

ANEJO Nº 5. ACTUACIONES PROYECTADAS

ÍNDICE

5- ANEJO Nº 5: ACTUACIONES PROYECTADAS.....	3
5.1. ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE DE LOS TÚNELES.....	3
5.2. RNEOVACIÓN DEL FIRME EN EL INTERIOR DEL TÚNEL	5
5.3. MEJORA Y ACONDICIONAMIENTO DE INSTALACIONES	5
5.3.1. SISTEMAS INFORMÁTICO DE EXTRACCIÓN DE HUMOS, AUTOMÁTICO Y MANUAL	5
5.3.2. ILUMINACIÓN DE SEGURIDAD.....	5
5.3.3. ILUMINACIÓN DE EMERGENCIA	5
5.3.4. VENTILACIÓN	6
5.3.5. GENERADORES DE EMERGENCIA.....	6
5.3.6. CABLES PARA LA DETECCIÓN DE INCENDIOS	6
5.3.7. RED DE HIDRANTES	6
5.3.8. CABLE Y FIBRA ÓPTICA RESISTENTE AL FUEGO EN TÚNELES	6
5.3.9. MEGAFONÍA	6
5.3.10. ADECUACIÓN DEL CENTRO DE CONTROL DEL TÚNEL	6
5.4. SALIDAS DE EMERGENCIA.....	7
5.4.1. DESCRIPCIÓN	7
5.4.2. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	7

5. ACTUACIONES PROYECTADAS

El objeto principal de este proyecto es adecuar las instalaciones del túnel de Aguadulce al Real Decreto 635/2006. En la siguiente tabla se resumen las actuaciones que recoge este Real Decreto y las que procede que se incluyan en el proyecto según el equipamiento del que dispone en la actualidad.

Salvo los casos definidos de forma explícita a continuación, cabe reseñar que mayoritariamente la implementación de las instalaciones citadas se realizan en el interior de los túneles o en las nuevas galerías, no representando, por tanto, afecciones ambientales en el entorno de la infraestructura.

Desde el punto de vista ambiental la actuación que supone un mayor impacto es la implantación de salidas de emergencia en ambos túneles para garantizar la evacuación, ya que por la orografía de la zona y la diferencia de cota existente entre ambos túneles no resulta plenamente funcional la disposición de galerías de conexión entre túneles, siendo necesario recurrir a un camino de acceso (emergencia) con la correspondiente galería de evacuación para cumplir con los requerimientos de seguridad definidos en el RD 635/2006.

Otras actuaciones relevantes son la sustitución de los equipos de ventilación actuales en el Túnel Norte para hacer frente a un incendio tipo de 30 MW, la implantación de una red de hidrantes y de vertidos de líquidos peligrosos, así como la mejora de los sistemas de detección de incendio en túnel, entre otras.

A continuación, se describen con mayor detalle las actuaciones principales que forman parte del Proyecto de adecuación, resultando especialmente interesante el análisis concerniente a la solución propuesta para garantizar la evacuación de los túneles en caso de emergencia, para lo cual se ha realizado un análisis de las distintas alternativas que se consideran factibles, con objeto de justificar la solución óptima.

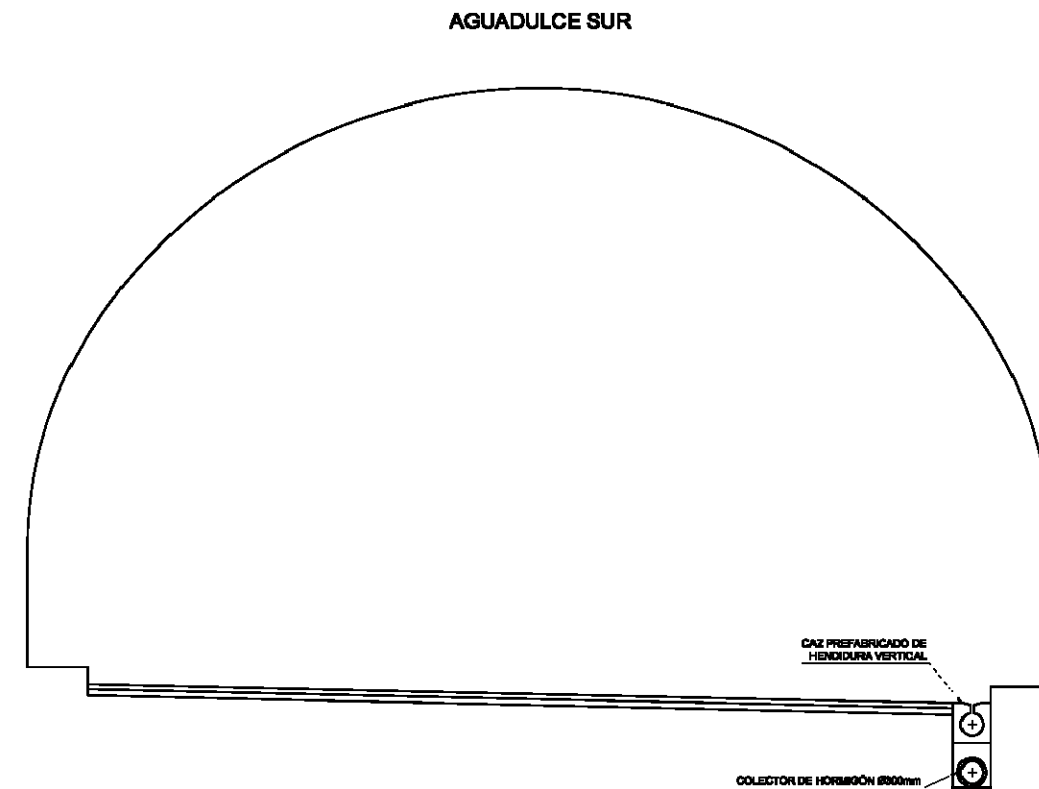
En primer lugar se describen brevemente algunas de las actuaciones más singulares que deben abordarse en los túneles, con independencia del sistema de evacuación que se implemente en los mismos.

5.1. Adecuación del sistema de drenaje de los túneles

Según lo indicado en el Real Decreto 635/2006 sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del estado, se deberá dotar al túnel de Aguadulce con un sistema de recogida de vertidos sobre la calzada.

Para evacuar los líquidos derramados sobre la calzada del túnel está prevista la instalación de una conducción en los puntos bajos de la calzada (según el peralte), mediante un caz con hendidura longitudinal para la captación de caudales, y una tubería colectora para el transporte de los mismos al exterior. El sistema se completa con arquetas sifónicas que interrumpan la propagación de los incendios que eventualmente puedan producirse, y un depósito estanco de recogida de dichos caudales ubicado en el exterior de cada túnel (puntos bajos).

El caz ranurado y el colector serán ubicados junto a la acera derecha de ambos túneles, por ser el punto bajo de sendas calzadas, de acuerdo con el esquema mostrado en la siguiente figura. La existencia de arcenes amplios facilita el encaje geométrico de estos elementos, así como las posteriores tareas de inspección y mantenimiento de la red de drenaje. El caz ranurado deberá ser resistente a cargas de tráfico.



Esquema de la red de drenaje de vertidos que es necesario implementar en los túneles.

EQUIPAMIENTO	TUNEL DE AGUADULCE			Observaciones
	Necesario	Disponible	Actuación	
Aceras	Sí	Sí	-	0,80m (verificado durante la inspección)
Salidas de emergencia	Sí	No	Implantar	Cada 400 m
Adecuación del pavimento bituminoso	Sí	No	Implantar	Fresado y reposición de la capa de rodadura para lograr CRT≥60 en fase puesta en servicio
Cruce de mediana en exteriores	Sí	Sí	-	-
Apartaderos Interiores	No	No	-	-
Drenaje de líquidos tóxicos	Sí	No	Implantar	Existe espacio para colector, arquetas sifónicas y depósitos en bocas (verificado durante la inspección)
Centro de control	Sí	Sí	-	No se contemplan mejoras en OE
Circuito cerrado de televisión	Sí	Sí	Mejora	En las nuevas galerías de emergencia
Sistema informático de extracción de humos	Sí	A completar	Mejora	Adecuación de software a nuevas condiciones
Iluminación normal	Sí	Sí	Implantar	En las nuevas galerías de emergencia
Iluminación de seguridad	Sí	No	Implantar	En los túneles
Iluminación de emergencia	Sí	No	Implantar	En los túneles y en las nuevas galerías
Ventilación	Sí	Sí	Mejora	Diseño e implementación de ventilación en Túnel Norte (para 30 MW)
Generadores de emergencia	Sí	Sí	Mejora	Requerirá ampliación de locales técnicos
Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI)	Sí	Sí	-	-
Detectores de CO	Sí	Sí	-	-
Opacímetros	Sí	Sí	-	-
Cable para detección de incendios	Sí	No	Implantar	En ambos túneles
Detección automática de incidencias	Sí	Sí	-	-
Puestos de emergencia	Sí	Sí	Mejora	En las nuevas galerías de evacuación y sustitución de armarios en ambos tubos
Señalización de salidas y equipamiento	Sí	Sí	Mejora	En ambos túneles y en las nuevas galerías
Señalización	Sí	No	Mejora	Según Norma 8.1 y 8.2 I.C.
Barreras exteriores	Sí	Sí	-	-
Semáforos exteriores	Sí	Sí	-	-
Semáforos interiores	No	Sí	-	-
Megafonía	Sí	Sí	Implantar	En las nuevas galerías de emergencia
Red de hidrantes	Sí	No	Implantar	Existe espacio para aljibe (verificado durante la inspección)
Aforadores	Sí	Sí	-	-
Sistema de radiocomunicación	No	No	-	-
Mensajería de emergencia (canales de radio)	No	No	Implantar	Se considera necesaria su implementación según Directiva 2004/54/CE
Cable y fibra óptica resistente a fuego en túneles	Sí	Sí	Implantar	Incluye zona de paso de cables entre Cuartos técnicos y Túnel Norte por la nueva galería y resto de instalaciones críticas.

Cuadro resumen con la descripción y alcance de las necesidades de adecuación en el Túnel de Aguadulce.

Debido a la pendiente longitudinal del túnel, el desagüe se realiza por gravedad hacia las dos bocas en el caso del Túnel Norte, ya que existe un punto alto aproximadamente en el PK 433+060. En el Túnel Sur el vertido se conduce hacia la boca oeste. Ambas situaciones pueden apreciarse en los Planos descriptivos de la actuación adjuntos al documento, así como la posición de las balsas de vertido (de unos 80 m³), cuya ubicación se ha testado durante la inspección realizada al entorno de los túneles.

Las balsas serán depósitos estancos de hormigón armado y se construirán enterradas con materiales resistentes a la corrosión (HA-30, ambiente IV y clase de exposición Q_c), quedando revestidas con un material antiácido. Se han ubicado en los emboquilles del Túnel de Aguadulce, utilizando superficies del dominio público de la Autovía en ambas calzadas para evitar afecciones. La excavación de estos depósitos movilizará un volumen de unos 120 m³ por cada elemento.

5.2. Renovación del firme en el interior del túnel

Con el objeto de mejorar las características de la rodadura y proporcionar un acabado final uniforme, se realizará un fresado y reposición de la capa de rodadura del firme en el interior de ambos túneles. Las marcas viales serán igualmente repuestas.

De acuerdo a lo estipulado en el RD 635/2006, los túneles objeto de este proyecto deben contar con un coeficiente de rozamiento transversal (CRT) de valor superior a 60, exigencia que debe satisfacerse con el tratamiento descrito.

5.3 Mejora y acondicionamiento de Instalaciones

Las mejoras previstas en instalaciones y equipamientos de los túneles se realizan mayoritariamente en su interior, y aprovechando de forma general la infraestructura existente para canalizaciones, conexiones y locales técnicos dispuestas en el exterior de los mismos, existiendo igualmente espacio para proceder a la ampliación de dichas instalaciones si resultase necesario.

Actualmente, el túnel de Aguadulce cuenta con la mayoría de las instalaciones requeridas por el RD635/2006. Teniendo en cuenta el estado actual de las instalaciones y el proyecto de gestión directa, se proyectan actuaciones sobre las siguientes instalaciones:

- Sistema informático de extracción de humos, automático y manual (mejora)
- Iluminación de seguridad (implantación)
- Iluminación de emergencia (implantación)
- Ventilación (mejora)
- Generadores de emergencia (mejora)
- Cable para detección de incendios (implantación)
- Red de hidrantes (implantación)
- Cable y fibra óptica resistente al fuego en túneles
- Megafonía (mejora)

Complementariamente, se implementará el equipamiento necesario para disponer en el Túnel de un sistema de mensajería de emergencia por canales de radio para usuarios.

5.3.1. Sistema informático de extracción de humos, automático y manual

Se dispondrá un sistema de detección de calidad del aire basado en los parámetros habituales: CO, NO₂, medición de opacidad, velocidad y dirección del aire a intervalos regulares.

Detectores de CO y NO₂: Para la detección de CO y NO₂ se instalarán sensores electroquímicos. Se trata de un sistema basado en la medición de la concentración de los citados gases, mediante la aspiración del aire del túnel y posterior transporte hasta una cámara analizadora que ofrece como resultado la concentración de CO y NO₂ del gas aspirado. Los detectores de gases estarán dispuestos en el hastial derecho en el sentido de la marcha. La altura de instalación de dichos equipos será superior a 1,5 m sobre el nivel del suelo, y a unos 250 m de interdistancia entre ellos.

Opacímetros. Detección de la calidad del aire: Para medir la calidad del aire de los distintos tramos en el interior del túnel, se ubicará en el punto intermedio del túnel un opacímetro, situado en el hastial derecho en función de la marcha de los vehículos, y a una altura comprendida entre 3,5m y 4,5m sobre la acera.

Anemómetros: Para medir la velocidad y dirección del aire de los distintos tramos en el interior del túnel, se ubicará en el punto intermedio del túnel un conjunto de anemómetro, en ambos hastiales, situados a una altura comprendida entre 3,5m y 4,5m sobre las aceras.

5.3.2. Iluminación de seguridad

La instalación de alumbrado de seguridad se proyecta para dar cumplimiento a las exigencias del RD 635/2006. Las luminarias del alumbrado de seguridad del túnel se plantearán de tipo LED, al igual que las de alumbrado normal. De este modo, el sistema de control adaptativo gestionado por el SCADA tendrá una mayor flexibilidad frente a posibles incidencias o averías. Asimismo, se simplifican las operaciones de mantenimiento, así como la gestión de repuestos.

Se contempla la conexión de las luminarias del alumbrado de seguridad por medio de cableado resistente al fuego (de alta seguridad aumentada AS+) con clase de reacción al fuego mínima Cca-s1b,d1,a1, para asegurar su funcionamiento en caso de incendio.

Además, se contará con Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) para su funcionamiento en caso de fallo del suministro eléctrico.

5.3.3. Iluminación de emergencia

La instalación de alumbrado de emergencia se proyecta para dar cumplimiento a las exigencias del RD 635/2006, en cuyo apartado 2.10.3 del Anexo I prescribe: "La iluminación de emergencia, estará 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 con un mínimo de 10 lux y 0,2 cd/m²."

De este modo, se proyectan luminarias de emergencia LED de 2400 Lm en ambos hastiales de los tubos del túnel y en las galerías, situadas con una interdistancia de 12,50 metros y una altura de unos 0,75 metros para evitar riesgos de deslumbramiento. El cableado será resistente al fuego (AS+), con una clase de reacción al fuego mínima Cca-s1b,d1,a1.

Las luminarias vendrán equipadas con un microrruptor o –preferentemente– con un driver, lo cual permite su conexión a un PLC ubicado en el CGBT. En el caso del driver, mediante controladores de luminarias (tipo DALI, 1-10V, etc.). El PLC, a su vez, se conectará al SCADA del centro de control del túnel. De este modo, las luminarias serán telemandadas desde el centro de control, recomendándose la automatización de su encendido en caso de incidente, y complementariamente, que permitan dar servicio en caso de fallo del suministro eléctrico durante una hora, mediante batería autónoma incorporada a la propia luminaria.

5.3.4. Ventilación

En el túnel norte, se implementará un sistema de ventilación mediante Jet – Fan, el cual deberá poder extraer el humo para un incendio tipo con potencia mínima de 30 MW y caudal mínimo de humos de 120 m³/s.

Para el diseño del sistema de ventilación se considerará el peor escenario posible de incendio, es decir, un incendio localizado en el punto del túnel en el que dadas las características de éste se requiere mayor empuje por parte de los ventiladores. Por otra parte, a la hora de determinar el número de ventiladores a proyectar, se establecerá que la pareja de ventiladores más cercana al incendio no se encontrará operativa.

5.3.5. Generadores de emergencia

Las cargas alimentadas desde los grupos electrógenos serán aquellas que admitan un tiempo de interrupción igual o superior a 15 segundos y que sean requeridas durante la emergencia de la instalación. Se instalarán grupos electrógenos trifásicos para potencia ISO “Limited Time Running Power” (LTP), es decir, potencia para servicio de emergencia (ISO 8528-1).

Las nuevas cargas proyectadas harán necesaria la instalación de equipos de mayor potencia. Esto requerirá la ampliación de locales técnicos con toda probabilidad.

5.3.6. Cables para la detección de incendios

El proyecto contemplará la instalación de un sistema de detección lineal de incendios en el interior del túnel, capaz de detectar la presencia de un incendio, y el punto donde se está produciendo.

Se prevé la instalación de un cable sensor, sellado herméticamente, que contiene pequeños circuitos híbridos, medirá temperaturas desde -40°C hasta +85°C (incluso hasta +200°C durante un periodo corto), con una resolución de 0,1°. Su cubierta será sin halógenos, no resultando en ningún caso elemento colaborante a la acción del fuego.

Además, dispondrá de una unidad de control para realizar un chequeo funcional del sistema.

5.3.7. Red de hidrantes

Se plantea una red de hidrantes de columna húmeda a lo largo del túnel de tipo enterrado o bajo rasante fabricado en hierro fundido, con 2 salidas de 70 mm con racores BCN según UNE 23400. Se proyectarán hidrantes cerca de las bocas del túnel y en su interior, alojados en los nichos existentes en la actualidad para los postes SOS. La distancia entre ellos no será en ningún caso superior a 250 metros, según lo indicado en el R.D. 635/2006.

Además, se plantea un aljibe en la boca este del túnel para alimentar a la red de hidrantes prevista.

5.3.8. Cable y fibra óptica resistente al fuego en túneles

Se proyectará la implementación de cable resistente al fuego (AS+) en las instalaciones que lo precisen para garantizar el correcto funcionamiento en caso de incendio en el interior del túnel. La fibra óptica también será resistente al fuego. El acceso al tubo Norte se efectuará a través de la nueva galería de emergencia, para lo cual se repondrá el correspondiente paso del cableado desde el área de cuartos técnicos.

5.3.9. Megafonía

Se implantará un sistema de megafonía en las nuevas galerías/salidas de emergencia.

5.3.10. Adecuación del Centro de Control del Túnel

La sala de control del túnel se actualizará a un sistema digital, al igual que las cámaras CCTV, dejando el sistema de CCTV analógico sin funcionamiento, ya que no será necesario. Se incorporará un nuevo software SCADA con los correspondientes algoritmos de ventilación. Además se incorporará el resto de instalaciones de seguridad del túnel ya mencionadas en apartados precedentes para un control más preciso y eficiente integrado en un mismo sistema. Esta adecuación llevará aparejada la formación del personal para garantizar el correcto funcionamiento de las nuevas implementaciones de control.



Aspecto actual de la sala de control del Túnel de Aguadulce

5.4. Salidas de emergencia

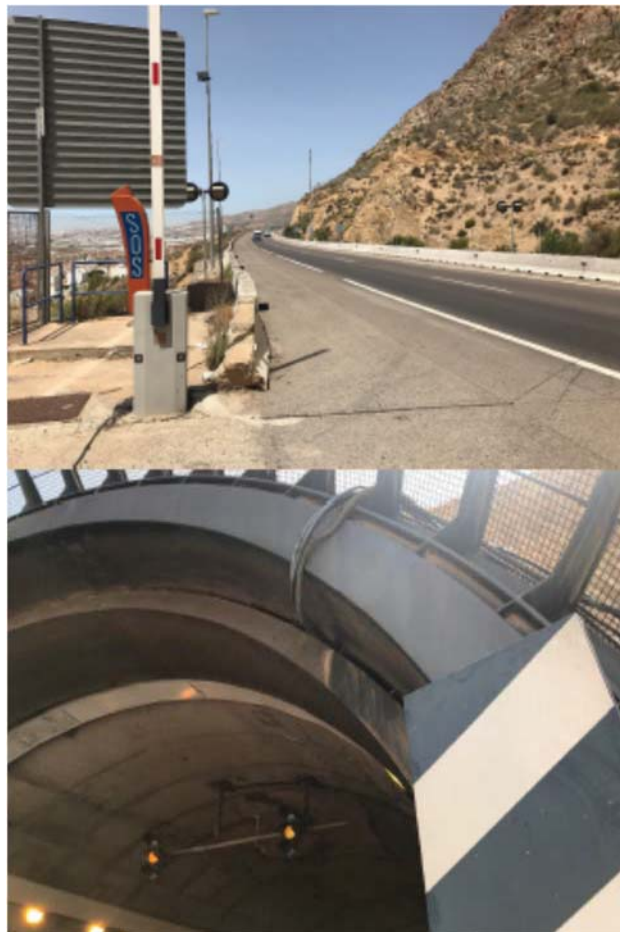
Según lo mencionado en el RD 635/2006 en el punto 2.5.5 del Anexo I:

“En túneles unidireccionales, cuando se hayan habilitado salidas de emergencia, la distancia entre dos salidas consecutivas no superará en ningún caso los 400 metros en los túneles interurbanos sin retenciones y cada 200 metros en los túneles urbanos e interurbanos en los que se produzcan retenciones al menos 5 días al año y no dispongan de control de accesos.”

Teniendo en cuenta que en los túneles de Aguadulce se dispone de medidas de control de accesos, como se puede observar en la imagen siguiente, son túneles unidireccionales e interurbanos y en la actualidad no están dotados de salidas de emergencia, la implantación de las salidas de emergencia en ambos tubos no deben superar los 400 m de separación entre ellas o con las bocas.

5.4.1. Descripción

Las salidas de emergencia deben permitir a los usuarios su uso para abandonar el túnel sin sus vehículos y llegar a un lugar seguro en caso de accidente o incendio; además deben proporcionar acceso a pie a los servicios de emergencia del túnel.



Control de accesos en la boca Oeste del Túnel Sur.

Estas salidas de emergencia pueden ser:

- Salidas directas del túnel al exterior
- Conexiones transversales entre tubos de túnel
- Salidas a una galería de emergencia

Debido a las particularidades geométricas y geológicas del túnel de Aguadulce, se han analizado varias alternativas, con objeto de definir cuál es la solución más apropiada desde el punto de vista de la evacuación de los túneles en caso de emergencia, teniendo en cuenta criterios técnicos, de seguridad, ambientales y económicos.

Cabe reseñar en dicho contexto, la importancia que representa en esta actuación el mantenimiento de las condiciones de servicio, y por supuesto de seguridad, de la Autovía A-7, habida cuenta de que la implementación de las mejoras se realiza en las inmediaciones de dicha infraestructura, sometida en la actualidad a una elevada intensidad de tráfico.

Las alternativas analizadas y la comparativa de las mismas se incluye en el siguiente apartado.

5.4.2. Estudio de alternativas

Las alternativas mostradas a continuación provienen de un análisis previo de posibles soluciones, las cuales no se han definido de forma explícita por presentar, a juicio del Consultor, condicionantes claramente desfavorables desde el punto de vista de la seguridad o el coste de inversión.

Las opciones analizadas en primer término consistieron en lograr conexiones transversales directas entre tubos, pero debido a la diferencia de cota entre túneles, estas soluciones obligarían a grandes longitudes de galerías para lograr pendientes funcionalmente compatibles (menores del 6%). Teniendo en cuenta que en estos casos la construcción de las galerías debería realizarse obligatoriamente desde los túneles en servicio, con las consiguientes implicaciones en el servicio de la Autovía y las condiciones de seguridad, se han desestimado soluciones conceptuales de esta naturaleza, recurriendo a soluciones basadas en la disposición de una galería auxiliar paralela a ambos túneles que permita la ejecución desde el exterior, y por tanto, sin penalizar las condiciones de servicio de la Autovía.

Otro aspecto a destacar, es que la primera galería por el lado oeste del Túnel Norte (máximo a 400 m de la boca) requiere disponer la salida al exterior, y en concreto, en las inmediaciones de la calzada Sur, ya que dicho tramo coincide con la zona en la que los túneles no están pareados. Ambas circunstancias son las que fundamentan el planteamiento conceptual de las alternativas que se describen en los siguientes apartados.

5.4.2.1. Alternativa 1. Camino de emergencia con acceso vehicular

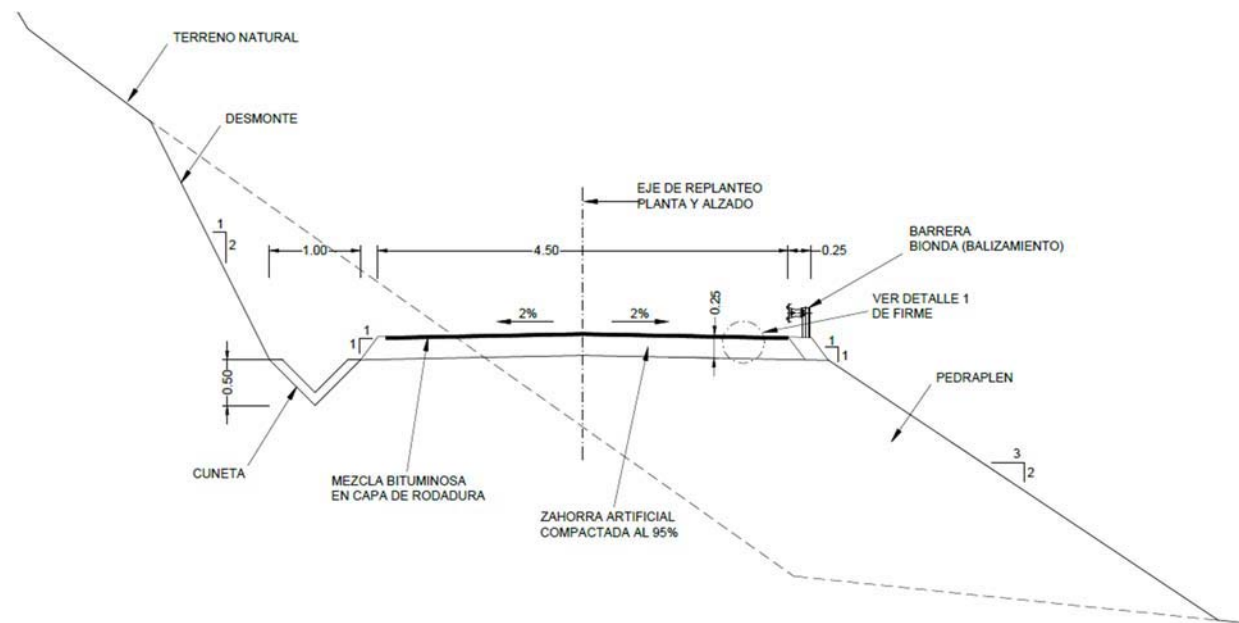
En esta primera alternativa se plantea la solución de evacuación mediante una galería auxiliar situada entre ambos tubos y con acceso a cielo abierto mediante un camino de servicio habilitado para ser accesible a vehículos de emergencia.

Descripción

Esta alternativa estaría compuesta por un camino exterior de 511 m que nace en el emboquille oeste del Túnel Norte, con continuidad mediante una galería subterránea entre túneles de 279 m de longitud y conectada al Túnel Sur, para permitir su evacuación, más dos conexiones al Túnel Norte, de aproximadamente 23 m y 42 m, respectivamente, destinadas a limitar a un máximo de 400 m la distancia entre salidas consecutivas. Las galerías presentan pendientes inferiores en todos los casos al 6%.

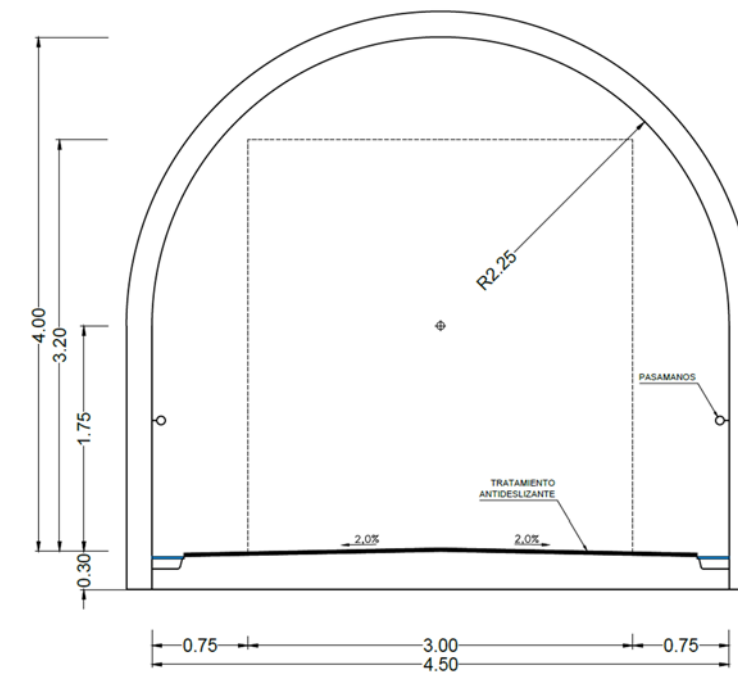
Con objeto de minimizar los desmontes y las afecciones a la autovía durante las obras el encaje de trazado del camino se ha realizado minimizando las exigencias funcionales, habida cuenta de que se trata de un acceso de emergencia. En lo que respecta a la sección transversal, se ha definido de forma general un ancho de paso de 4,50 m, con la sección tipo adjunta, dimensiones que permitirían el acceso en vehículo a los equipos de emergencia.

En lo que respecta a la accesibilidad, cabe indicar que esta alternativa supone canalizar la evacuación hacia el emboquille oeste del Túnel Norte, zona que presenta menores alternativas de acceso que la homóloga del Túnel Sur, ya que en este último caso se dispone del camino que conecta por el Sur la zona urbanizada con el área de locales técnicos situados en el emboquille de entrada, tal y como puede apreciarse en los planos incluidos en el Proyecto.



Sección tipo del camino de emergencia que es necesario adecuar para permitir la evacuación de los Túneles de Aguadulce (Alternativa 1).

La sección tipo de las galerías subterráneas es común a todas ellas y está formada por una bóveda de 2,25 m de radio útil y hastiales rectos de 1,75 m. Esta sección permite la disposición de un carril centrado de 3,0 m de ancho y 3,20 m de gálibo vertical, con sendos arcones de 0,75 m de anchura, tal y como se aprecia en la figura mostrada a continuación. Dichas dimensiones permiten igualmente implementar procedimientos constructivos convencionales, ya que dimensiones más reducidas supondrían una penalización de los equipos utilizables en fase de construcción, y por tanto, de los rendimientos obtenidos durante las obras.



Sección tipo de la Galería subterránea que permite la evacuación de los Túneles de Aguadulce.

Procedimiento constructivo

Para la **ejecución del tramo a cielo abierto del camino de emergencia** la actuación prioritaria sería la ejecución de un desmonte a media ladera, cuya excavación está prevista de forma generalizada por medios mecánicos para evitar afecciones al servicio de la autovía A-7, no obstante podría ser necesario el uso de explosivos de forma puntual y controlada, circunstancia que consta en los antecedentes consultados relacionados con los procedimientos e incidencias registradas durante la construcción de los túneles actuales, y las correspondientes plataformas para albergar las calzadas de la autovía (ver figura adjunta).

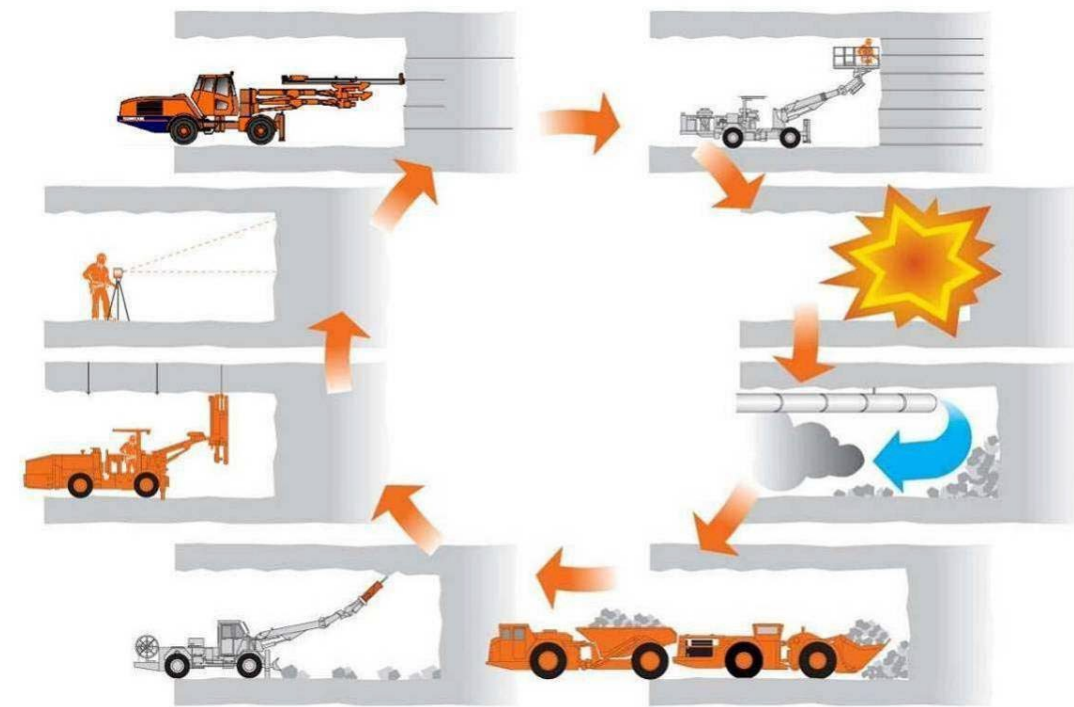


Registro de las cañas de perforación para alojar los barrenos utilizadas en la excavación de un tramo del talud de la actual Autovía A-7, en las inmediaciones del Túnel Sur.

El volumen a excavar en el tramo a cielo abierto es de unos 23.340 m³. Dada la proximidad del camino a la calzada sur de la A-7 dicha actividad deberá abordarse de forma generalizada en periodo nocturno, ya que resultará imprescindible cortar al menos uno de los carriles (el más próximo al talud) y en determinados tramos la calzada completa.

Los taludes de excavación previstos alcanzarían el 1H:2V, considerando un refuerzo con bulones y hormigón proyectado para garantizar la estabilidad de la excavación a largo plazo. Con los condicionantes descritos, y a falta de los resultados de prospección geotécnica que se van a plantear para este Proyecto, difícilmente la ejecución del tramo a cielo abierto del camino podrá realizarse en un plazo inferior a 2 meses, valor referencial que puede verse condicionado por restricciones relacionadas con las afecciones al servicio de la autovía y las exigencias de seguridad requeridas en este tipo de situaciones.

La **ejecución de las galerías (subterráneas)** se plantea mediante el denominado “Nuevo Método Austriaco” (NATM), cuya aplicación práctica consiste en la excavación secuencial y la disposición inmediata de un sostenimiento flexible, actuando como elemento provisional de soporte destinado a estabilizar la excavación. Dicho proceso está basado en el empleo de hormigón proyectado, bulones, malla electrosoldada de acero y cerchas. Este proceso cíclico se ilustra en la siguiente figura.



Esquema de los ciclos de trabajo habituales en la construcción de un túnel por Métodos Convencionales.

La correcta aplicación del método exige una información directa y fiable del frente mediante el examen geológico de la excavación y el control permanente de la auscultación, que proporciona datos precisos sobre el comportamiento de los sostenimientos aplicados.

La excavación se realizará a sección completa, dada la reducida sección que presentan las galerías.

A la vista de las condiciones geotécnicas de los materiales y de la longitud de los elementos subterráneos a ejecutar, así como del análisis de los posibles métodos de excavación, se puede concluir lo siguiente:

- De forma general se excavarán las galerías con medios mecánicos utilizando una retroexcavadora. Cuando la retroexcavadora no sea suficiente se realizará la excavación a base de martillo hidráulico montado sobre el propio brazo de la retroexcavadora.
- De forma puntual, cuando las características geotécnicas del terreno no permitan la utilización de la retroexcavadora o el martillo hidráulico para la excavación por medios mecánicos, se plantea el uso de un útil de rozado acoplado al brazo de la retroexcavadora, o en su defecto la excavación mediante perforación y voladuras controladas.

Desde el punto de vista de la seguridad y las posibles afecciones al tráfico de la A-7 (calzada Sur) se considera adecuado efectuar la excavación de las galerías desde el camino a cielo abierto, limitando

cualquier actividad en los propios túneles estrictamente a la operación de ejecución del tramo de entronque con la galería.

De esta forma, la ejecución de las galerías podría efectuarse utilizando como punto de ataque el camino de emergencia, y con 3 turnos diarios (trabajo 24 h al día) para minimizar los plazos, acopiando el material excavado en las inmediaciones del camino y zonas de dominio público de la Autovía que no supongan una afección del servicio de la infraestructura. Por tanto, el movimiento de tierras, en su mayoría transporte a vertedero, podrá realizarse en periodo nocturno cortando uno de los carriles del túnel.

El rendimiento de excavación de las galerías se estima en unos 4-8 m/día, dependiendo del estado del terreno. Teniendo en cuenta que la sección de excavación de las galerías es de unos 21 m², el máximo volumen a acopiar y transportar en un día oscilaría entre 130-270 m³, considerando un factor de esponjamiento de 1,6. Los volúmenes citados resultan compatibles con las superficies de acopio estimadas y los rendimientos esperados para una actividad de este tipo efectuada en periodo nocturno.

En el siguiente Cuadro se resumen los materiales excedentes que se estima deberán destinarse a vertedero.

TRAMO	VOLUMEN TEÓRICO EXCAVADO	MATERIAL APROVECHABLE	MATERIAL NO APROVECHABLE
Galerías	11.600 m ³	400 m ³	11.200 m ³
Desmante (camino)	23.500 m ³	-	23.500 m ³
TOTAL	35.100 m³	400 m³	34.700 m³

Estimación de Volúmenes totales excavados (Galerías). Alternativa 1.

Para ilustrar las actuaciones vinculadas a la Alternativa 1 se incluye la siguiente figura, en la que se destacan los elementos principales de la infraestructura existente objeto de adecuación y mejora, así como los nuevos elementos a implantar.

Elementos de sostenimiento

Los elementos de sostenimiento que se ha previsto sean utilizados en la construcción de las galerías, son los típicos que habitualmente se emplean con el método de construcción adoptado: hormigón proyectado, bulones y cerchas metálicas.

Hormigón proyectado

En el diseño del método constructivo de las galerías de este tramo se ha adoptado como método de puesta en obra del hormigón proyectado el de vía húmeda.

Refuerzo del hormigón proyectado

Tradicionalmente, el hormigón proyectado se asocia al uso, como elemento de refuerzo, de mallazo electrosoldado con luces de 150 mm y diámetro de los redondos entre 4 y 8 mm.

En los últimos años se ha iniciado la sustitución del mallazo electrosoldado por fibras de acero que se incorporan a la dosificación del hormigón a proyectar.

En el diseño del método constructivo de los túneles de este tramo se ha adoptado la decisión de reforzar el hormigón de sostenimiento mediante fibras de acero incorporadas a la dosificación del hormigón proyectado.

Bulones

En la actualidad, salvo aplicaciones puntuales no generalizables, en la construcción de túneles se utilizan tres tipos de bulones: redondos corrugados anclados con resina o cemento, bulones friccionantes de expansión colocados mediante hinchado por agua a presión y bulones de resina de poliéster armada con fibras de vidrio.

Se considera que lo más adecuado para la construcción de las galerías de este tramo es el empleo de bulones de expansión de tipo friccionante tipo SWELLEX o similar.

Cerchas

Tradicionalmente se han venido empleando como elemento de sostenimiento en terrenos de baja calidad cerchas de distintos perfiles y calidades de acero, embebidas en hormigón, ya sea bombeado o proyectado.

Los perfiles más comunes son los del tipo THN y HEB. Los primeros, por su sección en omega son más flexibles y permiten una puesta en obra más fácil, pudiendo ser atresillados mediante barras corrugadas de acero o ser fijadas al terreno mediante bulones anclados o friccionantes. Los segundos, más rígidos y por tanto menos deformables, son más adecuados cuando el terreno transmite cargas muy altas, ya que se fabrican con aceros de límite elástico superiores a las de las cerchas THN, y por tanto trabajan en régimen elástico sin grandes deformaciones.

En el diseño del sostenimiento de las galerías, se considera más adecuado el empleo de cerchas THN-21, debido a las dimensiones de la excavación y las características del macizo rocoso.



Planta descriptiva de las actuaciones. Alternativa I.

5.4.2.2. Alternativa 2. Camino de emergencia simplificado

Con objeto de resolver determinados inconvenientes generales relacionados con la magnitud de la obra civil asociada a la ejecución del camino de emergencia de la Alternativa 1, y en concreto con las exigencias de seguridad y posibles afecciones al servicio de la A-7, se ha planteado una solución simplificada, basada en aprovechar la berma existente en la calzada sur, de forma que se reduzca la superficie afectada por el camino de acceso vehicular.

Estas mejoras se logran a costa de forzar la pendiente de acceso al emboquille de la galería intermedia, cuya cota y desarrollo en subterráneo se mantiene respecto a lo considerado en la Alternativa 1. En concreto la pendiente es del 15%, valor compatible con la operación de los equipos de construcción, y en caso de emergencia, incluso con el acceso vehicular de los servicios de rescate. En los planos del Proyecto se describe la solución propuesta.

Para garantizar en condiciones de servicio la evacuación de los usuarios que desalojen el Túnel Norte por la Galería 1N, además de la rampa mencionada se dispondrá un acceso mediante escaleras a una plataforma habilitada como parte de la zona segura en el emboquille oeste del actual Túnel Sur.

Complementariamente, con objeto de permitir las operaciones durante la fase de construcción y mejorar la accesibilidad entre ambas calzadas, resulta necesario acondicionar el espacio existente entre la calzada y el borde del talud, en concreto la berma existente en el trasdós de la barrera new jersey fija, tal y como ilustra la siguiente fotografía.



Berma de Calzada Sur a habilitar como zona de acceso y camino de operaciones durante las obras. Alternativa 2.

Se ha inspeccionado de forma específica esta zona, con el resultado mostrado en el **Apéndice 1**, con objeto de valorar la viabilidad de esta propuesta. Se ha confirmado que existe un ancho de paso suficiente para habilitar un camino de obra y posterior acceso de emergencia entre calzadas, con los siguientes condicionantes:

- Será necesario desviar elementos de señalización y comunicaciones pertenecientes al Túnel de Aguadulce para disponer de una zona de paso libre de obstáculos.
- En determinadas zonas resultará imprescindible adecuar la cuneta existente en el pie del talud, sustituyendo la cuneta por elementos transitables adecuadamente protegidos.
- Durante las obras, y en fase de servicio (escenario de emergencia), será necesario habilitar pasos a las zonas seguras y en los puntos de conexión entre calzadas, para lo cual puede optarse por sustituir en dichos tramos de acceso la barrera new jersey fija por una de tipo móvil.

Para ejecutar el camino de acceso al emboquille de la galería de evacuación es necesario recurrir a material de préstamo para materializar el relleno del camino, con volumen estimado inferior a los 1000 m³. En cuanto a las necesidades de vertedero, tal y como muestra el Cuadro siguiente, existe una mejora sustancial respecto a la Alternativa 1.

TRAMO	VOLUMEN TEÓRICO EXCAVADO	MATERIAL APROVECHABLE	MATERIAL NO APROVECHABLE
Galerías	12.384 m ³	200 m ³	12.184 m ³
Desmontes camino	6.400 m ³	-	6.400 m ³
TOTAL	18.784 m³	200 m³	18.584 m³

Estimación de Volúmenes totales excavados (Galerías). Alternativa 2.

En lo que respecta al procedimiento de ejecución de las galerías subterráneas no son de esperar diferencias con respecto a la Alternativa 1, con excepción de una ligera penalización de los rendimientos de los equipos de obra, debido a la pendiente de la rampa de acceso.

En cuanto al trazado y longitud de las galerías, no existen diferencias sensibles respecto a lo indicado para la alternativa 1, con excepción de la salida de emergencia 1N, cuyo trazado varía ligeramente para facilitar el acceso a la plataforma habilitada como parte de la zona segura en el emboquille oeste del actual tubo Sur.

En la siguiente página se caracteriza de forma gráfica el alcance de la alternativa 2, incluyendo una descripción de los elementos más singulares de la infraestructura.

emboquille oeste del Túnel Sur, el cual dispone de un camino de acceso a la zona de locales técnicos desde la zona urbanizada existente en el sur.

5.4.2.3. Comparación de alternativas

Las principales diferencias entre las dos alternativas propuestas radican en la adecuación del camino de emergencia necesario para cumplir con los requisitos normativos en materia de evacuación del túnel. De esta forma, la alternativa 2 minimiza la superficie afectada por el nuevo camino en relación a la alternativa 1, aprovechando el espacio disponible en la berma de la calzada sur y a costa de forzar la pendiente de acceso en la conexión con el emboquille de la galería intermedia de evacuación (denominada 1S en los planos).

No obstante, teniendo en cuenta que la longitud del camino de emergencia es moderada y que se plantea junto a la calzada sur de la autovía A-7, ambas alternativas suponen una afección poco significativa.

A continuación se expone y justifica la comparativa explícita entre alternativas, con el fin de discriminar la solución más adecuada en términos técnicos, económicos y ambientales.

Condicionantes técnicos

Cabe reseñar, que, además de los condicionantes ambientales estudiados más adelante en el presente documento, de cara a la elección de una de las alternativas, deberá tenerse en cuenta el tráfico en el túnel de Aguadulce. Debido al **elevado tráfico de la Autovía** (IMD>8.000 veh/día/carril para el túnel Sur e IMD>13.000 veh/día/carril para el túnel Norte) la consideración de *cortes parciales o totales de la infraestructura en ambos túneles deberá plantearse en periodo nocturno*, en horario comprendido entre las 22:00 h y las 6:00 h.

Afecciones al servicio de la Autovía

La Alternativa 2 supone una reducción notable de las afecciones al servicio de la Autovía, proporcional a la disminución de la longitud del camino a cielo abierto alcanzada respecto a la Alternativa 1.

Seguridad

La Alternativa 2 supone una mejora de las condiciones de seguridad, ya que se evitan los tramos en desmonte de mayor altura existentes en la Alternativa 1, los cuales deben ser ejecutados en las proximidades de la calzada sur y en determinadas zonas en condiciones bastante desfavorables.

Accesibilidad

De forma general la Alternativa 2 mejora la accesibilidad global de los equipos de emergencia para realizar cualquier actuación en el interior de los túneles, ya que se centraliza la evacuación por el

Expropiaciones

Al discurrir la mayor parte de las actuaciones de la Alternativa 2 sobre terrenos del dominio público de carreteras, se minimizan las expropiaciones necesarias en relación con la Alternativa 1.

Volúmenes de excavación y superficies afectadas

En el siguiente cuadro comparativo se muestra la estimación de los volúmenes de excavación generados en ambas alternativas, tanto por la construcción de las galerías subterráneas que permiten la evacuación de los túneles, como por el desmonte que forma parte del camino de acceso ejecutado a cielo abierto.

Como se puede apreciar los volúmenes de excavación de la Alternativa 2 son prácticamente la mitad de los teóricamente necesarios para la Alternativa 1.

TRAMO	ALTERNATIVA 1			ALTERNATIVA 2		
	VOLUMEN TEÓRICO EXCAVADO	MATERIAL APROVECHABLE	MATERIAL NO APROVECHABLE	VOLUMEN TEÓRICO EXCAVADO	MATERIAL APROVECHABLE	MATERIAL NO APROVECHABLE
Galerías	11.600 m ³	400 m ³	11.200 m ³	12.384 m ³	200 m ³	12.184 m ³
Desmonte (Camino)	23.500 m ³	-	23.500 m ³	6.400 m ³	-	6.400 m ³
TOTAL	35.100 m³	400 m³	34.700 m³	18.784 m³	200 m³	18.584 m³

Estimación de Volúmenes totales excavados (Galerías).

Para el cálculo de la superficie afectada en cada alternativa, se ha estimado dicha magnitud en planta, con el resultado que se recoge en el cuadro mostrado a continuación, en el que se aprecia que la Alternativa 2 minimiza la superficie afectada, debido a su mayor adaptación al entorno de la infraestructura existente.

Alternativa	Superficie afectada (m ²)
1	7.773,55
2	5.183,18

Superficie afectada por el proyecto en ambas alternativas.



Planta descriptiva de las actuaciones. Alternativa 2.

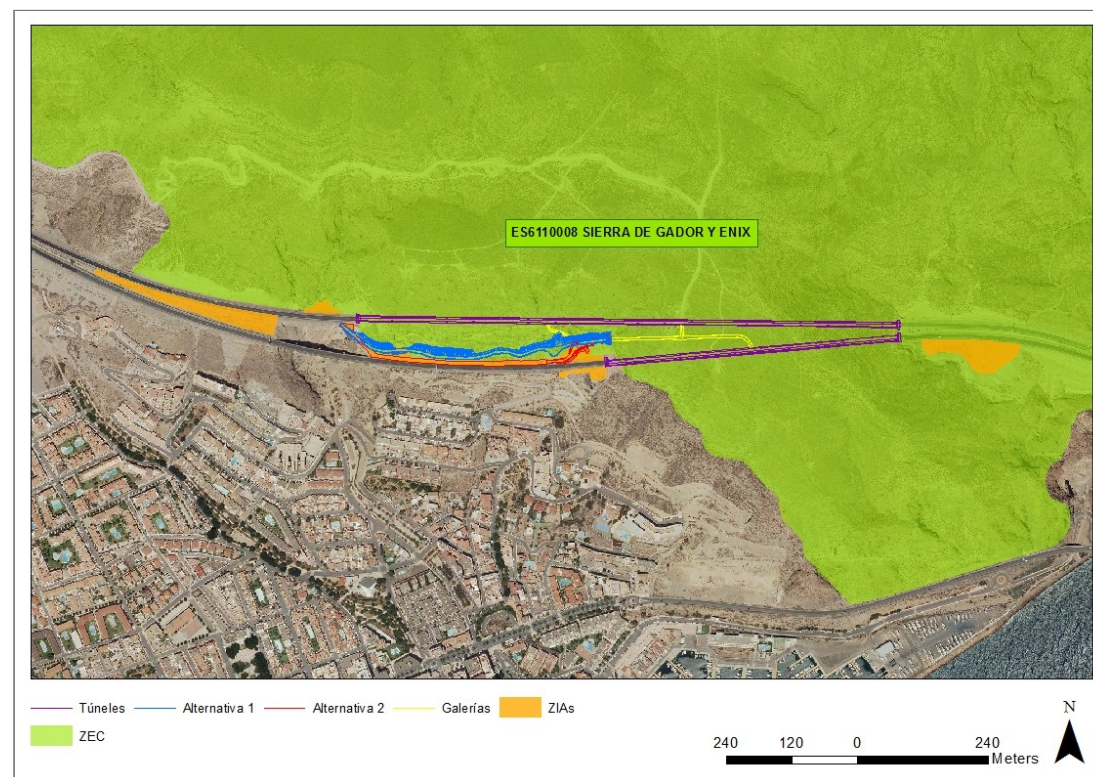
En relación a estas cifras, ha de tenerse en cuenta que parte de la superficie afectada por la Alternativa 2 ya se encuentra ocupada por la berma de la calzada sur, por lo que descontando dicha superficie ya antropizada la superficie de desbroce realmente afectada es la mostrada en la siguiente tabla.

Alternativa	Superficies de desbroce aproximadas (m ²)
1	8.000
2	2.000

Superficie de desbroce afectada por el proyecto en ambas alternativas.

Condiciones ambientales

Desde el punto de vista medioambiental, el entorno de la Autovía, y por tanto parte de las actuaciones previstas en este Proyecto, afectan a la Zona Especial de Conservación ZEC ES 6110008 "Sierra de Gádor y Énix" (ver Figura adjunta), por lo que se hace necesario estudiar las características de este espacio de la Red Natura 2000, atendiendo especialmente a los objetivos de conservación que le han sido asignados. De acuerdo con esto, se ha desarrollado el Estudio de afección a Red Natura 2000, concluyendo que no se aprecian efectos adversos significativos que pudieran comprometer las actuaciones previstas en cualquiera de las alternativas planteadas. A pesar de lo anterior, al tener menor longitud de camino a cielo abierto la Alternativa 2, la afección ambiental es inferior a la generada por la Alternativa 1.



Red Natura 2000 en el entorno del proyecto. Fuente: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), PNOA, y elaboración propia.

5.4.2.4. Conclusiones

De acuerdo con el contexto de la actuación y el conjunto de condicionantes existentes en el entorno de los túneles, se considera como solución más adecuada para cumplir con los requerimientos del RD 635/2006, en lo que respecta a las salidas de emergencia, la Alternativa 2, por las siguientes razones:

- Es la opción más económica y funcional que permite cumplir con los requisitos definidos en el Real Decreto 635 de seguridad en túneles, decisión que resulta igualmente consecuente con el contenido de la Orden de eficiencia en Obras Públicas (Orden FOM/3317/2010, de 17 de diciembre).
- Además de las ventajas económicas, esta solución ofrece, a priori, mejores condiciones en materia de seguridad en el entorno de la Autovía A-7 durante la fase de ejecución de las obras, ya que se minimiza la longitud del camino de emergencia ejecutado a cielo abierto.
- Esta solución representa un menor impacto ambiental, aspecto a tener en cuenta por la presencia de una zona especial de conservación, minimizando igualmente la necesidad de expropiación.
- Supone una mejora de las condiciones de accesibilidad global por parte de los equipos de emergencia a los túneles, ya que además del acceso por la propia calzada (y galerías de emergencia) existe como posibilidad de conexión el camino existente por el sur que permite en la actualidad acceder a la zona de los locales técnicos ubicada en el emboquille oeste de la calzada sur.

5.4.2.5. Definición de la solución adoptada

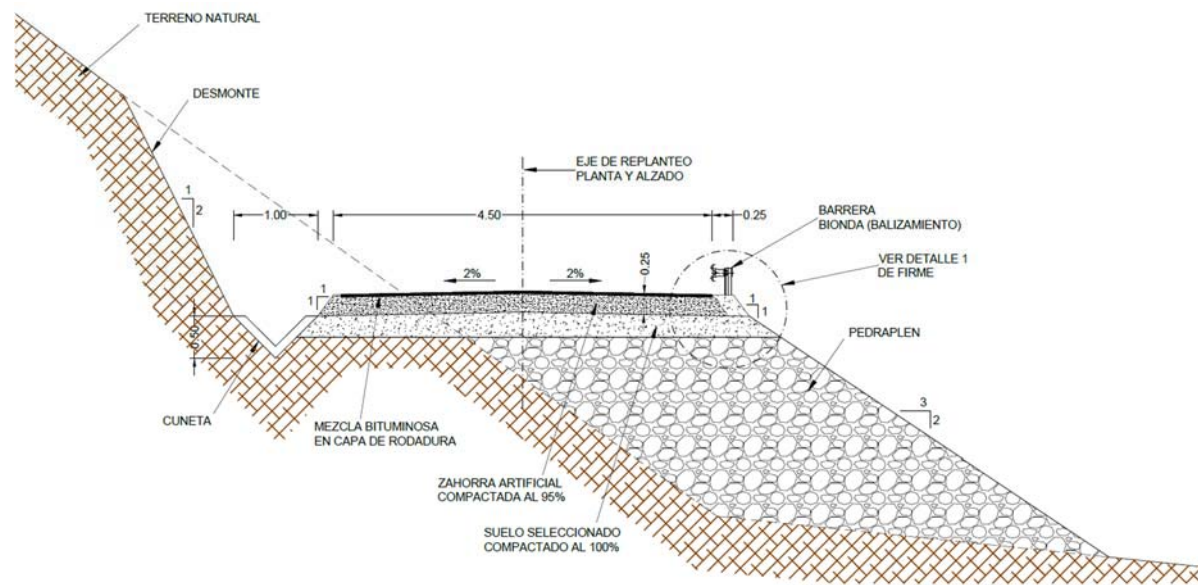
La solución de evacuación propuesta para adecuar los túneles de Aguadulce al RD 635/2006 consiste, en base a lo expuesto en apartados anteriores, en ejecutar una galería auxiliar situada entre ambos tubos y con acceso a cielo abierto mediante un camino de servicio habilitado para ser accesible a vehículos de emergencia, conectando con la berma existente en la parte izquierda de la calzada sur, que será adecuada a su vez para permitir el acceso de vehículos de emergencia en caso de necesidad.

En los apartados siguientes se desarrolla la solución adoptada.

Sección tipo de camino de acceso

Como ya se ha mencionado en apartados anteriores, con objeto de minimizar los desmontes y las afecciones a la autovía durante las obras, se ha planteado el encaje de trazado del camino forzando una pendiente longitudinal del 15% que permita el tránsito de maquinaria durante las obras de adecuación y posteriormente, tras su conclusión, incluso el acceso de vehículos de emergencia en caso de necesidad.

En lo que respecta a la sección transversal, se ha definido de forma general un ancho de paso de 4,50 m, con la sección tipo que se muestra a continuación. Estas dimensiones permitirían el acceso en vehículo a los equipos de emergencia.



Sección tipo camino de obra y acceso

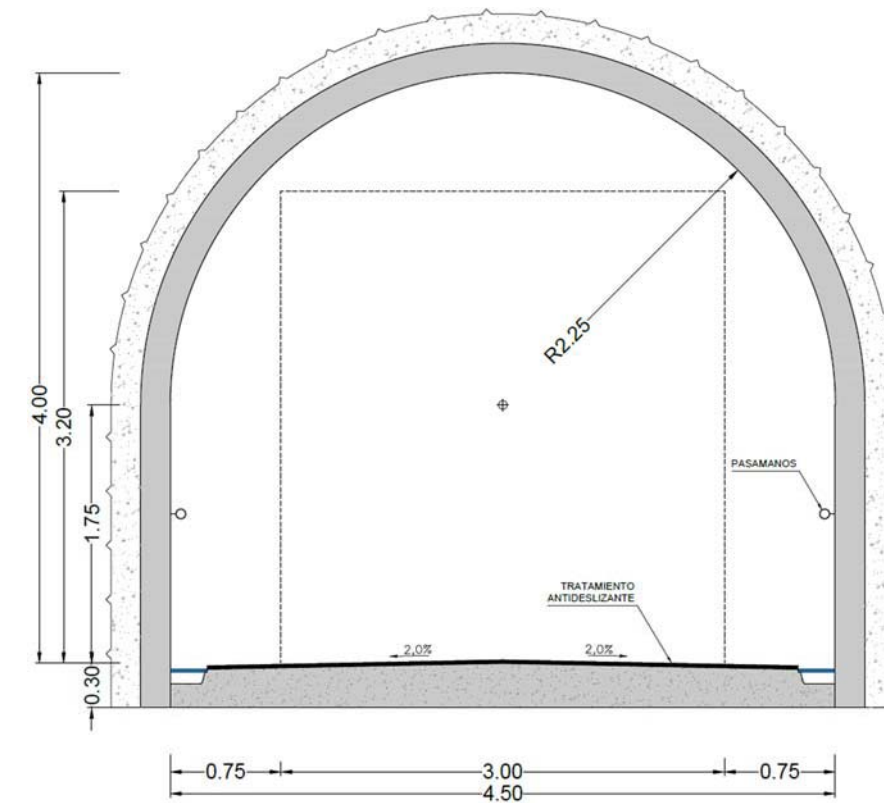
Sección tipo de galería

La sección tipo de las galerías subterráneas es común a todas ellas y está formada por una bóveda de 2,25 m de radio útil y hastiales rectos de 1,75 m. Esta sección permite la disposición de un carril centrado de 3,0 m de ancho y 3,20 m de gálibo vertical, con sendos arcenes de 0,75 m de anchura.

Tras ejecutarse el correspondiente sostenimiento de la excavación, se dispondrá de un revestimiento de hormigón proyectado y una solera de 30 cm en su parte central, con bombeo a ambos lados del 2%.

La sección de excavación aproximada es de 22 m², siendo la sección libre interior de 15,8 m².

La sección geométrica tipo de galería propuesta aparece representada en la figura siguiente.



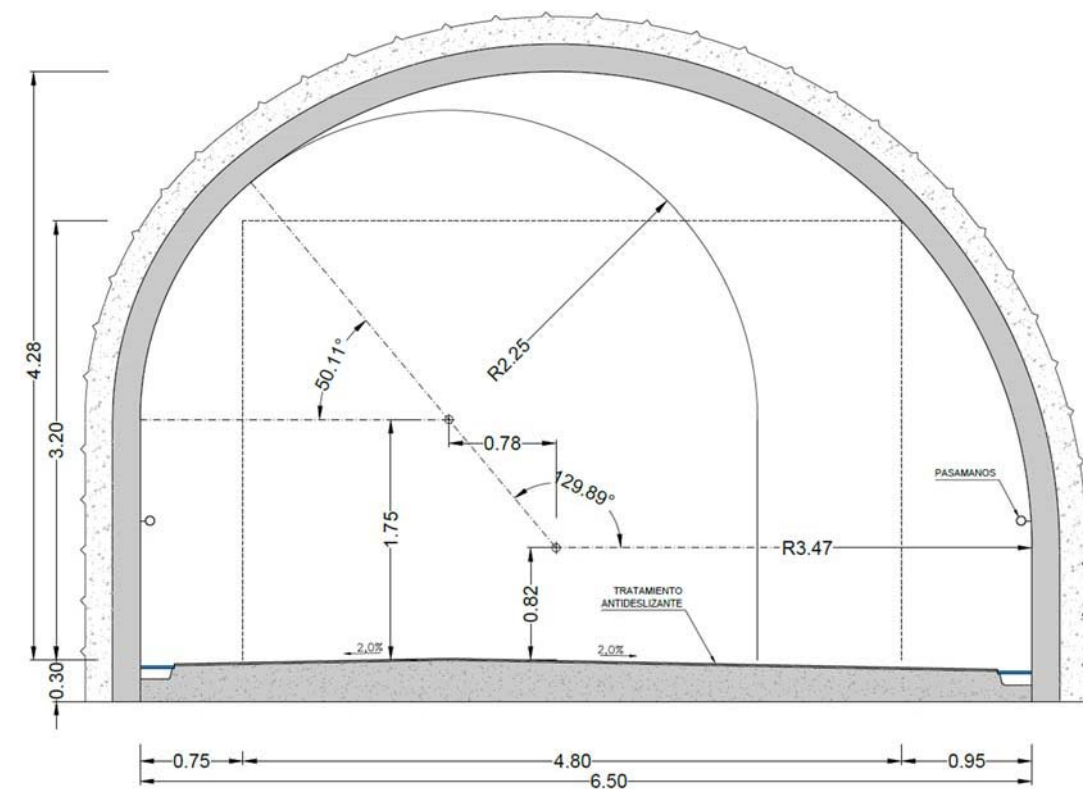
Sección tipo Galería en mina

Aparte de esta sección común a todas las galerías proyectadas, se ha diseñado una sección especial, con un sobreesfuerzo, a utilizar en la zona del entronque de la galería 1S con la galería 2N, 10 m a cada lado del entronque, para facilitar el giro de los vehículos. La sección, denominada de anchurón, se representa en la figura siguiente.

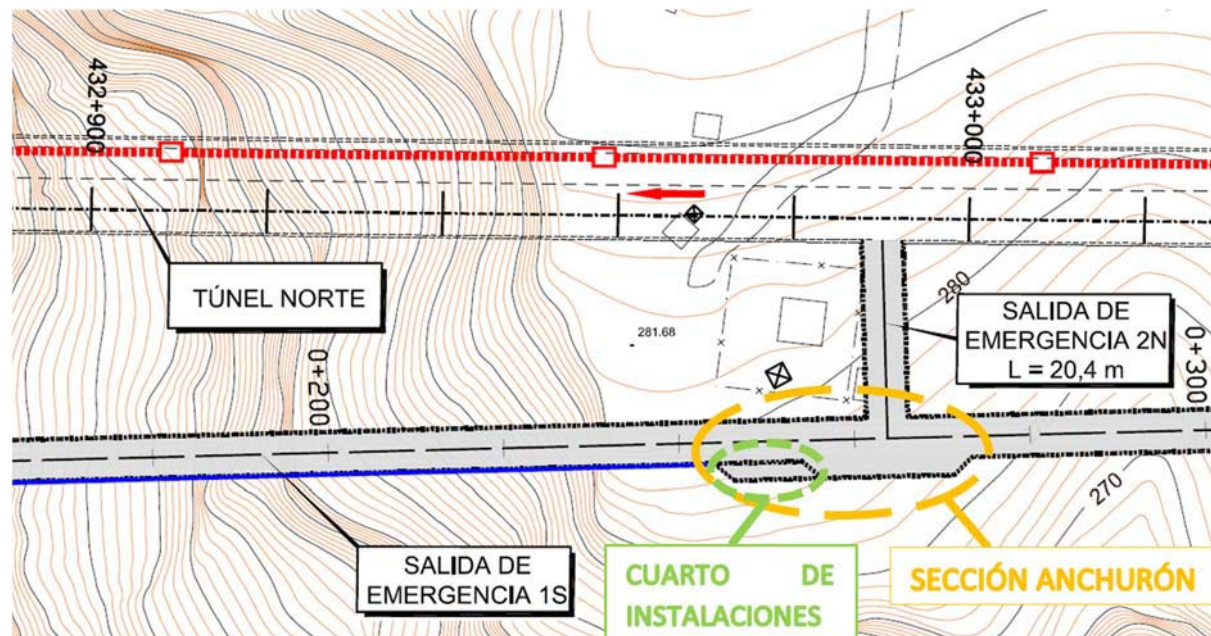
La sección de excavación aproximada de la sección anchurón es de 31 m².

Esta sección también se ejecutará a lo largo de 10 m aneja a la zona del entronque entre galerías 1S y 2N para disponer de un espacio donde se realizará un cuarto de instalaciones donde ubicar cuadros y equipos para facilitar la conexión del túnel Norte con la zona de locales técnicos del emboquille oeste del túnel Sur.

En la figura siguiente se puede apreciar la ubicación de la sección de anchurón y el cuarto de instalaciones en la galería de emergencia 1S.



Sección tipo Anchurón



Detalle ubicación sección tipo Anchurón y cuarto de instalaciones en galería 1S

Planta y perfil longitudinal

En la solución adoptada, la galería auxiliar situada entre ambos tubos, denominada en Planos salida de emergencia 1S, discurre paralela a los túneles Norte y Sur hasta que acaba entroncando con el túnel Sur aproximadamente a 270 m de ambos emboquilles del túnel. Además, mediante esta solución, se dota al túnel Norte de dos salidas de emergencia, la primera galería de evacuación (galería 1N) a 345 metros del emboquille oeste y la segunda vía (galería 2N) a 395 metros del emboquille este. La galería 1N sale al camino de servicio, mientras que la galería 2N entronca con la galería 1S aproximadamente a 138 m de su boca de entrada.

En el Anejo Nº2. Trazado, se incluyen los listados de trazado correspondientes a la definición geométrica del trazado de la alternativa elegida.

La figura mostrada en la siguiente página muestra una vista en planta de la solución considerada.

El camino exterior tiene una longitud de 127 m hasta el emboquille de entrada a la galería 1S y una pendiente longitudinal ascendente del 15%.

Las longitudes de excavación en mina aproximadas de las galerías diseñadas son de: 275 m (salida de emergencia 1S), 67,9 m (galería 1N) y 20,4 m (galería 2N). Las galerías presentan una pendiente máxima del 6,4% en la galería 1S, del 5% en la galería 1N y del 5,1% en la galería 2N.

Método constructivo

La ejecución de las galerías está prevista realizarla desde el exterior hacia el túnel. Para ello, previamente será necesario haber realizado el acondicionamiento de la berma existente entre el talud y la calzada sur de la autovía para permitir su uso como camino durante las obras y haber ejecutado el relleno y los desmontes que conlleva la realización del camino de acceso con pendiente del 15% para permitir iniciar los emboquilles de las galerías 1N y 1S.

El relleno y los desmontes a media ladera necesarios para ejecutar el camino de obra y acceso se plantea realizarlos de forma generalizada por medios mecánicos para evitar afecciones a la autovía, no obstante podría ser necesario el uso de explosivos de forma puntual y controlada. De ser necesaria realizar alguna pega, dada la proximidad del camino a la calzada sur de la A-7 deberá abordarse en periodo nocturno, ya que resultará imprescindible cortar al menos uno de los carriles (el más próximo al talud) o incluso la calzada completa por seguridad, durante la ejecución de la voladura y comprobación de su resultado.

Los taludes de excavación previstos tienen pendiente 1H:2V, considerando un refuerzo con bulones de $\phi 32$, malla electrosoldada y una capa de hormigón proyectado para garantizar la estabilidad de la excavación a largo plazo.

Una vez ejecutado el camino, se procederá a realizar los emboquilles de las galerías 1N y 1S. Previo a la excavación de cada emboquille se debe realizar un paraguas de bulones arriostrados con viga de atado o en caso de terrenos de muy baja calidad podría ser necesario la ejecución de paraguas de micropilotes.

Tras la ejecución del paraguas se procederá a la excavación y sostenimiento de cada galería en mina, avanzando desde los emboquilles realizados. Antes de llegar a entroncar con el túnel de Aguadulce, deberá estar realizado un refuerzo desde el interior del túnel, formado por un paraguas de bulones o micropilotes, en función de la calidad

geotécnica del terreno existente, arriostrados con viga de atado. Los últimos metros de cada galería (2-3 m) se ejecutarán desde el interior del túnel existente para evitar daños a la estructura del mismo.

La galería 2N se excavará desde la galería 1S con sentido hacia el túnel Norte, tras realizar el paraguas de protección en el entronque con la galería 1S. Previamente a excavar el entronque con el túnel existente deberá estar realizado el refuerzo mediante paraguas y viga de atado. Los últimos metros de la galería (2-3 m) se ejecutarán, al igual que para el resto de galerías, desde el interior del túnel para evitar daños a la estructura del mismo.

Las labores de excavación a realizar desde el interior del túnel existente de Aguadulce se coordinarán con el resto de trabajos de adecuación de los túneles que integran este Proyecto, para minimizar el plazo de afección al funcionamiento de la autovía.

La excavación y sostenimiento de las galerías se ejecutará por métodos convencionales mediante la aplicación de la filosofía constructiva del “Nuevo Método Austriaco” (NATM), al igual que se hizo en su momento para la construcción de los túneles existentes de Aguadulce.

Esta metodología constructiva, consiste en la excavación secuencial y la disposición inmediata de un sostenimiento flexible, actuando como elemento provisional de soporte destinado a estabilizar la excavación. Dicho proceso está basado en el empleo de hormigón proyectado, bulones, malla electrosoldada de acero o fibras y cerchas.

La correcta aplicación del método exige una información directa y fiable del frente mediante el examen geológico de la excavación y el control permanente de la auscultación, que proporciona datos precisos sobre el comportamiento de los sostenimientos aplicados.

La excavación se realizará en una sola fase, a sección completa, debido a la reducida sección de la galería.