

*Jornada Técnica sobre inspecciones de puentes.*

*Comité de Puentes de la Asociación Técnica de la Carretera.*

*Valencia 9 de mayo de 2011*

## ACTUACIONES DE REPARACIÓN EN LA AP-6

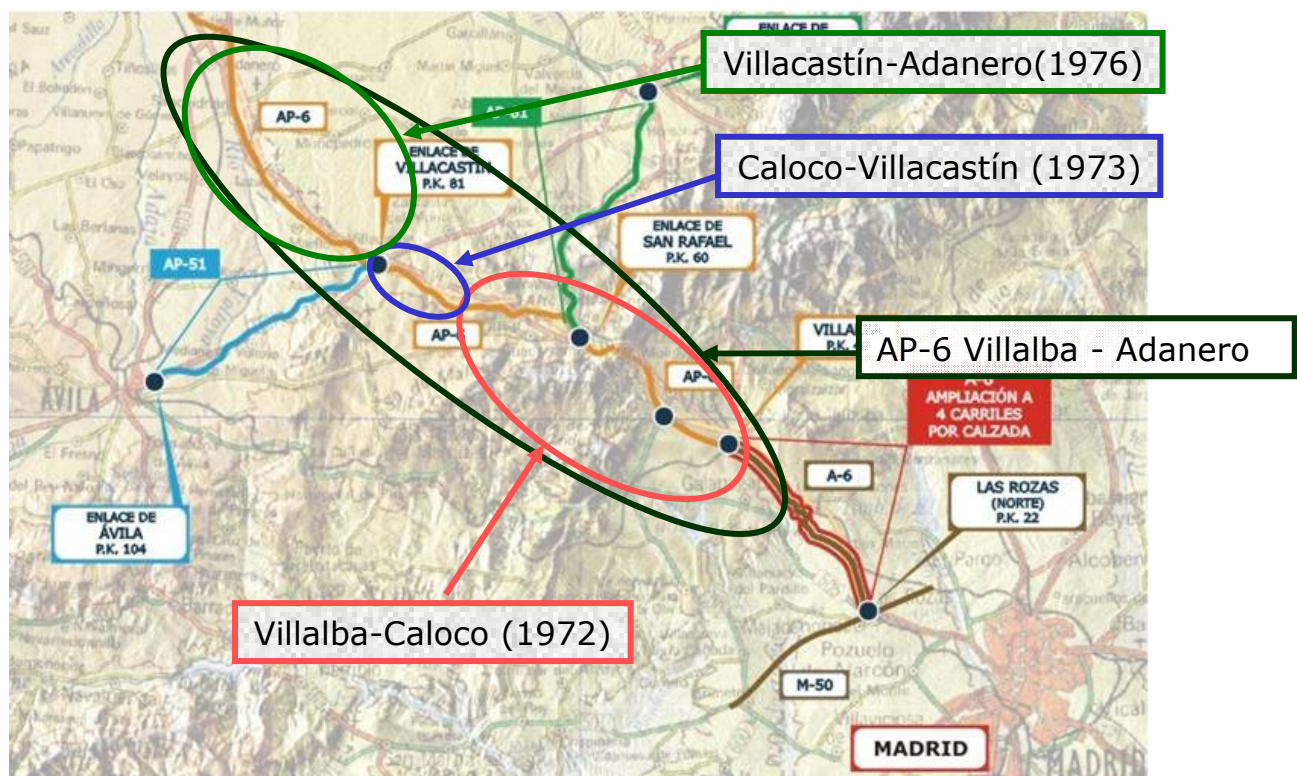
Rafael Pérez Arenas. Director de Ingeniería de Obra Civil

Santiago Rodón Ortiz. Jefe de Proyectos y Estudios Técnicos

**abertis Autopistas España**

### 1. ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA PRESENTADA

La autopista de peaje AP-6 fue una de las primeras autopistas de peaje concesionadas en España. La concesión, del año 1969, inicialmente comprendía el tramo entre Villalba y Villacastín y posteriormente fue ampliada hasta la localidad de Adanero.



Entre otras singularidades, esta autopista presenta un tramo que se puede catalogar de “alta montaña”, lo que dio lugar a diseñar y construir una serie de viaductos de gran longitud en un tramo de aproximadamente 35 kilómetros, entre los pp.kk. 46 y 80.

Otra particularidad de esta autopista es la cuestión climatológica: su localización al noroeste de Madrid, a caballo entre esta provincia y la de Segovia, obligaba al paso del Sistema Central a través de dos túneles bajo el Alto del León y a estar situada entre las cotas 950 y 1300, lo que significa que, con esta



situación, la presencia de precipitaciones en forma de nieve en buena parte del invierno y también de la primavera obligaba a incluir dentro de las necesidades de la explotación un capítulo extenso dedicado a la gestión de la vialidad invernal.

En este contexto, la gestión de la vialidad invernal se planteó, desde los primeros tiempos de la explotación de la autopista, con la consideración de que ésta debía permanecer operativa durante 24 horas los 365 días al año, lo que obligaba a dotar a los equipos de explotación de una flota suficiente de máquinas quitanieves y a diseñar un plan de **actuación preventiva**, basado en tratamientos preventivos intensivos a base de salmuera y dispersión de sal en grano –cloruro sódico y cloruro cálcico principalmente- de acuerdo a las predicciones meteorológicas, tanto externas como internas, suministradas por las estaciones meteorológicas que se fueron emplazando sucesivamente en los puntos más críticos de la vía.

Por otra parte la normativa técnica existente, los condicionantes presentes en la redacción de los proyectos y las técnicas constructivas de los años setenta del pasado siglo, no consideraban suficientemente los problemas de durabilidad en la fase de servicio, que podrían presentarse por la presencia continua de sales fundentes actuando en las

estructuras durante buena parte del año, y las nefastas consecuencias que podían derivarse de ello.

En el caso las estructuras de la autopista AP-6, todas fueron construidas in situ con hormigón armado o pretensado. Las estructuras de menor envergadura (losas, alcantarillas, pontones...) fueron proyectadas y construidas con hormigón en masa. Los pasos de mayor envergadura (estructuras de enlaces, puentes sobre cursos de agua importantes...) se resolvieron mediante estructuras de tableros de vigas pretensadas de cantos de entorno al metro, luces moderadas (menores de 20 metros) y máximo tres vanos, excepto algún caso singular de losa in situ y la pérgola de cruce de calzadas emplazada en el pk 51 de la autopista. Las estructuras singulares, es decir, los viaductos que salvan los valles presentes en el tramo (La Jarosa, San Rafael, Arenales, Sotillo y El Lavadero), se proyectaron mediante estructuras de vigas de gran canto para la época (en el entorno de los 2 metros de canto y de más de 35 metros de luz) fabricadas en la propia

obra y posteriormente colocadas mediante grúa.



Teniendo en cuenta estos antecedentes, y que ni los materiales de aquella época (hormigones, aceros), sistemas de impermeabilización dispuestos, y tratamientos de drenaje, recubrimientos, controles de ejecución, etc... son los de ahora, la presencia continua de

fundentes sobre la estructura, no sólo directamente en el tablero, sino también en los paramentos de estribos, cabeceros y fustes, comenzó a presentar sus negativas consecuencias en relativamente pocos años. Consta que ya a finales de los años 80 se detectaban puntos de óxido, tanto en vigas como en paramentos de cabeceros, pilas y estribos, y en algún caso singular la primera consecuencia era la aparición de baches en los propios tableros como consecuencia de la rotura de la losa de compresión por la expansión causada al corroerse las armaduras más someras (con menor recubrimiento) y por tanto las más expuestas a las sales.

## 2. LOS FENÓMENOS DE CORROSIÓN POR ATAQUE DE CLORUROS PROCEDENTES DE SALES FUNDENTES

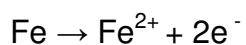
Los procesos de corrosión en armaduras, en general, pueden desencadenarse en presencia de humedad en una estructura también por fenómenos de carbonatación del hormigón, por una deficiente calidad del hormigón de recubrimiento y/o un insuficiente espesor del mismo, o por la presencia de sustancias agresivas en el hormigón, bien procedentes del exterior, bien aportadas a la masa del hormigón por sus materiales constituyentes.

En relación con los procesos de corrosión de las armaduras que se detectaron en algunas de las estructuras de la AP-6, todos son debidos a la presencia de cloruros derivados de la aplicación de sales fundentes en calzada.

Para este caso concreto de patología –corrosión por cloruros presentes en el hormigón- , cabe señalar que el acero, al oxidarse, experimenta un incremento de volumen que llega a ser de hasta más de seis veces el inicial, lo que provoca empujes en el hormigón de recubrimiento que acaba por fisurarse y, finalmente, desprenderse, como en muchos casos hemos observado.

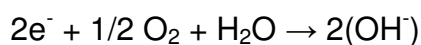
De forma simplificada, el proceso de corrosión del acero de las armaduras puede separarse en dos procesos individuales:

- El proceso anódico, en el que se produce la disolución del hierro a través de la reacción química



pasando los iones  $\text{Fe}^{2+}$  a la disolución.

- El proceso catódico, en el que el agua y el oxígeno junto con los electrones procedentes del proceso anódico, se combinan para formar iones hidróxilo, según la reacción química



Tras sucesivas etapas, los iones hierro e hidróxilo se combinan para formar teóricamente óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), aunque en la práctica los productos de la

oxidación están más o menos hidratados.

Como se puede observar, el desarrollo de estas reacciones exige la existencia de ciclos de humedad en torno a las armaduras. La presencia histórica de estos ciclos, en el caso de algunas de las estructuras de la AP-6 que fueron inspeccionadas, es evidente en los cargaderos, pilas y vigas de borde, en general como consecuencia de los escurrimientos de agua procedentes del tablero y de las filtraciones a través de las juntas existentes o las que históricamente han existido, aunque se puedan dar casos puntuales en los que se detectaron escurrimientos por defectos en el sistema de drenaje.

### **3. PRIMERAS ACTUACIONES DE INSPECCIÓN Y REPARACIÓN**

Dentro del Plan de Conservación y Mantenimiento de la autopista AP-6 quedaban planificadas la realización de inspecciones principales en las estructuras. La primera de las mismas se realizó en 1980 y ya en aquel momento comenzaron a detectarse las primeras patologías asociadas a la presencia de cloruros en la masa del hormigón. En particular no se apreciaron grandes desperfectos en las vigas pero sí inicio de corrosión en pilas y dinteles. Como consecuencia se decide actuar en la zona de juntas (la zona donde se producen más filtraciones), construyendo un canalón para evacuar las aguas lateralmente.

En la siguiente inspección principal, cinco años después, se constata que los daños en los dinteles habían progresado moderadamente, mientras que en las vigas de borde aparecen deterioros de mayor envergadura, concretamente daños por corrosión, afectando a la armadura pasiva y en algún caso puntual a la activa. De esta revisión procede a realizarse una reparación más intensa siguiendo básicamente el siguiente esquema:

- Picado de zonas afectadas con martillo neumático para descubrir armaduras.
- Sustitución y/o refuerzo de armadura deteriorada.
- Escarificado de hormigón antiguo con chorro de arena para mejorar adherencia.
- Hormigonado con mortero sin retracción y alta resistencia de la zona deteriorada.
- Realización de un recálculo de las estructuras considerando la pérdida de pretensado de la armadura activa en las vigas dañadas. Como resultado de la



misma se determina que todas las estructuras son perfectamente seguras y no es necesario reparar esta armadura.

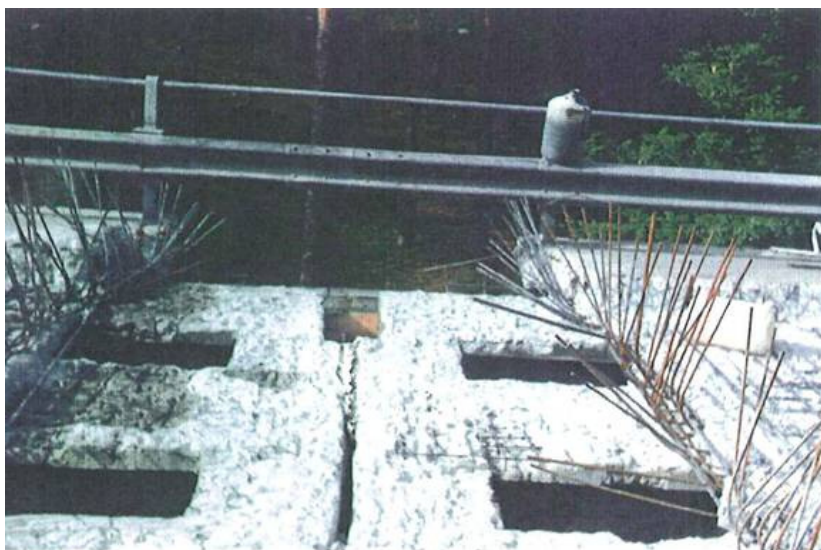


Al mismo tiempo se procede a llevar a cabo una serie de medias paliativas consistentes en:

- La impermeabilización de paramentos mediante pinturas adecuadas.
- La eliminación de mechinales y sustitución por dren longitudinal al borde de la calzada.
- La supresión de juntas en las estructuras (en viaductos, una de cada tres)
- La limpieza de dinteles y canalones de desagüe.

Se reduce la periodicidad de las inspecciones a partir de 1985, aumentándose la frecuencia de las de tipo básico (visuales) a una por año y las principales cada tres años. En cualquier caso, en los años siguientes se constata que se siguen produciendo filtraciones pero a menor escala, que los morteros aplicados presentan figuraciones en uno o dos años, que las dotaciones de pinturas anti-carbonatación son bastante escasas, y que son necesarias adicionalmente reparaciones localizadas en ciertas zonas particularmente expuestas, como las bajantes de mechinales sueltas y los canalones de recogidas de aguas.

Además, se presentan cada vez con más frecuencia afecciones a otros elementos de las estructuras, como son las aceras de los viaductos que deben ser reparadas e impermeabilizadas.



Un caso particular es el que se presentó en los viaductos de San Rafael, emplazados en el pk 59, que en el año 1993 fueron sometidos a una actuación de reparación extraordinaria al presentarse daños de mayor gravedad que los presentes en el resto de estructuras de la autopista, destacando la presencia de fisuras y baches en el firme

debidos a degradación del hormigón, filtraciones importantes en estribos y dinteles, acusada disgregación del hormigón en las aceras con corrosión severa de armaduras y desconchones y humedades en las vigas con el agravante de que las mismas, en el caso particular de este viaducto, eran de sección en forma de “V” por lo que se produjo el almacenamiento de agua en el interior de las mismas. Esto dio lugar a las siguientes actuaciones específicas: eliminación de 6 juntas calzada sentido Madrid y otras 6 sentido Coruña, sustituyendo el resto para asegurar la estanqueidad; inspección selectiva del interior de las vigas que presentaban defectos, como humedades y coqueras, y separación de los mismos; reparación exterior de las vigas; ejecución de mechinales para el desagüe interior de las vigas; reparación de las zonas de hormigón disgregado en losa y aceras y sustitución por hormigón sano; impermeabilización de losa y aceras incluyendo la unión con el pavimento para evitar filtraciones; mejora de los drenajes del tablero. Además, la actuación más significativa fue la eliminación de la capa superior de la losa de compresión mediante la, en aquella época, novedosa técnica de hidrodemolición con chorro de agua a baja presión hasta 2 cm por debajo de las armaduras, que fue seguida de la limpieza de la superficie del hormigón y armaduras y la restitución de geometría original con mortero sin retracción de alta resistencia.

Estas campañas de reparación puntual de elementos estructurales se fueron realizando a lo largo de toda la década de los años 90, principalmente en los viaductos del tramo: los

viaductos de La Jarosa, entre los años 1994 y 1996; la pérgola del cruce de calzadas en el año 1996; los viaductos de Arenales, Sotillo y Lavadero entre los años 1995 y 1998; y las estructuras del enlace del Valle de los Caídos en el año 1998 y posteriormente en el año 2003.



#### **4. LA AMPLIACIÓN DE LA AUTOPISTA AP-6 ENTRE VILLALBA Y SAN RAFAEL. NUEVAS INSPECCIONES Y ACTUACIONES EXTRAORDINARIAS**

En agosto de 2004 dieron comienzo las obras de ampliación de capacidad de la autopista de peaje AP-6 en el tramo comprendido entre Villalba y el enlace de San Rafael. Estas obras formaban parte de las actuaciones de inversión recogidas en la concesión de Castellana de Autopistas, conjuntamente con la ampliación de dos a cuatro carriles por calzada de la autopista A-6, entre el enlace de la M-50 y Villalba, y la construcción de las autopistas AP-51 Villacastín - Ávila y AP-61 San Rafael - Segovia. Dentro de estas actuaciones, en lo que respecta a las estructuras del tramo, algunas tuvieron que ser ampliadas (básicamente las del tramo entre Villalba y el enlace del Valle de los Caídos) y otras fueron de nueva ejecución (básicamente las de la tercera calzada entre el enlace del Valle de los Caídos y San Rafael). Una actuación singular fue la adecuación de la que hasta ese momento era la calzada que soportaba el tráfico en sentido Madrid, entre el enlace del Valle de los Caídos y Villalba, para poder ser operada en ambos sentidos –no simultáneamente- y convertirla así en una calzada reversible. En este tramo se localizan los viaductos de La Jarosa y San Rafael, que han sido quizás las estructuras que más han padecido los ataques de las sales fundentes. Por tanto, a la hora de acometer la



actuación de adecuación se plantea, por parte de la Dirección de la empresa, la posibilidad de actuar en estas estructuras, no sólo ampliando su sección para homogeneizarla con la sección exterior (la sección original no contaba con arcenes y sí con aceras de 1,00 m de ancho la exterior y 0,5 la interior, creando claramente en su entrada un punto crítico en lo referente a seguridad y fluidez del tráfico), sino también abordando una reparación integral de mayor intensidad de las ejecutadas hasta el momento con objeto de paliar significativamente la acción de las aguas contaminadas por cloruros.

Al mismo tiempo (años 2003-2004) se abordó una nueva campaña de inspecciones principales en las estructuras de la autopista llevada a cabo por GEOCISA, que dio como resultado un agravamiento significativo en algunas de ellas, especialmente en la del paso sobre la carretera N-VI, emplazado en el pk 66.7 de la autopista. En este caso concreto se trata de una estructura localizada en uno de los puntos de mayor cota de la autopista y con especiales características en lo que respecta a la climatología. A estos factores hay que añadir que los ataques por cloruros también se sufrieron “desde abajo”, ya que en la carretera N-VI también se aplican severos tratamientos de vialidad invernal a base de sales fundentes, y que la estructura ya presentaba daños en el tablero (de vigas pretensadas) por impacto de vehículos con exceso de gálibo. Como resultado de las inspecciones se decide en este caso acometer en primera instancia el apuntalamiento provisional de la estructura para posteriormente reconstruirla con una mayor sección, una vez que se concreta el convenio entre la Administración e Iberpistas para la ampliación de capacidad de dos a tres carriles por calzada del tramo entre San Rafael y Villacastín,



dando lugar a un proyecto individualizado y acometiéndose las obras entre 2007 y 2008.

Así pues, como resultado de la última campaña de inspecciones principales se decide realizar una serie de inspecciones extraordinarias llevadas a cabo por el Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC),

centrada particularmente en evaluar los daños por corrosión en las estructuras causados por el ataque de cloruros externos, con una intensa campaña de trabajos de campo. Estos trabajos se llevaron a cabo entre julio de 2007 y julio de 2008. Se realizan, en general, siguiendo este esquema:



- En una primera fase un equipo técnico especializado en rehabilitación y patología de la construcción realizó la inspección detallada de cada estructura objeto de estudio, así como la supervisión e inspección de calas en distintos elementos estructurales en puntos fijados en obra por los técnicos.

- A partir del análisis de los resultados obtenidos en los citados trabajos se emitió, *Nota técnica* con carácter de avance del informe definitivo.
- Paralelamente se llevó a cabo la extracción de probetas testigo de hormigón endurecido en una muestra de los distintos elementos estructurales que componen cada estructura.
- Sobre las muestras de hormigón extraídas se realizaron ensayos en laboratorio para determinar la resistencia a compresión simple y ensayos físico-químicos con objeto de determinar el alcance y la evolución previsible de los procesos de corrosión, realizando perfiles del contenido en



cloruros en diferentes muestras procedentes de vigas, pilas, cargaderos y estribos.

- Finalmente se analizaron los resultados obtenidos en los trabajos de investigación realizados, concluyendo el estudio con la redacción del Informe definitivo, cuyo objeto era exponer los resultados del estudio realizado sobre el estado de conservación de cada estructura, estableciendo recomendaciones sobre las actuaciones a seguir.

En general, buena parte de los informes concluyen en la necesidad de sustituir algunos de los elementos estructurales constitutivos de la estructura completa y, en particular, de las vigas más afectadas (normalmente las más expuestas han sido las exteriores del lado bajo del tablero de acuerdo al peralte del mismo, pero también se han dado casos de vigas interiores afectadas), así como de las losas de compresión. En concreto, en lo referente a las vigas los informes indican que debe tenerse en cuenta que la corrosión por cloruros de las armaduras puede desencadenarse en una zona de la viga y que a poca distancia la misma armadura puede encontrarse sana. Esta circunstancia, unida al importante nivel de daños de la armadura activa detectada en algunas de las vigas inspeccionadas, y al elevado contenido en cloruros en el hormigón, hizo que en opinión del consultor dichas vigas de borde debían ser sustituidas con la consideración de que existiera la posibilidad de que en una misma viga se localizaran zonas con un elevado porcentaje de armadura activa con pérdida, mientras en otra buena parte de ella se pudiera encontrar sana, y debiendo considerar también la durabilidad de la propia reparación, dificultades de ejecución, etc.

En el caso de pilas y cargaderos, en general no se recomendaron actuaciones tan drásticas de sustitución de elementos, aunque sí el refuerzo de los mismos, en especial de los cargaderos de los viaductos de La Jarosa y San Rafael y de los fustes en el caso de los viaductos de San Rafael.

Así pues, simultáneamente a la ejecución de las obras incluidas en la concesión de Castellana de Autopistas, se redactaron los proyectos y se ejecutaron las obras de reparación extraordinaria de los viaductos de La Jarosa y San Rafael de la calzada reversible, que fueron los primeros en considerar una actuación integral de reparación con la sustitución de elementos estructurales. Los proyectos redactados incluyeron las siguientes actuaciones genéricas:

- Sustitución de elementos con graves daños, de acuerdo a los informes de INTEMAC

- Reparación (tradicional) de elementos afectados.
- Comprobación de las estructuras de acuerdo a la norma vigente.
- Implantación de medidas de protección frente a corrosión: impermeabilización, colector longitudinal sobre plataforma fija de tramex, aditivos y pinturas pasivantes de protección frente a la corrosión, etc...



Además, la actuación se aprovechó para modificar la sección transversal, eliminando aceras y dotando de arcenes de las mismas dimensiones que en los tramos en tierras, ampliando dicha sección en algún caso, y se adecuaron los pretilos a la normativa vigente.

Las **medidas más significativas incorporadas en los proyectos** fueron las siguientes:

- Empleo de hormigón en los tableros HA-45/F/12. Resistente al ataque con sales fundentes.
- Imprimación con pintura pasivante e impermeabilizante en hormigón de losa y vigas nuevas. Con esta imprimación se pretende: sellar los poros de superficie, ejercer una función de tipo barrera a ión cloruro; y proteger del ataque ácido-alcalino, presentando además propiedades migratorias de los componentes activos hasta armaduras.
- Empleo de lámina de impermeabilización de betún asfáltico modificado (con elastómeros de armadura de fieltro poliéster).
- Sumideros en calzada más sistema de recogida de efluentes.

En una primera fase se redactaron los proyectos del viaducto San Rafael (calzada reversible), del viaducto La Jarosa (calzada reversible), de la estructura del pk 52+100 (calzada reversible), y del viaducto San Rafael (calzada La Coruña). Posteriormente se redactaron los correspondientes al viaducto de La Jarosa (calzada La Coruña), pérgola



del cruce de calzadas (pk 51) y estructuras del pk 60+500 (enlace de San Rafael).

## **5. ÚLTIMO CAPÍTULO: LA AMPLIACIÓN ENTRE SAN RAFAEL Y VILLACASTÍN.**



En agosto de 2008 se firmó el convenio entre la Administración del Estado e Iberpistas para la ampliación del tramo entre San Rafael y Villacastín de dos a tres carriles por calzada. En dicho tramo se localizan varias de las estructuras inspeccionadas por INTEMAC que requerían una actuación de reparación extraordinaria. Teniendo en cuenta las necesidades de ampliación de sección, en especial en las tres parejas de viaductos del tramo (Arenales, Sotillo y Lavadero), y que ya se estaba trabajando en el proyecto de reparación de los mismos, se procedió a realizar un estudio comparativo técnico económico valorando la solución de reparación de los viaductos existentes (en este caso al igual que en los viaductos de La Jarosa y San Rafael la actuación conllevaba la necesidad de sustituir elementos estructurales de envergadura como vigas y la demolición y reconstrucción de la losa de compresión del tablero) y ampliación de los mismos, con la solución de demolición y reconstrucción total de los viaductos con la sección ampliada.



Finalmente, el análisis técnico-económico concluyó en que la solución más adecuada era la de demoler los viaductos existentes y reconstruir los mismo con la sección ampliada. Como una estimación suficientemente aproximada, se puede decir el coste de demolición y reconstrucción de la estructura original era prácticamente del mismo

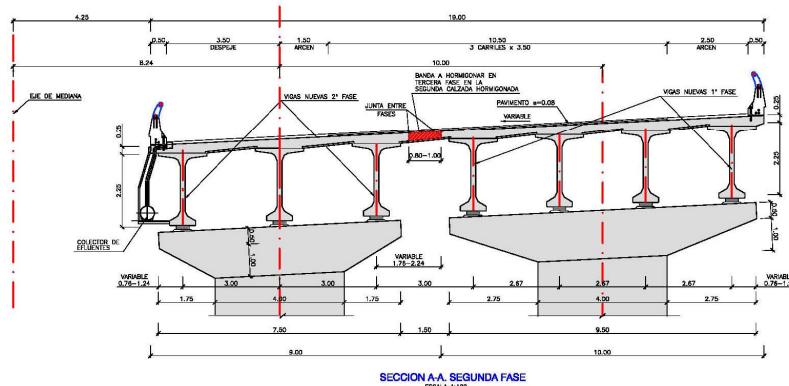
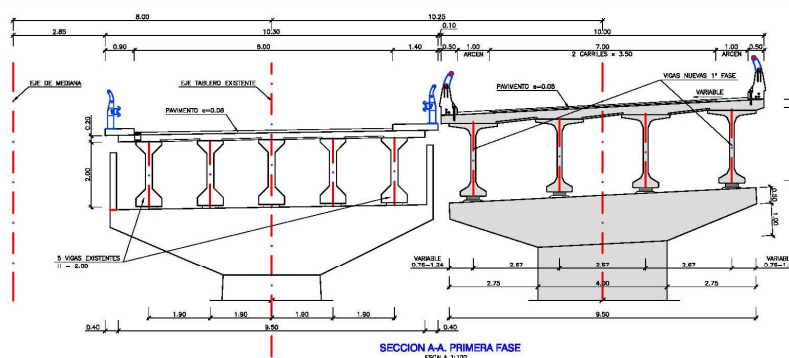
orden que el coste de reparación extraordinaria de la misma.

En la decisión primaron los siguientes factores:

- El grado de intervención en los viaductos existentes, la incertidumbre en el alcance

de la misma y su presupuesto.

- La sección de los nuevos viaductos aumentaba desde los 10,30 m de ancho hasta los 19 m (por calzada), resultando inviable una ampliación simétrica.
- Las fases necesarias para la ejecución de las obras y su implicación en la duración de las mismas en ambas soluciones.
- El comportamiento simultáneo de la estructura nueva y su ampliación (necesariamente una nueva estructura completa conectada a la existente).
- La aplicación de la normativa vigente en materia de acciones, materiales y trazado, con especial incidencia en los viaductos existentes en caso de mantenerse.



Actualmente, una vez redactado y aprobado el Proyecto de Construcción, se están llevando a cabo los trabajos de ejecución de las obras. Como aspecto singular, cabe destacar que para la construcción de los nuevos

viaductos y la demolición de todavía existentes se ha diseñado un proceso constructivo empleando como medio auxiliar un carro lanzavigas, que ya se ha empleado con éxito en la primera fase (construcción de los semiviaductos exteriores) y que en breve se utilizará para el proceso de retirada de las vigas de los primitivos viaductos.

## 6. CONCLUSIONES.

Como se ha visto, con las obras de ampliación de capacidad de la autopista contempladas en el contrato concesional de Castellana de Autopistas que se ejecutaron entre 2004 y 2008, se procedió a realizar unas inspecciones de mayor alcance que las



realizadas hasta ese momento, y que concluyeron con la necesidad de realizar en los viaductos del tramo entre el enlace del Valle de los Caídos y San Rafael actuaciones de rehabilitación integral incluida la sustitución de algunos elementos estructurales como losas de compresión de tableros o algunas vigas. Estas inspecciones se extendieron al

resto de estructuras importantes de la autopista, dando lugar también a actuaciones extraordinarias en otros puntos fuera del tramo de ampliación.

Como consecuencia de lo anterior, desde la Dirección de Ingeniería de Obra Civil de abertis autopistas España surgió la inquietud de estudiar y abordar desde distintos aspectos la problemática presentada. Así pues, desde entonces se está trabajando en los siguientes puntos:

- En las fases de proyecto y obra de rehabilitación, con el diseño de mejores materiales (hormigones de mayor compacidad, empleo de aditivos y pinturas pasivantes), mayores recubrimientos de las armaduras y más exigencias en los controles de obra.
- En el diseño de una mejor impermeabilización y el drenaje de las estructuras como medida eficaz para paliar la entrada en contacto de las aguas contaminadas con sales con la propia estructura
- En la elaboración de un inventario detallado y un plan de inspecciones adecuado a las circunstancias existentes, focalizando en la detección precoz de patologías.
- En el estudio de actuaciones de protección, por medio de sistemas de protección catódica por ánodos de sacrificio, corriente impresa o mixtos.
- En el estudio de la monitorización de los procesos de deterioro de elementos estructurales.
- En la causa propia de la patología, mediante el estudio de fundentes alternativos (glicoles, urea,...), sistemas de aspersión o microdifusión localizada de fundentes, sistemas de calorifugación de superficies, firme radiante o “road-heating” por vía

electrotérmica o geotérmica.

Finalmente se está en la labor de realizar el seguimiento de las actuaciones realizadas siendo crucial la optimización de los planes de inspección de estructuras para minimizar en lo posible tener que afrontar en el futuro actuaciones drásticas de reparación como las llevadas a cabo en el caso presentado.