

Evolución, problemática y estrategia de reparación de los túneles de Calle 30 (M-30, Madrid)

Progression, problems and strategy for the repair of Calle 30 tunnels

Tomás Ripa Alonso^a, Noemí Corral Moraleda^b

^a Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. LRA Infrastructures Consulting. Socio-Director. tomasripa@lraingenieria.es

^b Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. LRA Infrastructures Consulting. Responsable Área de Rehabilitación noemicorral@lraingenieria.es

RESUMEN

El presente artículo desarrolla la labor que LRA está llevando a cabo en el marco de la rehabilitación de los túneles de la Calle 30. En concreto, el artículo expone la metodología elaborada por LRA para la evaluación del estado de las estructuras que conforman el soterramiento, y la definición de las estrategias de reparación diseñadas a partir de las conclusiones obtenidas en dicha evaluación, que podrán servir como base para la redacción de proyectos o informes que se redacten al efecto.

ABSTRACT

This paper expounds LRA's works in the Calle 30 tunnels. It's especially focus in the evaluation of the structures made by LRA. The evaluation has analysed the tunnels and the possible restoration strategies. Another goal is to stablish a reference for other projects with similar difficulties.

PALABRAS CLAVE: túneles, Calle 30, rehabilitación, patología, filtraciones.

KEYWORDS: tunnels, restoration, structural deterioration, leaks

1. Introducción

El 8 de mayo de 2007, con la apertura del túnel sur del by-pass, se inauguran las obras de soterramiento de la M-30, cuyo inicio había tenido lugar en septiembre de 2004. Se concluía, de esta manera, una de las reformas más importantes de la circunvalación desde el inicio de su construcción en la década de los 60.

La transformación consistió en el soterramiento del arco suroeste de la circunvalación (desde la A-5 hasta Nudo Sur) y la creación del by-pass sur (desde el Paseo de Santa María de la Cabeza hasta la A-3). En las siguientes fotografías aéreas se muestra la evolución de la circunvalación entre los años 2004 y 2017:



Figura 1. Fotografía aérea del arco suroeste de la M-30 en el año 2004, antes de las obras de soterramiento



Figura 2: Fotografía aérea del arco suroeste de la M-30 en el año 2017, después de las obras de soterramiento

En este sentido, dada la extensión del soterramiento, existe un número elevado de patologías y por tanto, es **esencial establecer un procedimiento para la evaluación del estado de la infraestructura** que constituya una herramienta de gestión eficaz, que permita la priorización de actuaciones y, al mismo tiempo, sienta las bases para el desarrollo de estrategias de reparación eficaces y eficientes que sean el resultado del proceso de evaluación y el análisis de la problemática existente.

Si bien en la actualidad existe un Procedimiento de Inspección Estructural de Túneles específico para los túneles de la Calle 30, este procedimiento integra una serie de trabajos que concluyen con la inspección estructural de los túneles en campo y la elaboración de la documentación resultante de dicha inspección, pero no desarrolla una metodología para la síntesis de soluciones en función de la problemática existente, que correspondería a una fase más avanzada del

proceso, previa a la redacción de los proyectos de rehabilitación correspondientes.

El presente artículo desarrolla la metodología utilizada por LRA para la evaluación del estado de conservación de los túneles a partir de los resultados de las inspecciones estructurales y el proceso de síntesis de soluciones tipo. Este proceso de evaluación de estado junto con los diferentes trabajos que LRA viene acometiendo en el ámbito de los túneles de la Calle 30, permite **establecer estrategias de reparación que se basan, por un lado, en una priorización de las actuaciones en función del alcance y la urgencia de la actuación, pero que también integran las conclusiones obtenidas del estudio y análisis realizado por LRA** sobre la problemática existente en las estructuras que conforman el soterramiento y que también se desarrollan en esta ponencia.

2. Descripción de la infraestructura

El soterramiento de la M-30 queda conformado por las calzadas principales exterior e interior, calzadas laterales y los ramales de conexión entre calzadas que permiten los distintos movimientos de los enlaces. Asimismo, existe un elevado número de espacios aledaños al trazado como salidas de emergencia, pozos de

ventilación y cuartos técnicos que, junto con los viales, forman el soterramiento de la M-30.

En general, las calzadas principales (exterior e interior) albergan entre 3 y 4 carriles de circulación, mientras que los ramales de conexión presentan, mayoritariamente, un solo carril de circulación. La sección funcional, por su parte, presenta a ambos lados de la calzada, bordillo, acera y murete de hormigón a lo largo de toda la longitud de los túneles. Sobre este último descansan los paneles de acero vitrificado que forman el revestimiento final de los viales.

En cuanto a la **tipología estructural** del trazado, la mayoría de las calzadas y ramales son túneles ejecutados entre pantallas de hormigón, con losa superior de cubrición y losa inferior por la que discurre el tráfico y, además, soporta la subpresión del nivel freático. Las pantallas laterales de contención son, bien continuas o bien pantallas discontinuas de pilotes secantes (es decir, pilotes estructurales equiespaciados con un pilote no estructural, de mortero, que rellena el espacio entre los anteriores). Las losas de cubrición, por su parte, consisten en losas de hormigón armado de espesores variables en función de la carga solicitante sobre la losa, o vigas de hormigón armado, postesadas o metálicas. Por último, las losas de fondo por las que discurre el tráfico se ejecutaron como losas de hormigón armado, continuas y empotradas en las pantallas, al objeto de soportar adecuadamente la subpresión.

El proceso constructivo utilizado en la mayor parte del trazado fue el de “falso túnel” o método *“cut and cover”*, consistente en la ejecución primera de las pantallas de contención, posterior descabezado y hormigonado contra el terreno de la losa de cubrición y, finalmente, excavación en mina hasta la cota de la losa de fondo, empotrando la contrabóveda en las pantallas y ejecutando las losas intermedias o estampidores. Como excepción a las tipologías anteriores hay que

señalar el by-pass sur, el cual se ejecutó por medio de dovelas prefabricadas.

En cuanto a las salidas de emergencia, pozos de ventilación y cuartos técnicos, estos consisten de manera general, en recintos apantallados que albergan las instalaciones y equipos correspondientes.

Además de las tipologías estructurales, otro aspecto importante a la hora de abordar el estudio de la problemática de los túneles son las **singularidades del trazado**. En este sentido, podemos destacar la presencia del río Manzanares, el cruce bajo el río de algunos ramales o los numerosos cruces entre los diferentes viales o con otras infraestructuras existentes. Las zonas singulares del trazado son, necesariamente, zonas singulares desde un punto de vista estructural: nivel freático elevado por la proximidad del río, carga de agua en los cruces bajo el río, distintos niveles estructurales y discontinuidades estructurales en los cruces y conexiones entre los distintos ejes. Estas singularidades deben ser tenidas en cuenta en el estudio de la problemática y en la estrategia de reparación, por cuanto las patologías se acentúan en las zonas singulares desde el punto de vista estructural.

Por otro lado, el **sistema de drenaje** actual de las calzadas y los ramales del soterramiento está formado por un sistema de drenaje de calzada y por un sistema de recogida del agua de infiltración de las pantallas. El sistema de drenaje de la calzada está compuesto por sumideros situados en los bordes de la calzada conectados a un colector ubicado bajo la misma. Este colector canaliza el agua hasta los pozos de bombeo o puntos de vertido localizados a lo largo de todo el trazado. Por otro lado, el sistema de recogida del agua de infiltración de las pantallas está formado por una canaleta longitudinal ejecutada *in situ* en la coronación del murete de hormigón y conectada puntualmente al sistema de drenaje de la calzada a lo largo del trazado.

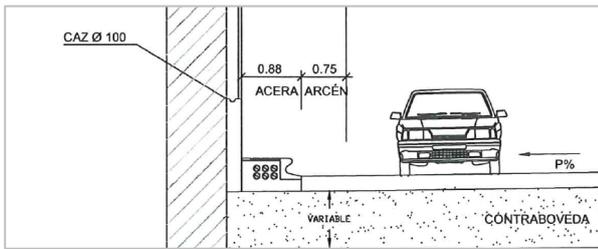


Figura 3: Detalle sección transversal tipo.

En el caso de las salidas de emergencia, pozos de ventilación y cuartos técnicos, el sistema de drenaje queda conformado a partir de conducciones horizontales en cada nivel y conducciones verticales que evacuan el agua recogida, bien a los pozos de bombeo o al sistema de drenaje de la calzada.

En líneas generales, las tipologías estructurales existentes, las zonas singulares del trazado y el sistema de drenaje actual son aspectos fundamentales en el estudio de patologías y en el diseño de una buena estrategia de reparación que tenga en cuenta, además, las necesidades del mantenimiento.

3. Evaluación del estado actual de los túneles

La evaluación del estado actual de los túneles integra numerosas fases que van desde el estudio de todos los antecedentes técnicos, pasando por la inspección en campo hasta llegar, como fase final del proceso, a una propuesta de soluciones que quede plasmada en un proyecto de rehabilitación específico. No obstante, **la presente ponencia no pretende exponer todas las fases que integran este proceso, sino más bien la metodología para la evaluación del estado actual y síntesis de soluciones tipo**, que tiene lugar después de la realización de la inspección en campo y como

fase previa a la redacción de un proyecto de rehabilitación.

Como es natural, la inspección de una infraestructura como los túneles de la M-30 genera una cantidad elevada de datos, fichas, patologías, etc. que, a priori, no resulta sencillo manejar para el desarrollo de una propuesta de soluciones eficaz. Por tanto, la metodología para la evaluación del estado de los túneles y la síntesis de las soluciones tipo a partir de los resultados de dicha inspección y del estudio de toda la documentación existente, debe **establecer una serie de parámetros a partir de los cuales sea viable el estudio y análisis de la información, para el desarrollo posterior de las estrategias de reparación**. A su vez, estas estrategias de reparación sentarán las bases para las propuestas de actuación que se desarrollen en los proyectos de rehabilitación específicos que se redacten al efecto.

Por tanto, el **proceso para la evaluación del estado de la estructura** comienza con una fase previa de revisión y estudio de la documentación existente, a partir de la cual se realiza la evaluación del estado del túnel que conduce a la propuesta de una estrategia para la reparación de las estructuras.

Primeramente, consideramos oportuno aclarar la diferencia conceptual entre valoración y evaluación del estado de conservación del túnel:

La **valoración** del estado de conservación es el proceso de asignación de un índice de estado o condición a los distintos elementos y tramos del túnel, partiendo de los deterioros identificados y catalogados en el trabajo de campo y aplicando los criterios establecidos en el procedimiento de inspección correspondiente.

La **evaluación** del estado de conservación es el análisis de los daños de un elemento para establecer, de forma justificada y razonada, las causas del daño y las actuaciones de reparación.

Así pues, la *valoración* antecede a la *evaluación*, puesto que es evidente que un análisis de todos los elementos del túnel es inabordable, por lo que este debe centrarse en aquellos elementos y tramos cuya valoración supere un determinado nivel de daño. Por otro lado, la *evaluación* es necesaria para realizar una propuesta de actuaciones de reparación, por cuanto tal propuesta debe ser razonada y justificada para conseguir una estrategia de conservación acertada y eficaz.

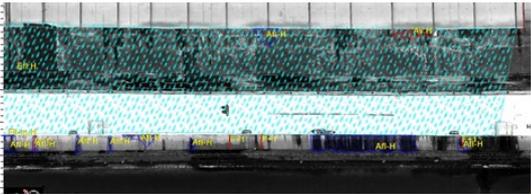
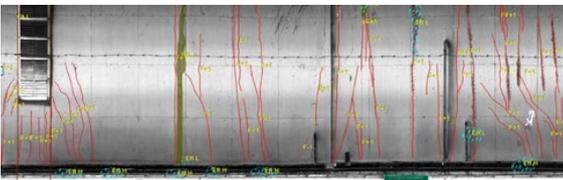
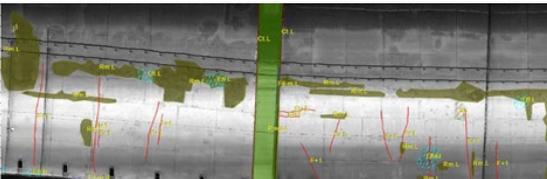
El proceso de evaluación se basa, por tanto, en el análisis de los siguientes aspectos:

1. Selección de las secciones, tramos o zonas del túnel que deban ser objeto de evaluación a partir de la Inspección y las visitas a campo realizadas.
2. Determinación de la naturaleza del daño y análisis de las causas de deterioros y de sus consecuencias y riesgos. El análisis en conjunto de todas las zonas con deterioros, la observación del tipo de deterioro, las causas que los originan y las consecuencias de su evolución permitirá definir las naturalezas de riesgo existentes en el tramo.

3. Contraste de los datos obtenidos con los antecedentes técnicos existentes.
4. Análisis particularizado de las zonas con singularidades relevantes, contrastando su ubicación con las patologías detectadas a lo largo del trazado.

El análisis del estado actual de los túneles permite discernir entre patologías con afección a la durabilidad de la estructura, a la resistencia y a las condiciones de explotación de la infraestructura. En este sentido, las patologías más recurrentes son las relacionadas con la durabilidad, al detectarse un porcentaje elevado de deterioros de esta naturaleza respecto a otros deterioros con afección a la resistencia o a la explotación. Así pues, cabe asumir que las estructuras que conforman los túneles presentan, fundamentalmente, una marcada patología con afección a la durabilidad de la estructura, acompañada en menor medida por patologías con afección a la resistencia o a las condiciones de explotación del tramo, que agravan el estado de conservación de la estructura.

Tabla 1: Algunas de las patologías detectadas y su tipo de afección

Tipo de afección	Ejemplos de patologías detectadas	
Durabilidad		<p>Filtraciones y eflorescencias en hastiales: en general, se observan filtraciones en las juntas entre módulos de pantalla y en la unión pantalla-losa.</p>
Resistencia		<p>Fisuración generalizada en losa.</p>
Explotación		<p>Reparaciones con mortero en losa con riesgo potencial de que alguna traza de mortero caiga sobre la calzada.</p>

El estado de conservación de los túneles, con una marcada patología asociada a la durabilidad, está relacionado, en gran medida, con la elevada cantidad de filtraciones existentes a lo largo de toda la longitud de los túneles, lo que contribuye a generar un ambiente de exposición agresivo. En este sentido, cabe indicar que la existencia de filtraciones así como la magnitud de las mismas, depende en gran medida del nivel de llenado de las presas del río Manzanares y, por tanto, su cuantía variará en función de ese factor. Si tenemos en cuenta los datos recientes, se corrobora que existe una disminución de las

filtraciones de unas inspecciones a otras. Este fenómeno es achacable, con alta probabilidad, a las actuaciones de naturalización del río que se vienen acometiendo en el escenario actual, por las cuales se ha procedido a la apertura permanente de las presas dejando el río con su cauce natural. Esto ha rebajado la cota de la lámina de agua, y con ello ha reducido las filtraciones.

Se incluye a continuación un gráfico de representación de los niveles de desembalsado de las presas en el que se puede apreciar esta evolución:

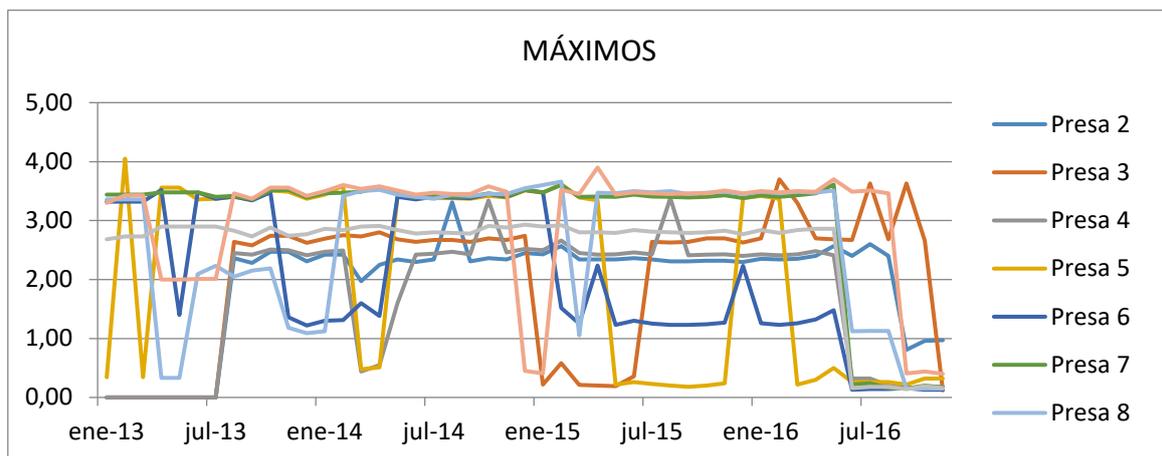


Figura 4: Gráfico resumen de desembalsado de las presas del río Manzanares (nivel en m)

Si bien las filtraciones se han reducido como consecuencia de las actuaciones de naturalización del río, la existencia de las mismas a lo largo de los túneles es todavía significativa y un problema de primer orden relacionado con el estado actual que presenta la infraestructura. Se considera, por tanto, que **las filtraciones son la causa principal del proceso de deterioro acelerado que han experimentado las estructuras desde su puesta en servicio hasta el momento actual.**

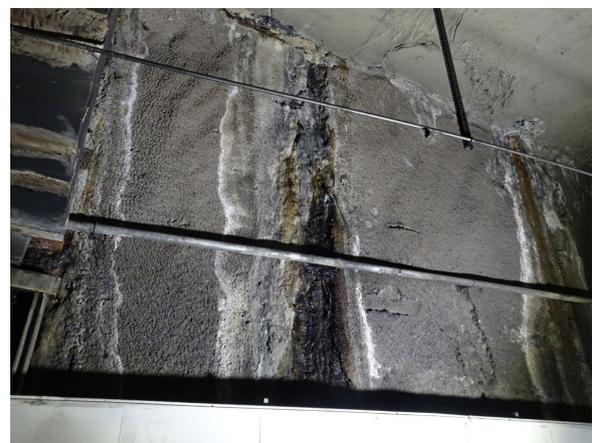


Figura 5: Filtraciones a través de las juntas en pantallas. Tramo Paseo Marqués de Monistrol- Puente de Segovia y Puente del Rey- Avenida de Portugal

A esto hay que sumar otros factores relevantes como el ambiente de contaminación al que están expuestas las estructuras producido por los vehículos que circulan por el interior de los túneles, y los fenómenos de condensación que se producen en algunas zonas por la deficiente ventilación, mayoritariamente en los recintos aledaños a las calzadas o ramales (salidas de emergencia, pozos de ventilación, cuartos técnicos y espacios singulares), en los que la falta una ventilación eficiente se hace más notable.



Figura 6: Interior de salida de emergencia colindante al cajero del río Manzanares

Así pues, los deterioros más significativos existentes en las estructuras de los túneles, como ya se ha indicado, son aquellos relacionados con el agua que, en función de su magnitud y grado de evolución, pueden manifestarse en forma de humedades, eflorescencias, filtraciones de caudal constante o filtraciones con arrastre de sales. No obstante, existen otros deterioros que, junto con las filtraciones, conforman un catálogo extenso de patologías existentes. En este sentido, para el estudio de la problemática actual de la infraestructura, y como parte esencial del proceso de evaluación del estado actual, se establecen una serie de **patrones de deterioro**. La definición de estos patrones de deterioro permite analizar la problemática teniendo en cuenta todos los deterioros existentes en los túneles y recintos aledaños (salidas de

emergencia, pozos de ventilación, cuartos técnicos y espacios singulares).

Podemos definir, por tanto, como **patrón de deterioro** un modelo o tipología en la que cabe incluir un determinado grupo de deterioros que reúnen una serie de características comunes. Esas **características comunes que dan lugar a los patrones de deterioro son la naturaleza del riesgo, la magnitud del riesgo y la evolución previsible del mismo**. La metodología para la evaluación de estado desarrollada establece, por tanto, una agrupación de los deterioros existentes en función de los parámetros referidos, lo que da lugar a lo que denominamos *patrones de deterioro*.

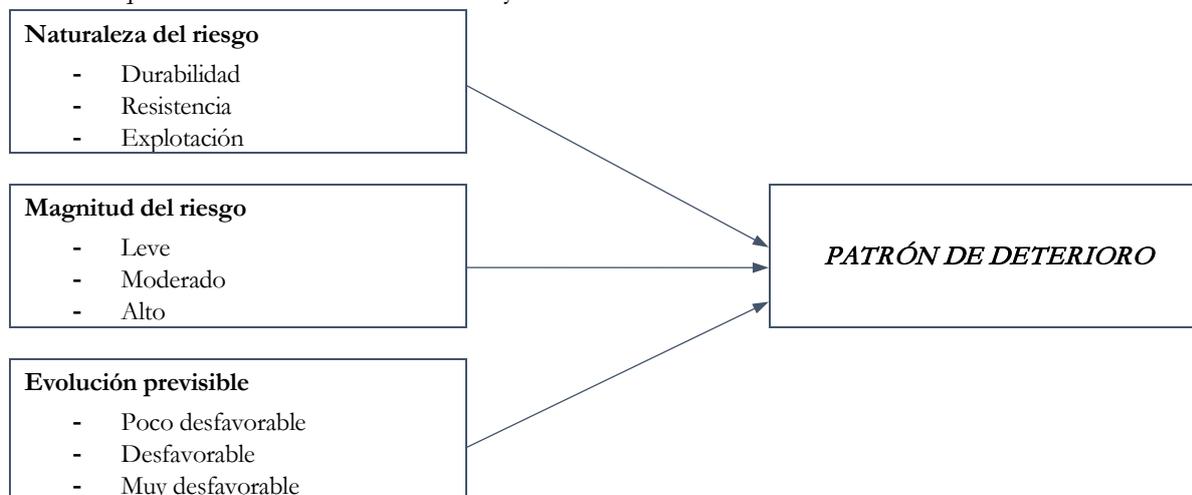
La **naturaleza del riesgo** hace referencia al tipo de riesgo asociado al deterioro. Así, distinguimos entre patologías con afección a la durabilidad, a la resistencia y a las condiciones de explotación del tramo. De acuerdo con esto, la naturaleza del riesgo es una información relevante de cara a diseñar una estrategia de actuación.

La **magnitud del riesgo** hace referencia, por su parte, a la gravedad asociada al deterioro en cuestión, relacionada con la extensión del mismo y con el grado de afección a la naturaleza del riesgo. Así, distinguimos entre magnitud de riesgo leve, moderada y alta.

Por último, la **evolución previsible** del deterioro refleja, en cierto modo, la rapidez con la que la magnitud del riesgo de un determinado deterioro puede evolucionar en el tiempo. En el estudio de la problemática de los túneles llevado a cabo por LRA, se han determinado tres índices previsible de evolución: evolución poco desfavorable (0), evolución desfavorable (1) y evolución muy desfavorable (2). Este concepto define la urgencia de actuación para la reparación de un determinado deterioro desde “sin necesidad de actuación a valorar según evolución” hasta “con necesidad de actuación a corto plazo o inmediata”.

Así pues, la definición de los conceptos de *naturaleza del riesgo*, *magnitud del riesgo* y *evolución previsible* permite definir una serie de patrones de deterioro que facilitan el estudio y la

comprensión de la problemática de los túneles y espacios auxiliares. Se incluye a continuación un esquema que sintetiza la exposición anterior:



En virtud de lo anterior, a cada patrón de deterioro identificado se le asigna un código de

identificación, la magnitud de riesgo asociada y la evolución previsible del mismo.

Tabla 2: Identificación de patrones de deterioro.

Naturaleza del riesgo	Patrón de deterioro	Magnitud del riesgo	Evolución previsible
Durabilidad/ Resistencia/ Explotación	(D.X.X ₁)/(R.X.X ₁)/(E.X.X ₁) (D.X.X ₂)/(R.X.X ₂)/(E.X.X ₂)	Leve/ Moderada/ Alta	Poco desfavorable (0)/ Desfavorable (1)/ Muy desfavorable (2)

En los trabajos realizados por LRA se han identificado, hasta la fecha, un total de 28 patrones de deterioro. Una vez definidos los patrones de deterioro, se asigna a cada uno de ellos una reparación tipo que integre las bases de la estrategia de reparación.

4. Estrategia de reparación

Una vez llevado a cabo el estudio de documentación disponible y la evaluación minuciosa de las patologías existentes, es posible establecer estrategias de reparación que sienten las bases para la definición de las posibles propuestas de actuaciones a realizar. En este sentido, **la estrategia de actuación se basa en las conclusiones que se derivan del proceso de evaluación realizado**

previamente. En concreto, las conclusiones obtenidas pondrán de manifiesto los aspectos siguientes:

- Establecimiento de patrones de deterioro, es decir, la identificación de los daños más frecuentes y significativos sobre los que concentrar las reparaciones.
- Definición de la magnitud de riesgo para los daños identificados, a fin de establecer un nivel de riesgo basado en el índice de condición.
- Programación de la actuación en función del patrón de deterioro y la magnitud de riesgo.

La definición de los parámetros anteriores permitirá definir estrategias de reparación que darán pie a la propuesta de actuaciones de reparación. En este sentido, una

vez determinados los parámetros anteriores puede optarse por estrategias que se centren en los deterioros con una magnitud de riesgo determinada o, en otro caso, en un determinado patrón de deterioro, como pudieran ser las filtraciones al constituir uno de los mecanismos principales de deterioro existentes en el tramo soterrado de la M-30.

La estrategia de actuación, por tanto, debe englobar los conceptos de *alcance o extensión de la reparación y la urgencia o programación de la reparación.* Así, el **alcance** puede comprender desde actuaciones puntuales en zonas del túnel hasta actuaciones integrales en todo el tramo en cuestión, en las que se aborda la reparación de todos los deterioros existentes, pasando por estrategias de alcance intermedio en las que puede acometerse la reparación de todo el tramo de túnel pero limitada a uno o varios patrones de deterioro. La **urgencia** o programación de la reparación, por su parte, puede responder a estrategias de actuación de emergencia, urgente, a corto plazo, a medio plazo o dejar la actuación en suspenso a expensas de la evolución del daño.

El establecimiento de una estrategia de reparación (alcance y programación) responde, por tanto, a una evaluación de la magnitud de riesgo y la evolución estimada del deterioro, parámetros que se han definido previamente en el proceso de evaluación del estado actual. No obstante, **esta estrategia de reparación debe englobar también las conclusiones obtenidas tras el análisis de las patologías existentes** en los túneles, es decir, los patrones de deterioro.

En este sentido y como ya se ha indicado, los túneles presentan fundamentalmente una patología general relacionada con las filtraciones. Como consecuencia, la humedad relativa en salidas de emergencia, pozos de ventilación y cuartos técnicos es, en algunos casos, muy elevada, próxima a la saturación, debido a las abundantes filtraciones y a la falta

de ventilación en estos recintos. La elevada humedad en el interior de los recintos favorece los procesos de corrosión de las estructuras metálicas como escaleras, barandillas, vigas, etc.



Figura 7: Estado de barandilla en pozo de bombeo por corrosividad de la atmósfera

En el caso de las calzadas y ramales, estas filtraciones llegan en muchos casos hasta la calzada al no ser recogidas adecuadamente por los dispositivos de drenaje existentes, más concretamente por la canaleta existente en la coronación del murete de hormigón longitudinal.



Figura 8: Filtraciones a través del murete de hormigón longitudinal que llegan hasta la calzada

Teniendo esto en cuenta, la estrategia de reparación, además de definir el alcance y la programación, debe integrar las conclusiones obtenidas del estudio de la problemática.

Las **filtraciones constituyen un problema de primer orden en las estructuras que conforman el soterramiento** de la M-30: en el caso de las calzadas y ramales, el agua de infiltración de las pantallas no es

recogida adecuadamente por el sistema de drenaje existente, lo que acaba provocando que el agua llegue hasta la calzada, mientras que en las salidas de emergencia, pozos de ventilación y cuartos técnicos, la existencia de estas filtraciones unido a la falta de ventilación de los recintos genera un **ambiente de exposición muy agresivo para las estructuras metálicas existentes, agravando y acelerando los procesos de corrosión.**

Por tanto, las propuestas de reparación que se desarrollen con carácter general en el ámbito de la rehabilitación de los túneles, deberán integrar las conclusiones anteriores, planteando una reparación sistemática de todas las filtraciones existentes por medio de la obturación y canalización adecuada de las mismas mediante un sistema de drenaje eficaz y eficiente que, al mismo tiempo, sea accesible para el mantenimiento.

5. Conclusiones

En la exposición realizada en el presente documento se ha desarrollado la metodología para la evaluación de estado elaborada por LRA, así como las conclusiones más relevantes del proceso de estudio y análisis de la problemática. El proceso de evaluación y síntesis de soluciones tipo se integra en una labor mucho más amplia que abarca desde la recopilación y estudio de toda la documentación existente, pasando por la inspección de las estructuras hasta concluir en la redacción de un proyecto de rehabilitación específico.

Si bien la presente ponencia podría haber abordado otras fases del proceso anterior, se ha querido enfocar al proceso de evaluación y síntesis de soluciones, por cuanto esta fase del proceso constituye la articulación entre las fases más iniciales de estudio de documentación y realización de inspecciones, y las fases más avanzadas en las que se desarrollan las

propuestas de reparación mediante un proyecto de rehabilitación.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a Calle 30 y a EMESA por su contribución al trabajo desarrollado y su apoyo constante.

Al equipo humano de LRA por su dedicación y esfuerzo diario y su capacidad para afrontar cada nuevo reto.