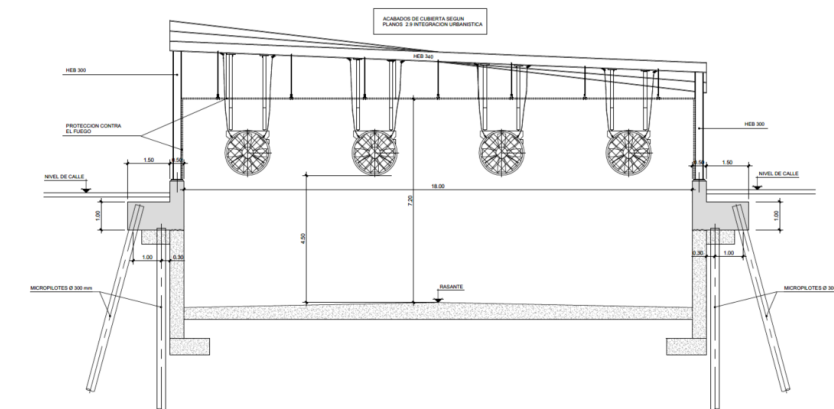


Figura 15: Sección Tipo B

Fuente: Elaboración propia

8.5.2 Estructura para centro de transformación

La estructura de Tipo C, la cual soporta el Centro de Transformación, es una estructura mixta compuesta por vigas metálicas y un forjado de hormigón con chapa colaborante. Sobre esta, se sitúan los pórticos metálicos que se han descrito en el Tipo A y Tipo B.

La estructura superior está formada por perfiles HEB situados sobre el forjado colaborante y transmitiendo las cargas al refuerzo planteado para los muros existentes. Los pórticos están formados por dos pilares HEB300 de

Memoria

altura variable, acorde con el planteamiento arquitectónico. Estos dos pilares están conectados con una viga HEB340 que, del mismo modo, poseerá una inclinación variable respetando la arquitectura propuesta.

En el caso del forjado mixto se ampliará su dimensión perpendicular a la vía para poder ejecutar los apoyos directamente sobre el encepado transmitiendo las cargas de forma directa a los pilotes. El forjado estará formado por vigas HEB 600, sobre la que está anclada una chapa grecada y sobre la que se ejecuta el hormigón armado.

La estructura estará revestida en la zona expuesta al túnel por paneles resistentes al fuego de acuerdo con la curva de fuego especificad. Para el soporte de este revestimiento se anclarán a perfiles de acero laminado de tipo omega. Los perfiles omegas, a su vez, se anclarán a los perfiles HEB600 del forjado colaborante.

Se muestra a continuación la sección tipo proyectada:

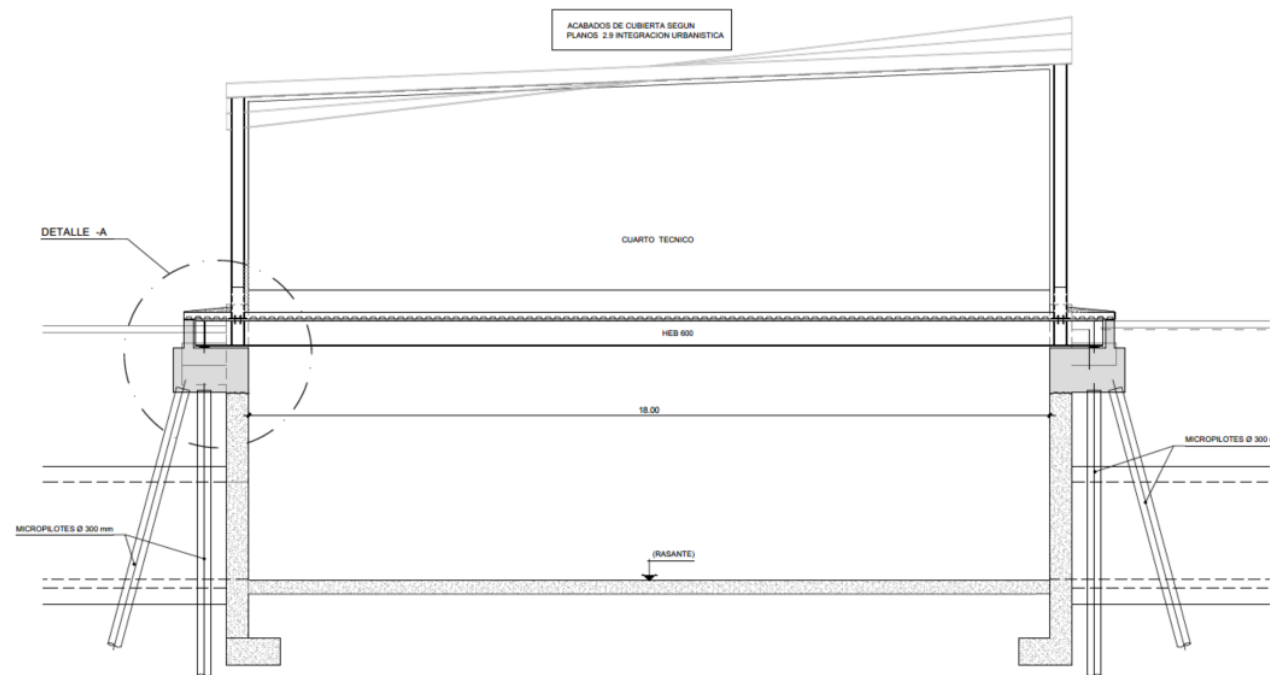


Figura 16: Sección Tipo C

Fuente: Elaboración propia

En este caso como se ha explicado en el caso tipo A y tipo B el muro existente no está preparado para asumir una sobrecarga por motivos de estabilidad y resistencia del hormigón armado a cortante y a flexión. Las armaduras existentes no cumplen los requerimientos mínimos exigidos por la normativa actual. En el caso de la sección tipo C como ya se ha explicado el apoyo es directo sobre los pilotes a través de apoyos de neoprenos zunchados.

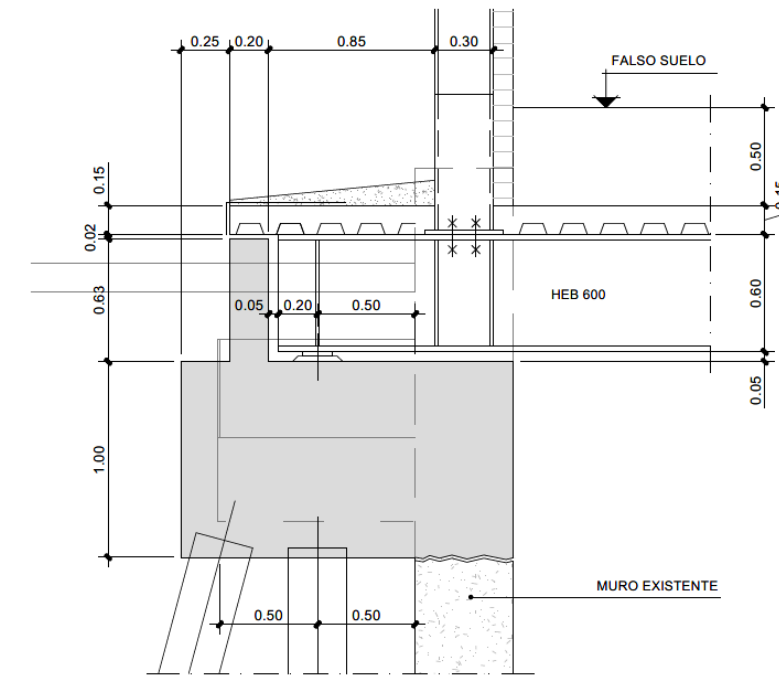


Figura 17: Detalle del apoyo sección tipo C

Fuente: Elaboración propia

Para el forjado mixto se han realizado los cálculos obteniendo que las dimensiones requeridas para este serán a través de un perfil HEB600 de acero laminado S 275 JR, una chapa grecada con nervios de 60mm y una capa de compresión de hormigón HA-30/B/30/IIIa de 100mm. La colaboración de la losa y los perfiles se consigue a través de negativos y conectores de 100mm de alto y un diámetro de 19mm.

8.5.3 Cubierta transitable

En la cubierta transitable o pesada, existen dos tipologías, la sección tipo D y la sección tipo E. Estas tipologías varían en función de la solución del refuerzo del muro. En la sección tipo D al presentarse la cota de la calzada del vial lateral a la misma altura de coronación de la plataforma, se realizará una prolongación de la viga situando el apoyo sobre la cimentación proyectada, sin embargo, en la zona de tipo E el vial lateral con sentido Bilbao se encuentra por debajo de la cubierta. Esto implica que no se pueda hacer ejecutar la ampliación de la viga y por lo tanto que el apoyo de esta sea sobre el muro existente. Se muestra a continuación ambas secciones, en las que se observa dicha solución, a la izquierda la sección tipo D y a la derecha la sección tipo E:

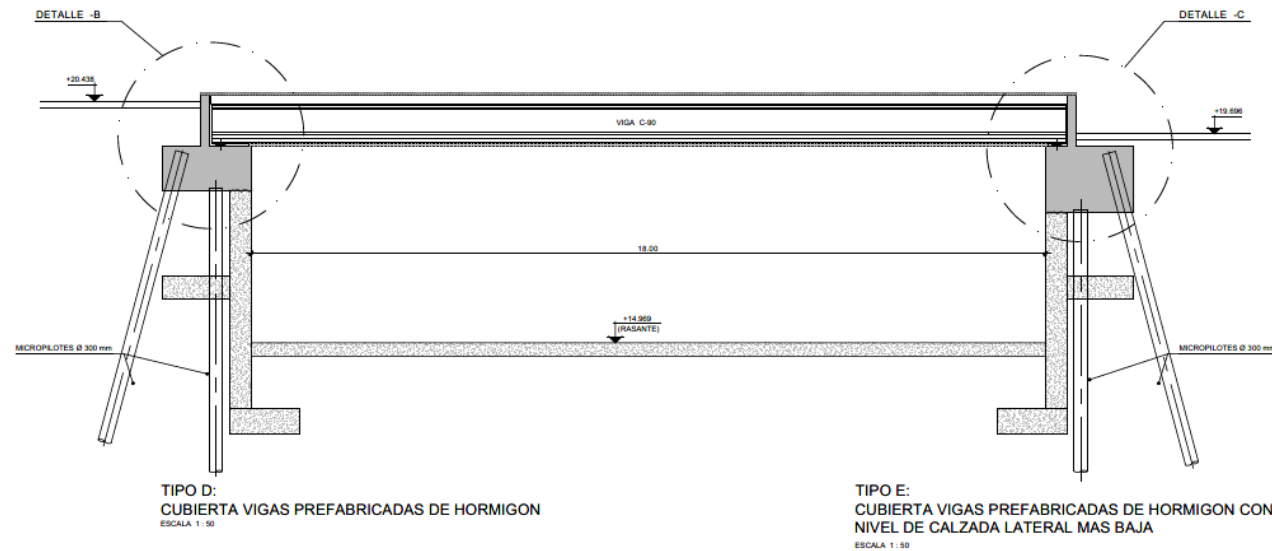


Figura 18: Sección tipo D y E

Fuente: Elaboración propia

Para la cubierta transitable se ha previsto un uso de tránsito público únicamente accesible para vehículos de emergencias. Sobre la estructura se ha planteado generar zonas ajardinadas y zonas peatonales.

Las vigas prefabricadas están formadas de un hormigón pretensado con una resistencia característica de 45 N/mm² y acero para pretensar con una tensión de rotura de 19 N/mm² transmitiendo las cargas al refuerzo planteado para los muros existentes.

Las vigas se situarán una cada 1,74 metros sobre los apoyos de neoprenos zunchados y en caso de las vigas iniciales y finales del tramo se colocarán dos vigas con una distancia de 0,8 metros. Las dimensiones y la armadura de las vigas prefabricadas se muestran a continuación:

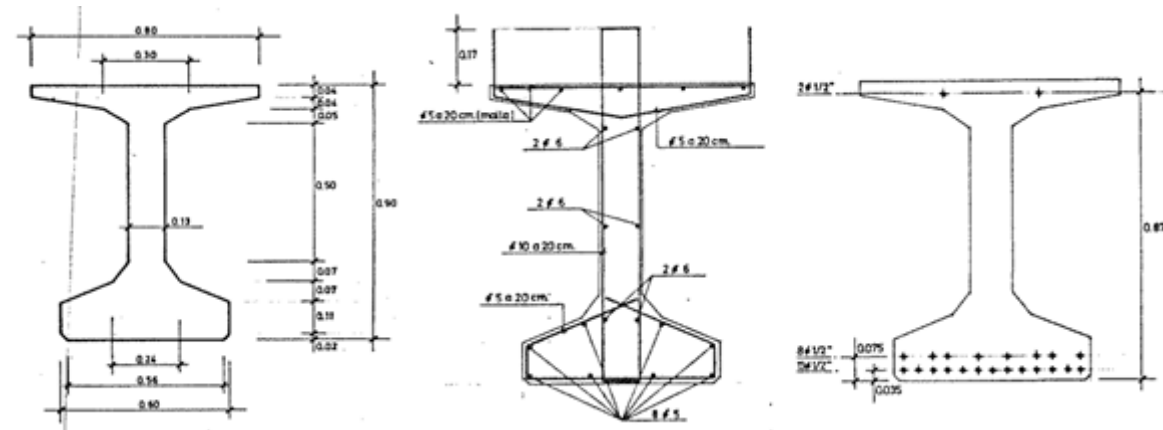


Figura 19: Detalle viga pretensada para la cubierta transitable

Fuente: Sener

En cuanto a la protección antiincendios en estas secciones también se ejecutará con paneles a de hormigón aligerado reforzados con fibra de vidrio y ligado con cemento para proteger la estructura de hormigón de las altas temperaturas en el túnel. (El revestimiento se anclará al alma de las vigas prefabricadas ejecutándose de la siguiente manera:

- Las placas irán ancladas por su lado corto (625mm) con los tornillos de montaje Aestuver Schrauben A2 a los perfiles omega 100x50x3. Es recomendable usar la cinta de juntas o recortar alguna placa como tira con un tamaño parecido al ancho del perfil para poner entre perfil y fuga entre placas (véase boceto).
- Los perfiles omega serán sujetados por dos barras roscadas y tuercas (M12 5.6) al perfil IPE 100 a los dos lados del alma (véase boceto). Esto permitirá tener más margen a la hora de colgar las placas dejando una holgura de unos 2cm por debajo de las vigas de hormigón.
- Por último, se anclará el IPE 100 con dos tornillos M12 5.6 a una chapa de acero tipo T y con dos pernos FBN II 8/10 A4 (uno a cada lado) al alma de la viga de hormigón. Este proceso se tendrá que repetir cada 3 metros.

El revestimiento se anclará al alma de las vigas prefabricadas a través de un perfil laminado de tipo IPE, que permitirá colocar un tirante del que colgará un perfil omega. Estos perfiles omega servirán de punto de anclaje de los paneles resistentes al fuego según las Instrucciones Técnicas de Seguridad de la Diputación de Bizkaia.

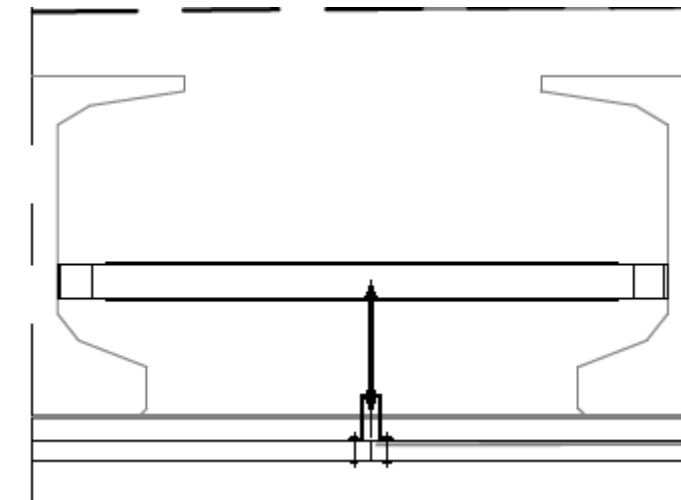


Figura 20: Detalle colocación del revestimiento anti incendios de la cubierta transitable

Fuente: Sener

8.6 Salidas de emergencia

La estructura de las salidas de emergencia se construye con cajones de hormigón armado. Para garantizar la estanquidad de la sección se coloca una lámina de impermeabilización alrededor de la sección de hormigón.

Las galerías se excavan en el ámbito de los viales laterales. Para asegurar la estabilidad de la excavación y prevenir movimientos indeseados del terreno se instalan muros con micropilotes alrededor del recinto de la galería. Los micropilotes se arriostran con puntales.

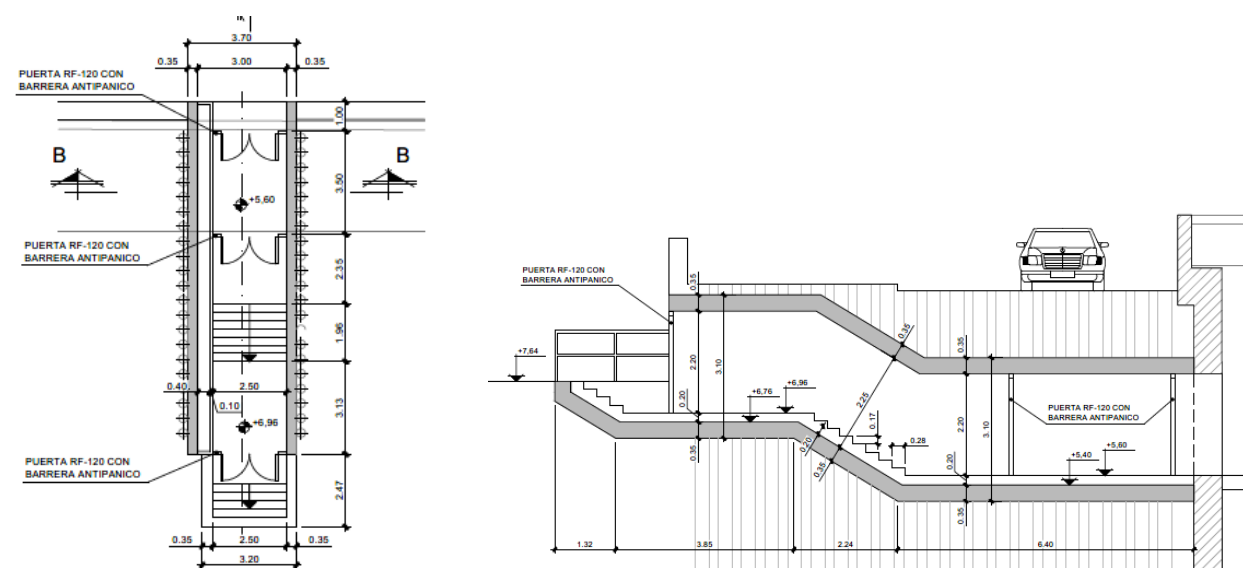


Figura 21: Planta y sección galería evacuación

Fuente: Sener

9 INFRAESTRUCTURA BÁSICA DE SEGURIDAD

A continuación, se describen las actuaciones fundamentales previstas en materia de infraestructura básica y de seguridad. Estas actuaciones se detallan con mayor profundidad en el Anejo nº 5 “Infraestructura básica de seguridad”.

9.1 Trazado

Aunque la pendiente del tramo final del falso túnel existente y del nuevo tramo a cubrir (5,4%) supera el límite del 3% establecido en la normativa de aplicación para rampas en túnel, no se considera ninguna actuación en este sentido, al entenderse que resultaría desproporcionada en cuanto a costes y afecciones.

9.2 Sección transversal

La sección transversal en el tramo de actuación viene muy condicionada por la estructura existente, tanto en cuanto a anchura libre (17,2 m en el falso túnel existente y 18 m en la zona de trinchera) como en cuanto a gálibo (4,60 m).

Partiendo de estos condicionantes, se propone a grandes rasgos la reducción de la anchura de los carriles rápidos de circulación, con objeto de aumentar la anchura de los arcenes, permitiendo que los mismos alojen los registros de las diferentes canalizaciones a implantar. Esta reducción de la anchura de carriles tendrá adicionalmente un efecto favorable en cuanto al calmado del tráfico.

Con objeto de maximizar la anchura libre disponible en el tramo actualmente cubierto, se prevé la demolición del revestimiento de bloques existente.

Las secciones propuestas quedan como sigue:

- Mediana: 0,60 m
- Arcén interior: 0,90 / 0,50m
- Carriles: Carril Derecho: 3,50 m y Carril Izquierdo: 3,30 m
- Arcén exterior: 0,50 m en falso túnel actual
- 1,10 m en zona de trinchera y rotondas

9.3 Firmes

Se prevé el fresado de la capa de rodadura e intermedia en todo el tramo de actuación, y el posterior extendido de dos capas de mezcla bituminosa:

- 6,5 cm AC22 bin 5 PMB 45/80-60
- 3 cm BBTM 11A PMB 45/80-60

9.4 Revestimiento Estético

Se dispondrán paneles de acero vitrificado adosados a los hastiales del túnel de La Avanzada y sobre la barrera New Jersey.

Si fuera necesario se estudiará durante las fases de proyecto constructivo la necesidad de que los paneles más próximos a la boca sean con características fonoabsorbentes.

9.5 Salidas de emergencia/galerías de evacuación

Con objeto de garantizar la evacuación del túnel en caso de incendio, se dispondrán seis salidas de emergencia por cada sentido de circulación, a interdistancias variables entre 110 y 145 m.

Las galerías de evacuación tendrán unas dimensiones libres interiores de 2,2 x 2,2 m, y contarán con un vestíbulo presurizado de 3,5m de longitud. La salida se realizará directamente al exterior, en general por medio de trampillas motorizadas con indicación sonora y luminosa de apertura. Todas las salidas deberán estar convenientemente balizadas para evitar la parada de vehículos sobre las mismas.

9.6 Drenaje

El sistema de drenaje propuesto consta de canalones de recogida y evacuación de agua dispuestos linealmente a ambos lados de la cubierta en la zona de bocas, y caces de rendija a ambos lados del forjado en la zona entre rotondas y entre la rotonda y el falso túnel existente. Lo canalones a disponer en la cubierta serán elementos de acero corten, rectangulares de 16 cm de base y 10 cm de altura. Los caces de rendija serán prefabricados de hormigón y 250 mm de diámetro interior

Desde los canalones se dispondrán bajantes de PVC de diámetro 125 mm, aproximadamente cada 20 m, que servirán de conexión entre los canalones y un nuevo colector dispuesto longitudinalmente a nivel de calle.

Dicho colector será prefabricado de hormigón en masa de diámetro 250 mm. En el caso de la boca Getxo, el tramo entre rotondas y el tramo entre la rotonda y el falso túnel existente el colector y los caces de rendija se conectarán al sistema de drenaje existente en la BI-637. Para ello se dispondrá en el final de cada tramo un bajante de PVC de diámetro 250 mm. En la boca Bilbao, el colector dispuesto se conectará de forma directa a la canalización del arroyo Elexalde, destino final del drenaje proyectado en la totalidad del tramo donde se actúa.

Se ha realizado la validación hidráulica de cada uno de los elementos dispuestos en cuanto a calado o relación de llenado y velocidad para el periodo de retorno de 25 años, siendo esta favorable en base a la normativa de aplicación. Los resultados se recogen en el Anejo 3. La disposición de los elementos dispuestos puede observarse en el capítulo 8 de los planos.

9.7 Señalización, balizamiento y defensa

En lo que respecta a señalización horizontal será de aplicación la Norma de Carreteras 8.2-I.C. “Marcas Viales” aprobada por Orden Ministerial de 16 de Julio de 1987. La adecuación no conllevará ninguna variación de entidad en cuanto al tipo de línea empleada simplemente la recolocación de está tras el fresado y afirmado de la capa de rodadura.

La señalización vertical dentro del túnel y en las proximidades se regirá por la Norma 8.1-I.C. “Señalización vertical” aprobada el 28 de diciembre de 1999. Entre las principales señales que se habrán de disponer estarán las que indiquen: túnel (S-5), velocidad máxima aconsejada (S-7), fin de obligación de alumbrado de corto alcance (S-24) y hito kilométrico en autovía, vía rápida o carretera convencional (S-572).

El balizamiento constituirá una señalización complementaria para el túnel de La Avanzada, que tiene por objeto servir de guía y producir una ayuda visual a los conductores, especialmente de noche y en condiciones de baja visibilidad, aumentando la seguridad y la comodidad de la conducción.

En lo relativo a defensa, las barreras del tipo New Jersey que existen en los hastiales se reemplazaran por barrera simple de hormigón armado. En cuanto a la barrera de mediana se sustituirá la barrera “Tric-Bloc” empleada en la mediana por una Barrera de Hormigón Doble con nivel de contención H2, anchura de trabajo W2 e índice de severidad B.

Los pasos de mediana se cambiarán tanto de lugar como de sistema. Se dispondrán únicamente dos pasos uno en las proximidades de cada boca, situados entre los semáforos y la barrera basculante cuya colocación es obligada. Se empleará un sistema para el paso de mediana con una contención mínima que puede ser similar a PMM de ASEBAL pero a determinar en fase detallada. La longitud total para estos pasos de mediana debería ser de unos 40 m.

10 INTEGRACIÓN URBANÍSTICA

Los principales objetivos a los que debe dar respuesta la intervención que desarrolla este proyecto son los siguientes:

- Mejora de la conexión entre las dos zonas a ambos lados del municipio de Leioa, ya que el tramo peatonal existente mide apenas 300 metros.
- Minimizar la contaminación acústica que sufren los vecinos de Leioa derivada por la alta densidad de tráfico en el vial de La Avanzada.
- Cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Tras una serie de alternativas estudiadas se propone una solución innovadora que básicamente podemos describir como una “serie de olas” que son las que resuelven la cubierta de las ampliaciones del túnel lado Getxo y lado Bilbao. Estas “olas” aprovechan la propia estructura de cubrimiento, jugando con las alturas de la misma para crear esa sensación de movimiento y se proponen acabadas con un sistema ventilado de vidrio y panel fotovoltaico. Este diseño permite, además, englobar en su interior los cuartos técnicos necesarios para el funcionamiento de los sistemas de Túnel. Su disposición facilita la evacuación de las aguas, el material es fácilmente limpiable y autolimpiable y, además, se convierte en una fuente de suministro de energía. La solución dispone del aislamiento al fuego y acústico requerido para minimizar dichos riesgos.

La zona cubierta entre las bocas se resuelve con una plaza que no pretende únicamente dar continuidad a una zona peatonal existente, sino que también refuerza de alguna manera la conexión transversal de las zonas verdes y áreas peatonales y da continuidad a las “olas de los extremos con la disposición de pérgolas resueltas con una estructura similar a la propuesta en la ampliación del Túnel. Se disponen zonas ajardinadas con el mobiliario urbano adecuado y se crean topografías nuevas que permiten disfrutar de espacios de más calidad sin olvidar los condicionantes básicos de accesibilidad y diseño inclusivo.

La actuación se remata con la disposición de pantallas acústicas de acuerdo a los resultados del estudio acústico a partir de cada una de las bocas del túnel minimizando así el impacto acústico del vial existente con pantallas acristaladas que incorporan paneles fotovoltaicos. De esta manera se produce una mayor integración paisajística y además se crea una nueva fuente de producción de energía.

La solución propuesta, desde el punto de vista de integración urbanística, ayuda a cumplir 7 de los objetivos de Desarrollo Sostenible de manera directa, que son Salud y Bienestar (3), Igualdad de Género (5), Energía Asequible y no contaminante (7), Industria, Innovación e infraestructura (9), Ciudades Comunidades sostenibles (11), Producción y Consumo responsables (12) y Acción por el Clima (13), lo que supone también un reto en cualquier obra de infraestructura.

11 ENERGÍA Y ALUMBRADO

En el anejo 7 “Energía y alumbrado” se describen las instalaciones de alimentación eléctrica y el sistema de alumbrado del túnel de La Avanzada, cuyo diseño es compatible con el desarrollo de la construcción por fases.

El sistema de alimentación eléctrica tendrá las siguientes funciones:

- Conectarse a la red de distribución existente en la zona (Iberdrola 13.2kV) para obtener un suministro de energía eléctrica.
- Distribuir dicha energía a todos los consumidores eléctricos del túnel.
- Dotarse de las redundancias y apoyos necesarios (doble acometida MT, grupo electrógeno, SAI) para garantizar el suministro eléctrico a las cargas, de acuerdo a lo establecido en las Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación en Túneles de Carreteras de la DFB.

La aparamenta eléctrica se dispondrá en las salas técnicas correspondientes, situadas en la parte superior de los extremos del túnel. Se dispondrá de un sistema de bandejas metálicas a lo largo de todo el túnel, apoyadas sobre el hastial, para la alimentación de las cargas, así como de una canalización enterrada, por el exterior del túnel, para garantizar la redundancia del suministro de MT entre los dos centros de transformación.

Las distintas partes del sistema eléctrico, que se dispondrán en cada lado del túnel, son las siguientes:

- Acometida en 13,2kV desde la red de distribución de Iberdrola.
- Centro de seccionamiento o maniobra, a ser cedido a Iberdrola.
- Acometida en 13,2 kV al centro de transformación.
- Centro de transformación
 - Cabinas de MT
 - Transformador de potencia
 - Seccionador de BT
- CGBT
- Grupo electrógeno
- SAI
- Sistema de puesta a tierra.

El sistema de alumbrado que se instalará en el túnel dotará de la iluminación necesaria a las diferentes partes de dicho túnel, en cualquiera de las situaciones que puedan aparecer. Para ello se distinguirán tres tipos de sistemas iluminación:

- La iluminación normal se proporcionará de modo que asegure a los conductores una visibilidad adecuada de día y de noche en la entrada del túnel, en las zonas de transición y en la parte central
- La iluminación de emergencia se proporcionará de modo que permita una visibilidad mínima para que los usuarios del túnel puedan evacuarlo en sus vehículos, en caso de avería del suministro de energía eléctrica
- La iluminación de evacuación estará situada a una altura no superior a 1,5 metros y deberá proyectarse de modo que permita guiar a los usuarios del túnel para evacuarlo a pie en caso de incendio

El sistema de iluminación del túnel estará compuesto por proyectores, desde ambos hastiales, basados en luminarias de tecnología LED de 4000 K de temperatura de color. La adopción de tecnología LED permitirá cumplir con los requisitos técnicos de eficiencia energética requeridos por la normativa.

12 VENTILACIÓN

A continuación, se describen las actuaciones fundamentales previstas en materia de ventilación en el túnel. Estas actuaciones se detallan con mayor profundidad en el Anejo nº 8 “Ventilación, cuyo diseño es compatible con el desarrollo de la construcción por fases..

12.1 Ventilación de túnel

El Decreto Foral 91/2012 de la Diputación Foral de Bizkaia exige contar con un sistema de ventilación artificial con su correspondiente sistema de automatismo en los túneles bidireccionales interurbanos de más de 500 metros de longitud (o incluso 350 metros en caso de que se congestionen de manera repetida).

Debido a la imposibilidad de poner una ventilación transversal o semi-transversal en los túneles por condiciones económicas y técnicas muy desfavorables, se ha estudiado en los análisis de riesgo la aceptabilidad de un tipo de ventilación longitudinal, demostrando su comportamiento correcto. No se ha considerado necesario el disponer de pozos de ventilación intermedios en el trazado conectando con el exterior donde, en caso de incendio, se expulsa el humo al exterior, ya que la longitud que presentan los túneles no lo justifica.

Los criterios de diseño del sistema de ventilación del túnel son los siguientes:

- Sistema de ventilación longitudinal basado en ventiladores de chorro instalados a lo largo de los túneles para garantizar la calidad del aire y un entorno seguro para ambos modos de operación: normal y de emergencia.
- Ventiladores 100% reversibles, ubicados en una línea en cada una de las bocas, único lugar con suficiente galibo para colocar un ventilador de un tamaño razonable.
- Los ventiladores tendrán una resistencia a altas temperaturas de 400°C durante al menos 2 horas, según fabricante.
- Potencia del incendio de 100 MW, tal como marca el Decreto Foral, al permitir el paso de mercancías peligrosas por el túnel.
- Ubicación del incendio más desfavorable (mayor distancia de evacuación y/o mayor retroceso del humo).
- Presión del viento en boca de 15 Pa en el sentido desfavorable para la ventilación del túnel.
- Condiciones ambientales de verano.
- Tiempo de cierre del túnel y tiempo de activación de la ventilación: 2 minutos a partir del inicio del incendio.

Se han escogido los ventiladores reversibles que mejor se adaptan al túnel y a los criterios de diseño impuestos para poder obtener el mayor rendimiento posible del conjunto de la ventilación. Los ventiladores se instalarán en filas de 4 en ambas bocas y tendrán una potencia de 55 kW, un diámetro interior de 1.400 mm y una velocidad de chorro de 32,3 m/s. La disposición de los ventiladores en los túneles será la siguiente:

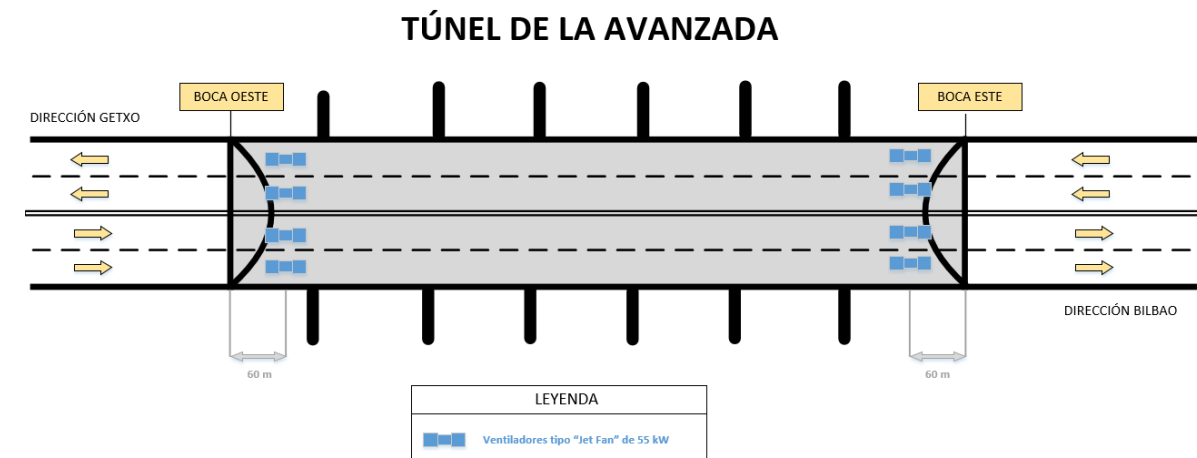


Figura 22: Posición de los ventiladores en el túnel de La Avanzada.

Fuente: Elaboración propia

12.2 Control de la calidad ambiental

Para el control de la calidad ambiental y el régimen de trabajo de los ventiladores, se proyecta disponer de un sistema de detección y control en tiempo real. En particular, datos de los contaminantes durante el modo de servicio y de la velocidad del aire tanto en funcionamiento normal como, muy especialmente, en caso de incendio.

Por lo tanto, se van a colocar a lo largo del túnel de La Avanzada varios equipos de medición ambiental que proporcionen al sistema de gestión información sobre los siguientes parámetros:

- Monóxido de carbono (CO)
 - Se colocarán los detectores cada 150-200 metros aproximadamente y a una distancia aproximada de 1,50 m del suelo. Teniendo en cuenta la longitud del túnel de La Avanzada, se dispondrán 4 detectores de CO de tipo electroquímico, 2 en cada hastial, ubicándose coincidiendo con la ubicación de los nichos SOS.
- Dióxido de nitrógeno (NO₂)
 - Se colocarán los detectores cada 150-200 metros aproximadamente y a una distancia aproximada de 1,00-1,50 m del suelo.
- Visibilidad, mediante la medición de la opacidad
 - Se prevé la instalación de dos opacímetros en todo el túnel, uno en cada hastial, a una distancia no mayor a 400 metros entre cada uno de ellos.
- Velocidad y dirección del aire
 - Se colocarán los anemómetros aproximadamente cada 200-300 metros en la clave del túnel, lo más cerca posible del centro del tubo, y no podrán estar ubicados a menos de 50 metros de ventiladores o de las bocas del túnel.

12.3 Ventilación de galería

El sistema de presurización de galería de emergencia es un sistema de ventilación mecánica. El objetivo principal es evitar la infiltración de humo en caso de incendio. En modo normal, la ventilación se garantiza por la infiltración debida a las aberturas de las compuertas cortafuego y ventiladores. La presurización de cada galería se realizará mediante impulsión de aire desde el exterior, impidiendo que el humo del túnel entre a la galería tras la apertura de la puerta de acceso a la misma.

El sistema de ventilación de galería contará con los siguientes elementos:

- Ventilador axial de 13608 m³/h, diámetro interior de 640 mm y potencia instalada de 7,5 kW.
- Conducto para llevar el aire desde el ventilador hasta el punto de descarga.
- Rejilla de aire para la admisión del aire o la descarga del aire.
- Compuerta cortafuego encima de la puerta de acceso a la galería desde el túnel para mantener la compartimentación de la galería.
- Compuerta de sobrepresión encima de la puerta de acceso a la galería desde el túnel para evitar una presión más alta en comparación con el túnel.
- Una sonda de presión diferencial que mide la diferencia de presión entre la vía de evacuación presurizada y la zona no presurizada.

La salida a la superficie de las galerías se realiza por la carretera superior al túnel, por lo que los bomberos podrán acceder fácilmente con sus equipos a esa zona. Por lo tanto, se ha considerado que los bomberos puedan utilizar la galería para entrar en el interior del túnel.

El valor mínimo de presión diferencial a mantener entre el vestíbulo y el túnel será de 50 Pa, tal como lo recoge la UNE-EN 12101-6.

El caudal de aire a aportar debe ser suficiente para mantener un flujo de aire de 2,00 m/s a través de una hoja abierta de la doble puerta entre el vestíbulo y el túnel.

12.4 Ventilación y climatización de los cuartos técnicos

Se trata de la instalación de ventilación y climatización para las salas técnicas del túnel de manera que se garantice la salubridad y el confort en condiciones normales de explotación y la seguridad para el personal que acude a estas zonas.

Todos los cuartos y salas del túnel de La Avanzada requerirán un sistema de ventilación. Los cuartos técnicos, todos exteriores, tendrán los siguientes elementos para ventilación:

- Rejilla de impulsión
- Rejilla de extracción
- Ventilador axial mural
- Sonda de temperatura

Este sistema funcionará tanto en condiciones normales como en emergencia.

Las rejillas de toma y salida de aire suponen una fuga en el caso del disparo de extinción por agente limpio, por lo que se acompañan con compuertas motorizadas en los locales con agente limpio.

Algunas salas deberán ser climatizadas con el objeto de garantizar la fiabilidad de los equipos electrónicos. Por lo tanto, las salas donde se dispondrán baterías y los racks de los sistemas de comunicaciones y control tendrán que tener climatización mediante fan coils de mural visto, además de la ventilación correspondiente.

13 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

A continuación, se describen las actuaciones fundamentales previstas en materia de ventilación en el túnel. Estas actuaciones se detallan con mayor profundidad en el Anejo nº 9 Protección Contra Incendios.

13.1 Sistema de extinción de incendios

El túnel de La Avanzada dispondrá de un sistema de extinción de incendios, instalado en el interior del túnel, en las galerías de evacuación y en salas de los Edificios Técnicos. Los elementos que conforman el sistema de extinción de incendios son:

- **Sistemas de extintores portátiles**

Dependiendo de las características del tipo del incendio, se emplean dos tipos de extintores diferentes:

- Extintor portátil de polvo seco polivalente antibrasa ABC.
- Extintor portátil de nieve carbónica CO₂.

Los extintores de polvo se colocan en los postes SOS situados en el interior del túnel y en las galerías de evacuación y los extintores de nieve en cada una de las salas de los Edificios Técnicos junto con extintores de polvo.

- **Sistema de red húmeda para BIEs e Hidrantes**
 - Se dispondrá del siguiente abastecimiento de agua principal desde la red general. Este abastecimiento alimentará al grupo de presión que mantiene la red de columna húmeda. Adicionalmente, existirá un abastecimiento alternativo: Se dejan bocas para el abastecimiento del sistema por parte del cuerpo de bomberos en ambas bocas de los túneles (en ambos sentidos de la circulación del tráfico).

En el recinto destinado al sistema de Protección Contra Incendios, se instala una estación de bombeo que asegure el 100% de las necesidades de agua del sistema que contará con una bomba eléctrica principal, una bomba Diesel (principal de reserva), una bomba Jockey eléctrica, válvulas antiretorno y de aislamiento y accesorios y material diverso (tubería, valvulería, absorbedores de vibración, compensadores de dilatación, manómetros, etc.). Las bombas principales aseguraran un caudal de 120 m³/h a una presión de 5 bar en dos hidrantes consecutivos en el punto más alejado de la red. El arranque de las bombas podrá realizarse en modo manual o automático.

La red de hidrantes se dividirá en dos clases según su función: una red principal, que distribuirá longitudinalmente el agua a lo largo del túnel, desde el punto de bombeo hasta las salidas a las tuberías verticales donde se instalarán las bocas de incendio equipadas, situadas cada 50 m, y una red de puntos de consumo o hidrantes.

La red principal será una red aérea de acero negro de Ø6" (DN 150) situada en ambos hastiales del túnel y en la que están conectados tanto los hidrantes como las BIE's.

El hidrante tendrá una entrada por la parte superior, donde está prevista la brida de conexión a la tubería de la red principal Ø6" (DN 150). En el extremo contrario a la entrada se dispondrá el mecanismo de cierre. La toma será de 100 mm de diámetro nominal y en su parte superior estará provisto de 2 bocas de salida de 70 mm de diámetro nominal, las cuales llevarán acoplados racores según la norma UNE 23-400 y dispondrán del correspondiente mecanismo de cierre/apertura.

El sistema de BIE's estará diseñado teniendo en cuenta lo indicado en la normativa aplicable, de 25 mm en inoxidable, con toma adicional de 45. Se dispondrán adosadas a los paneles de protección contra incendios/revestimiento estético en el interior del túnel de La Avanzada, con una distancia de separación entre las mismas de 50 m.

- **Sistema de rociadores**

La instalación del sistema automático de supresión de incendios por rociadores para el cuarto de bombas contra incendio de túnel de La Avanzada será obligatoria solo en el caso de que el grupo de bombas contraincendios contemple la bomba Diesel de reserva.

Actualmente el grupo propuesto estará compuesto por bomba principal eléctrica y bomba de reserva Diesel y por tanto, se requiere de rociadores en el cuarto de bombas.

- **Sistema de columna seca en cada galería de evacuación**

En cada salida de emergencia del túnel (galerías de evacuación), se propondrán sistemas de columna seca.

Estos sistemas de columna seca son para uso exclusivo del Servicio de Extinción de Incendios y estará formada por una conducción normalmente vacía, que partiendo de las salidas al exterior de las galerías, discurrirá por la caja de la galería de evacuación y estará provista de bocas de salida en la galería de evacuación y de toma de alimentación en la fachada de la salida de galería cunado haya fachada o enterradas próximas a los portones de salida cuando estas sean de este tipo, para conexión de los equipos del Servicio de Extinción de Incendios, que es el que proporciona a la conducción la presión y el caudal de agua necesarios para la extinción del incendio.

- **Sistema de supresión de incendios por agente limpio: En cuartos técnicos y en armarios eléctricos y electrónicos**

En las salas con riesgos eléctricos (cuartos técnicos) se instalarán sistemas de extinción de gases limpios. El gas de extinción de agente limpio propuesto es NOVEC, amigable con el medio ambiente y fácilmente disponible para rellenar en el mercado local.

Los cilindros de agente limpio se ubicarán de manera segura dentro del bloque de cuartos técnicos o en un contenedor separado sin interferir con el acceso normal al bloque de cuartos técnicos, los pasillos o la ruta de evacuación.

Adicionalmente, existirá un sistema fijo de Extinción automática por Aerosol en armarios eléctricos y electrónicos que se aplicará directamente en los armarios eléctrico/electrónicos. Es un sistema fijo de extinción por aerosol con inundación total del cubículo del armario.

13.2 Sistema de detección de incendios

El túnel de La Avanzada dispondrá de un sistema de detección de incendios, instalado en el interior del túnel, en las galerías de evacuación y en salas de los Edificios Técnicos.

El sistema de detección de incendios permitirá actuar de forma segura desde los equipos de control sobre elementos de seguridad asociados como la ventilación, la iluminación, la megafonía, la señalización, etc.

Los elementos que conforman el sistema de detección de incendios son:

- **Sistema de detección lineal en el interior del túnel**

El Sistema de Detección Lineal de Incendios tiene como función detectar y localizar de forma automática la presencia de un incendio en el interior del túnel de La Avanzada, mediante la variación de la temperatura gracias a un cable continuo de fibra óptica situado en la parte superior de la clave del túnel a lo largo de toda la longitud del tubo.

Los dos principales componentes del sistema son: un cable midiendo temperaturas con sensores integrados, cada uno con su dirección propia, y una unidad central de control de sensores con los algoritmos necesarios de evaluación.

- **Central analógica de incendios**

La central analógica de incendios será el equipo de control y señalización en el que se recogerán todas las incidencias de la instalación y, en base a programación, tomará las decisiones de activación de los dispositivos.

El túnel y los locales técnicos deben disponer de una serie de sensores y alarmas para la detección y ubicación de incendios. Al menos debe disponer de:

- Detector de incendios continuo (cable detección lineal) a lo largo del túnel que sea capaz de detectar y ubicar el incendio.
- Sistema de detección de incendios en las galerías de evacuación, bien sea por detección puntual o lineal (cable detección lineal).
- Detector de incendios en los locales técnicos.

- Alarmas de activación de medios de extinción de incendios (retirada de extintor o devanadera de la BIE.)

- **Subcentral analógica para sistemas fijos de extinción automática de incendios**

El sistema de detección de incendios estará formado por una detección centralizada que se podrá realizar mediante dos tecnologías:

- Detección puntual mediante detectores analógicos inteligentes.
- Detección mediante sensores ópticos de humos por aspiración.

- **Pulsadores de alarma**

Se dispondrán pulsadores manuales en puntos visibles de los Centros de Transformación, de las galerías de evacuación al exterior (coincidiendo con los postes SOS) y en postes SOS distribuidos a lo largo del túnel, de forma que la distancia máxima a recorrer desde cualquier punto hasta el pulsador más próximo sea inferior a 50 m.

A fin de impedir la activación involuntaria de dichos pulsadores, estos dispondrán de dispositivos de protección.

- **Sirenas**

En los Centros de Transformación se dispondrán sirenas direccionables con flash incorporado. Se controlarán de forma individual desde el lazo de comunicaciones, a través de la central de incendios. Dispondrán de diferentes tonos y niveles de volumen (alto, medio y bajo), que se seleccionarán a través de microinterruptores.

- **Lazo de detección analógico**

A lo largo del túnel, galerías de evacuación y Centros de Transformación se dispondrá un lazo de detección analógico al que se conectarán todos los elementos analógicos como lo son los detectores de incendio, los pulsadores de alarma, sirenas, en definitiva, la totalidad de los elementos analógicos de detección.

- **Sistema de alarma**

Los Sistemas de Alarma de incendio estarán formados por los sistemas de seguridad instalados en el interior de los túneles, con el objetivo que de forma automática (cable detección de incendios, DAI, etc.) o manual (llamada desde postes SOS, retirada de extintor o devanadera de BIE) se pueda monitorizar la correspondiente alarma en el Centro de Control.

13.3 Señalización de emergencia

El túnel de La Avanzada debe presentar señalización de emergencia. El sistema de señalización de emergencia abordará:

- Señales de recorrido de evacuación que indiquen la distancia a la salida más próxima en cada uno de los sentidos posibles.
- Señales de indicación de salida de emergencia que adviertan de la puerta a la galería de evacuación, para que el usuario no tenga dudas de cuál es la salida.
- Señalización dentro de las galerías de evacuación. Una vez que el usuario llega a la galería, debe disponer de la suficiente información para realizar la evacuación hasta el exterior.
- Deben estar señalizados todos los sistemas contraincendios (BIEs, extintores, hidrantes) mediante señales visibles a dos caras (perpendicular al sentido de la marcha).
- Iluminación de evacuación. Para facilitar la evacuación el túnel contará con una iluminación de evacuación para la evacuación.

14 SEGURIDAD, VIGILANCIA Y CONTROL

En el anejo 10 “Sistemas de Seguridad, Vigilancia y Control” se describen las instalaciones de seguridad del túnel de La Avanzada.

Las razones que justifican la existencia de estas medidas de seguridad en el interior y accesos al túnel son las siguientes:

- La prevención, es decir, aquellos que es posible hacer antes de que ocurra un incidente o se dé una situación de riesgo, para reducir la posibilidad de que ocurra.
- La detección rápida y fiable de incidentes cuando ocurran.
- Las actuaciones en respuesta a incidentes, realizadas para evitar la situación de riesgo en la que podría desembocar el incidente, o realizadas ya en una situación de riesgo o en una situación de emergencia para evitar o minimizar los daños a las personas o las cosas.

Los objetivos de las instalaciones en el túnel de La Avanzada son los siguientes:

- Prevenir situaciones de riesgo que puedan poner en peligro las vidas humanas, el medioambiente y la infraestructura de obra civil e instalaciones del túnel.
- Mitigar las posibles consecuencias de una situación de riesgo, proporcionando los requisitos ideales para:
 - Permitir que las personas involucradas en la situación de riesgo puedan ponerse a salvo ellas mismas.
 - Permitir que los usuarios de la carretera puedan intervenir inmediatamente, a fin de evitar males mayores.
 - Asegurar una acción eficaz por parte de los servicios de emergencia.
 - Proteger el medioambiente.
 - Limitar los daños materiales.

Las instalaciones que se proyectan en el túnel de La Avanzada son las siguientes:

- Sistema de Gestión de Tráfico
 - Señalización Dinámica
 - Sistema de Control de Gálbo
 - Sistema de Detección, Clasificación y Contaje de vehículos
 - Control ambiental. Sensor de Variables Atmosféricas de Carreteras (SEVAC)
 - Señales activas de radar
- Sistema Circuito Cerrado de Televisión (CCTV)
- Sistema Detección Automática de Incidentes (DAI)
- Sistemas de Comunicaciones
 - Sistema de postes SOS
 - Sistema de Megafonía
 - Sistema de Radiocomunicaciones
- Sistema de Control Centralizado
 - Nivel 0. Nivel de Campo
 - Nivel 1. Nivel de Control y Comunicaciones
 - Nivel 2. Nivel de supervisión y operación
 - Nivel 3. Nivel de organización y explotación del túnel

- Canalizaciones

15 SERVICIOS AFECTADOS

En el anejo 14 “Servicios Afectados” y en apartado correspondiente de planos se identifican los servicios afectados por la actuación.

16 PLAN DE OBRA

El plazo de ejecución de las obras se ha estimado en un total de 39 meses.

De acuerdo con lo previsto en el artículo 233.1.e) de la Ley de Contratos del Sector Público, este programa de trabajos tiene un carácter meramente indicativo.

17 VALORACIONES ECONÓMICAS

A continuación, se presentan los datos fundamentales del presupuesto del Proyecto de Adecuación del Túnel de la Avanzada en la BI-637.

	RESUMEN GENERAL DEL PRESUPUESTO		
01	Demoliciones		600.135,00
02	Afirmado		1.027.560,00
03	Estructuras		14.487.890,00
04	Drenaje		210.360,00
05	Señalización, Balizamiento y Defensas		424.165,75
06	Energía y Alumbrado		2.896.180,00
07	Ventilación		887.670,00
08	Protección Contra Incendios		560.555,00
09	Sistemas de Seguridad Vigilancia y Control		2.105.680,00
10	Apantallamiento		2.359.622,85
11	Ordenación Urbanística		6.621.463,04
12	Control de Calidad (1%)		321.812,82
13	Desvios de tráfico (5%)		1.625.154,72
14	Reposición de Servicios Afectados (2%)		682.564,98
15	Gestión de residuos (1,50%)		522.162,21
16	Seguridad y salud (2,50%)		883.324,41
17	Imprevistos (20%)		7.243.260,16
	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL		43.459.560,94
	Gastos generales	13,00%	5.649.742,92
	Beneficio industrial	6,00%	2.607.573,66
	Total (Sin IVA)		51.716.877,52
	IVA	21,00%	10.860.544,28
	PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN		62.577.421,80

En el Anejo nº 15 “Valoraciones económicas” se incluye el desglose de las valoraciones realizadas.

18 PRINCIPALES ASPECTOS A CONFIRMAR EN FASE DE PROYECTO CONSTRUCTIVO

Como ya ha quedado señalado anteriormente, el presente trabajo tiene un nivel de detalle correspondiente a un Proyecto Básico, por lo que previamente a su ejecución, las soluciones que se plantean en el mismo deberán ser confirmadas y desarrolladas en el correspondiente Proyecto de Construcción.

Por otra parte, durante la elaboración del presente trabajo no ha sido posible disponer de determinados datos necesarios para validar definitivamente algunos aspectos de la solución que se propone.

En concreto, las principales cuestiones a confirmar o analizar de manera detallada durante la fase de proyecto son las que se relacionan a continuación:

- Toma de datos de detalle en el tramo afectado: Geometría, ubicación de arquetas y canalizaciones, inventario de servicios afectados, Arroyo Elexalde etc.
- Realización de una campaña de investigación geotécnica
- Confirmación de la no existencia de garajes u otros elementos enterrados de entidad en las zonas propuestas para las galerías de evacuación
- Confirmación de las condiciones de suministro de agua para la red de incendios
- Cálculo y diseño detallado de la estructura de cubrimiento
- Diseño de detalle de soluciones para la integración urbana y ambiental
- Diseño de detalle de la urbanización de la zona afectada por las obras, incluyendo la ordenación de la circulación en superficie
- Confirmación de la ubicación y características de redes de servicios, y diseño de reposiciones
- Estudio acústico y diseño de medidas correctoras complementarias
- Estudio de capacidad de los desvíos de tráfico propuestos

19 DOCUMENTOS QUE INTEGRAN EL PROYECTO

El presente Proyecto está integrado por los documentos que se relacionan a continuación:

DOCUMENTO Nº 1. MEMORIA Y ANEJOS

MEMORIA

ANEJOS A LA MEMORIA

- ANEJO Nº 1. Antecedentes
- ANEJO Nº 2. Geología y geotecnia
- ANEJO Nº 3. Climatología y drenaje
- ANEJO Nº 4. Estructuras
- ANEJO Nº 5. Infraestructura Básica y de Seguridad
- ANEJO Nº 6. Integración Urbanística
- ANEJO Nº 7. Energía y Alumbrado
- ANEJO Nº 8. Ventilación
- ANEJO Nº 9. Protección Contra Incendios
- ANEJO Nº 10. Sistemas de Seguridad, Vigilancia y Control
- ANEJO Nº 11. Estudio Acústico
- ANEJO Nº 12. Análisis de Riesgos
- ANEJO Nº 13. Coordinación con Otros Organismos
- ANEJO Nº 14. Servicios Afectados
- ANEJO Nº 15. Valoración Económica

DOCUMENTO Nº 2. PLANOS

- 0. Plano Índice
- 1. Plano Situación
- 2. Planta General
- 3. Situación Actual
- 4. Situación Propuesta
- 5. Secciones Tipo
- 6. Estructura de Cubrimiento
- 7. Galería de Evacuación
- 8. Drenaje
- 9. Integración Urbanística
- 10. Energía y Alumbrado
- 11. Ventilación
- 12. Protección Contra Incendios
- 13. Sistemas de Seguridad, Vigilancia y Control
- 14. Servicios Afectados

DOCUMENTO N° 3. PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TECNICAS PARTICULARES

DOCUMENTO N° 4. PRESUPUESTO

20 CONCLUSIONES

Considerando que el proyecto cumple con todos los requisitos necesarios para su tramitación, se somete a su aprobación, si procede.

Bilbao, octubre de 2021

El Ingeniero Autor del Proyecto



Fdo: Jorge Alcalde Bezhold
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Colegiado nº 11.017

El Ingeniero Director del Proyecto



Fdo: Iván Lopez Roper
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos