

Inspección, reparación y rehabilitación de puentes y pasarelas. Una visión global

Inspection, repair and renovation of bridges and footbridges. A global overview.

Manuel Reventós Rovira^a, Jaume Guàrdia Tomàs^b

^a Administrador. Enginyeria Reventós, SL. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. mreventos@ereventos.com.

^b Responsable de Departamento de Estructuras. Enginyeria Reventós, SL. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

jguardia@ereventos.com.

RESUMEN

En la gestión de las infraestructuras es fundamental un plan de inspecciones, monitorización y mantenimiento. Aun así, cuando aparecen patologías hay que realizar una evaluación de riesgos para proponer un plan de actuación que puede incluir: la reparación, rehabilitación, recuperación, ampliación o deconstrucción de la estructura. Esto implica tener en cuenta consideraciones de seguridad, funcionalidad, sostenibilidad, durabilidad y de impacto en el entorno. A través de ejemplos de casos reales se exponen qué herramientas tenemos para realizar una buena gestión de las infraestructuras.

ABSTRACT

In infrastructure management, it is essential to have an inspection, monitoring, and maintenance plan. However, when pathologies appear, a risk assessment must be conducted to propose an action plan, which may include the repair, renovation, restoration, expansion, or deconstruction of the structure. This involves considerations of safety, functionality, sustainability, durability, and environmental impact. Through real case examples, we explore the tools available to effectively manage infrastructure.

PALABRAS CLAVE: Inspección, Rehabilitación, Monitorización, Mantenimiento, Patrimonio

KEYWORDS: Inspection, Renovation, Monitoring, Maintenance, Heritage

1. Inspección

El patrimonio de obras de paso, puentes y pasarelas de las diferentes administraciones es cada vez mayor, además cuenta con un gran número de infraestructuras construidas durante los años del desarrollismo (60s-70s), lo que significa que hay muchas estructuras de más de 50 años que empiezan a mostrar patologías por problemas de durabilidad y/o falta de mantenimiento. No son menospreciables tampoco los efectos del cambio climático o la obsolescencia funcional.

La inspección de estructuras, y en concreto de puentes, es una parte fundamental

en la gestión y mantenimiento de infraestructuras. El problema de la durabilidad es una cuestión ampliamente conocida y estudiada, y ya hace décadas que existen documentos estableciendo los criterios de inspección.

En carreteras tenemos los siguientes documentos: Inspecciones Principales de Puentes de Carretera (MOPU. 1988); la Guía de Inspecciones Básicas de Obras de Paso (Ministerio de Fomento. 2008); la Guía para la realización de Inspecciones Principales de obras de paso de la Red de Carreteras del Estado (Ministerio de Fomento. Secretaría de Estado de

Planificación e Infraestructuras. 2012). En ferrocarril también está la Instrucción sobre las Inspecciones Técnicas en los Puentes de Ferrocarril (ITPF-05). Otras administraciones también tienen sus propios documentos específicos como la “Guia per a l’emplenament del document d’inspecció principal de la gestió sistematitzada de ponts i estructures (GSPE)” de la Direcció General d’Infraestructures de Mobilitat (2020); o el “Manual para la realización de inspecciones básicas y principales de estructuras y el Catálogo de daños de puentes pertenecientes al Ayuntamiento de Barcelona” (2009).

También en el Código Estructural (2021) se incluye en el articulado el Mantenimiento de las estructuras con el mismo nivel de importancia que la seguridad de las estructuras o la gestión de la calidad. También es importante destacar que, en esta norma, que entró en vigor a finales de 2021, se indica que: “es responsabilidad de la propiedad organizar las tareas de mantenimiento”.

En toda esta documentación se definen 3 tipos de inspecciones:

- **Básica y rutinaria:** Son realizadas por personal de mantenimiento de la propiedad que es responsable de realizar las operaciones básicas vinculadas a la durabilidad y funcionalidad. Se recomienda realizarlas cada 12 – 15 meses. Son importantes ya que son las más frecuentes y deben accionar las alertas en caso de que se detecte algún elemento degradado que pueda requerir alguna actuación más importante.

- **Inspecciones principales:** Son realizadas por personal especializado y con experiencia en inspecciones de puentes, y tiene el objetivo de proporcionar una evaluación global del estado de conservación de puente. Se recomienda realizarlas cada 5 años.

- **Inspecciones especiales:** Solo se hacen bajo demanda después de una inspección previa.

En el falso túnel de la T-333 en Horta de Sant Joan, una inspección rutinaria detectó unas grietas, dieron el aviso y se realizó una inspección

especial (figura 1). En esta se vio que estaba comprometida la estabilidad del túnel, así que se procedió a realizar un desvío de tráfico de emergencia. Finalmente se constató que la estructura tenía un defecto debido a la mala ejecución y que era necesario realizar un refuerzo general. Muy probablemente, la estructura ya había mostrado síntomas previos que no habían sido detectados.



Figura 1. Vista del falso túnel durante la inspección visual (sup.) y con la obra de refuerzo acabada (inf.).

Un buen punto de partida es tener una buena gestión documental de la estructura. Esto incluye el inventario, la documentación de final de obra (as-built) y las actuaciones en la infraestructura al largo de su vida útil. Tener el archivo digitalizado con los planos y documentación antigua es una inversión necesaria para poder realizar una buena gestión.

En otro caso, en el viaducto de Quinto sobre el ffcv en la A-123 (1986), teníamos que analizar unas grietas que había en el voladizo de una pila en forma de martillo invertido (figura 2). Contábamos con los planos de proyecto y su modificado, pero no conseguíamos interpretar el motivo de las grietas, en la sección de empotramiento, longitudinales y situadas en la parte superior de la cabeza de compresión del voladizo, donde apoyaban las vigas. Fue necesario realizar varias catas y sondeos con

extracción de testigos para ver que el armado real no se correspondía con el de los planos.

Durante la obra hubo cambios que, o no se archivaron correctamente o, simplemente, se hizo mal. De las catas se dedujo que la cabeza de compresión del voladizo se había descolgado por falta de armadura de cortante (muy inferior a la de los planos) y se había perdido la mayor parte del canto mecánico, la armadura principal superior no trabajaba. El acero secundario sostenía el voladizo trabajando a niveles muy altos y se habían abierto fisuras por las que empezó a degradarse el acero. Con la pérdida de sección de la armadura cada vez se abrían más las grietas y más se aceleraba el proceso. Cuando se diagnosticó el problema ya solo se pudo cerrar el tráfico y ejecutar por emergencia su reparación y refuerzo.



Figura 2. Viaducto de Quinto. Vista de la grieta en el dintel de la pila con dianas para el seguimiento topográfico.

Por último, en el Viaducto de Osormort (situado en la C-25 entre Vic i Girona), una estructura emblemática atirantada por la parte inferior del tablero, se realizó la primera inspección especial de los tirantes después de 29 años de servicio. Como resultado se detectó corrosión avanzada en los cables por lo que se tuvo que realizar una intervención de emergencia con corte total del tráfico (figura 3).



Figura 3. Viaducto de Osormort. Imagen de la corrosión en los tirantes del viaducto.

2. Monitorización

Los equipos de monitorización son cada vez más económicos y frecuentes, y aportan información muy valiosa. Para que cumplan su función es necesario que estén correctamente diseñados, es decir, que midan datos útiles, que sean fáciles de interpretar, que tengan una frecuencia de lectura adecuada, que no haya un exceso de datos inútiles y que tengan un coste razonable con su función. Pero también igual de importante es que el personal responsable tenga capacidad técnica para interpretar los resultados y que tenga un sistema de alerta fiable. Suelen haber falsas alarmas, qué pueden ser debidas a fallos eléctricos o pérdidas de conexión con el servidor, también hay que considerar los efectos diferidos y de temperatura.

En el viaducto de Quinto anteriormente reseñado se instrumentaron las grietas en los puntos críticos mediante fisurómetros (figura 4), se establecieron límites de aviso, alerta y alarma con un protocolo de actuación para cada una. De esta forma se pudieron realizar las obras de refuerzo de las pilas con total seguridad. También sirvió para controlar el proceso de entrada de carga de la estructura de refuerzo en el que, mediante gatos, se levantó el dintel para hacer la transferencia de cargas.

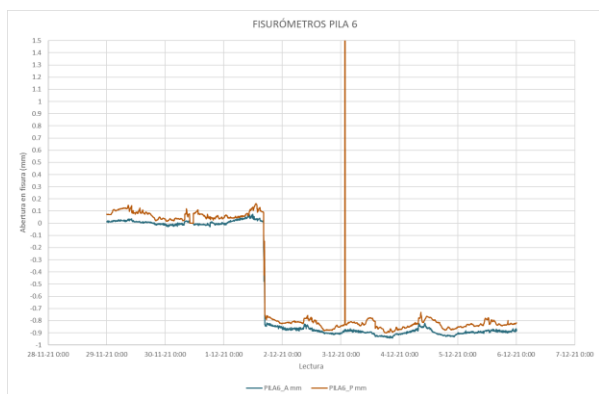


Figura 4. Viaducto de Quinto. Fisurómetro para el control de las grietas durante la obra.

El viaducto de Osormort se monitorizó durante la obra para controlar la puesta en carga de los tirantes. Y después se ha incorporado un sistema de seguimiento de tensión de los tirantes que funcionará durante el servicio.

No es el único caso en las carreteras de la Generalitat; en el puente de Nelson Mandela sobre el río Llobregat, durante la obra se implementó instrumentación embebida en tablero y arco para medir las deformaciones y tensiones en el hormigón. Ésta se diseñó para realizar el control de la ejecución y puesta en carga de la estructura. Posteriormente, la Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat compró los equipos necesarios para seguir realizando las lecturas durante la fase de explotación del puente.

El objetivo principal es tener una monitorización con un sistema de aviso para el caso de incidencias. Toda esta información sobre las deformaciones internas del hormigón durante su fase de servicio puede servir también para proyectos de investigación que permitan mejorar el diseño de este tipo de estructuras u optimizar su mantenimiento a lo largo de la vida útil.

Una tendencia que se está imponiendo es el uso más generalizado de acelerómetros. Una aplicación muy interesante para la gestión de las estructuras es utilizar su comportamiento dinámico para evaluar posibles incidencias. De la misma forma que se realiza una prueba de carga estática antes que un puente entre en servicio, se puede realizar una prueba dinámica para obtener

las frecuencias naturales de vibración reales de la estructura. Éste es el valor de referencia que hay que comparar con las siguientes pruebas dinámicas que se hagan durante el servicio de la estructura.

Este ensayo tiene interés porque es previsible que cada vez los acelerómetros serán más económicos. Actualmente ya hay equipos wireless que funcionan con baterías, son fiables y de fácil instalación (figura 5). Además, en la mayoría de los casos, para realizar un ensayo dinámico no es necesario utilizar un tren de cargas, ya que el propio tráfico de servicio puede utilizarse como carga de excitación.

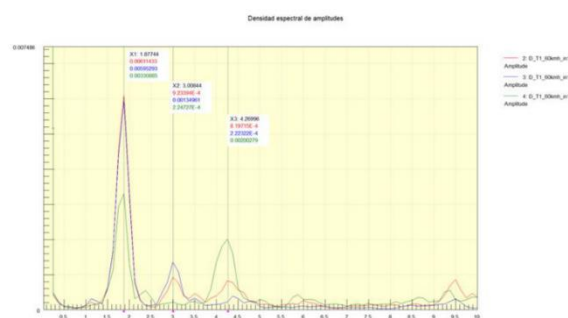


Figura 5. Gráfica con espectro de frecuencias obtenidas de una prueba dinámica en puente.

3. Sostenibilidad y resiliencia

Las obras públicas están en constante evolución por el envejecimiento, su uso y por las actuaciones de mantenimiento. Con los años, llegan al final de su vida útil y la opción más sostenible pasa por repararlas, restaurarlas, rehabilitarlas y reconfigurarlas. Muchas no son lo suficientemente flexibles para adaptarse a las nuevas circunstancias, hace falta repensarlas y rediseñarlas. Además, la sociedad está en constante evolución, los condicionantes actuales no serán los del futuro. Hace unas décadas el paradigma de movilidad eran las vías rápidas segregadas y las ciudades estaban llenas de viaductos y vías elevadas. En muchos casos eran diseños técnicamente brillantes, pero la sociedad ha cambiado y ha dado por obsoletas dichas construcciones. Hoy gran parte de las infraestructuras están realizadas y los retos a los

que nos tenemos que enfrentar son muy diferentes, por lo que el mantenimiento y la gestión son claves para garantizar su sostenibilidad.

Nos encontramos con que muchas estructuras no son suficientemente resilientes a los nuevos condicionantes que van apareciendo. Ante esta problemática, la reparación de infraestructuras se convierte en una alternativa sostenible que minimiza recursos y residuos respecto a opciones que pasan por realizar nuevos proyectos. En la reparación se pueden distinguir tres tipos de actuación: Restauración, Rehabilitación y Reconfiguración:

- En la restauración el objetivo es volver la estructura a su estado inicial. Se utilizan materiales de la misma naturaleza que en la obra original y quiere ser invisible.

- En la rehabilitación se utilizan métodos y técnicas actuales para añadir nuevas características o mejorar el comportamiento y funcionalidad.

- En la reconfiguración de una obra se genera un nuevo espacio y nuevos usos diferentes a su propósito inicial.

En una obra global normalmente hay elementos que se restauran y otros se rehabilitan, no hay que entenderlo como compartimentos estancos, sino que cada obra tiene un poco de todo según sus particularidades.

4. Reparación

Una vez detectada una o varias patologías que requieren reparación podemos diferenciar en tres casos según el nivel de intervención:

- Restauración
- Rehabilitación
- Reconfiguración

4.1 Restauración

Algunos casos habituales de restauración son las actuaciones sobre patrimonio protegido o

también las reparaciones en elementos dañados de una infraestructura.

Las dos pasarelas sobre el río Ripoll de Sabadell son del año 1964 (figura 6), son de tipología atirantada, fueron una actuación pionera; hay que tener en cuenta que el primer puente atirantado en España fue el de la Salve en Bilbao de 1972 (acueducto de Tempul aparte). En este contexto, el Ayuntamiento quería conservar su aspecto y volumetría, pero a la vez garantizar su durabilidad y seguridad. Se han restaurado las pilas y sustituido los tirantes, tablero y muertos ya que no cumplían con los estándares actuales.



Figura 6. Pasarela sobre el río Ripoll en Sabadell.

Otra obra pionera, ésta de hormigón armado, es el puente sobre el barranco de Fontfreda en Salàs del Pallars o Puente de “Los Palillos”; el puente se construyó en 1916 para restituir la carretera de Tremp a La Pobla de Segur inundada por el pantano de Sant Antoni (figura 7). El tramo quedó casi en desuso en 2005 al construirse una variante con un nuevo trazado y puente. Ahora se está restaurando al formato original para su uso como vía turística, para ello ha sido vital contar con la información de los planos originales elaborados por Riegos y Fuerza del Ebro, S.A.

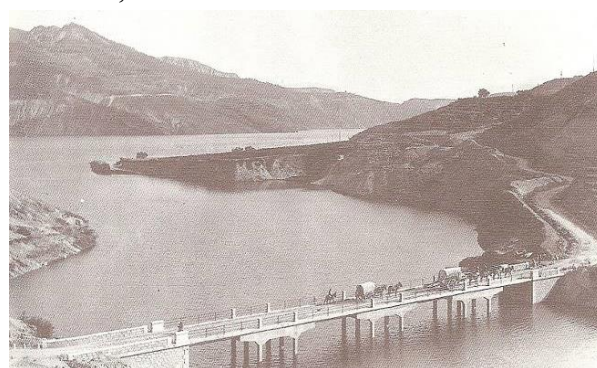


Figura 7. Puente en el pantano de Sant Antoni (Pallars Jussà).

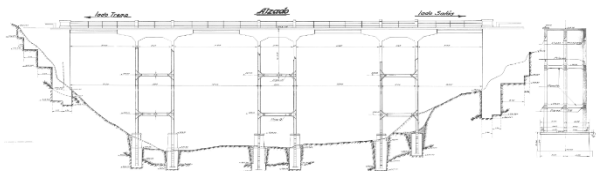


Figura 8. Plano original de 1916 y foto en su estado inicial.

El puente de la Boixera en La Pobla de Claramunt, ya era de uso peatonal. En la obra de rehabilitación se ha realizado una limpieza general, mejorado el pavimento y accesos para realzar su valor patrimonial además. Se ha reforzado la estructura mediante tirantes horizontales que cosen los arcos en transversal (figura 9).



Figura 9. Puente de la Boixera ya restaurado.

Aunque la obra no tenga gran valor patrimonial, la restauración es necesaria por cuestiones de mantenimiento. Como es el caso del Acueducto sobre la Riera de Palau donde, la falta de mantenimiento en la pintura de revestimiento de la tubería había dado lugar a la pérdida de sección y a varias reparaciones de emergencia. Hasta llegar a la conclusión de que era necesaria su sustitución.

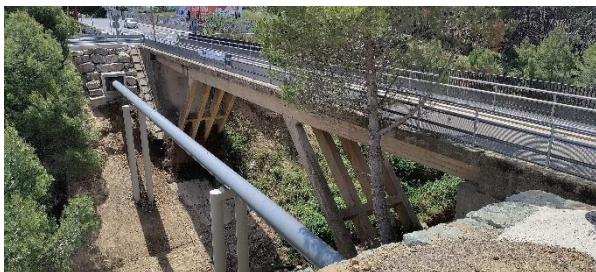


Figura 10. Acueducto sobre la Riera de Palau, Terrassa, restaurado.

En el puente de la C-58 en Monistrol de Montserrat sobre el Llobregat, la falta de mantenimiento en las juntas hacía que durante años se hubiera infiltrado agua sobre las pilas

hasta oxidar completamente su parte superior. Ha requerido realizar una completa e intensa restauración y refuerzo allí donde la armadura estaba deteriorada.



Figura 11. Puente de la C58 en Monistrol restaurado.

Otras veces la restauración es necesaria debido a un episodio accidental como en el caso del Pont Vell de Montblanc que quedó afectado por una riada del Francolí del 2019. Aquí se aprovechó para actuar a fondo en el entorno (figuras 12 y 13). O el caso del Puente de Sástago donde falló por corrosión el anclaje de una de las péndolas, lo que causó el colapso de una parte del tablero (figura 14 y 15).



Figura 12. Vista del Pont Vell de Montblanc después de la avenida del Francolí en noviembre de 2019.



Figura 13. Vista después de la restauración.



Figura 14. Puente de Sástago antes de la reparación



Figura 15. Puente de Sástago en el proceso de refuerzo de los tirantes.

4.2 Rehabilitación

Cada vez más habituales son las rehabilitaciones. Muchas infraestructuras quedan anticuadas a los estándares actuales, por una parte, hay aspectos relacionados con la seguridad como los sistemas de contención, y por otra hay aspectos funcionales, los carriles ahora son más anchos, también se tiene más sensibilidad hacia los peatones y ciclistas. Estas nuevas necesidades implican en muchos casos la necesidad de ampliación de la plataforma funcional.

A continuación, se muestran varias obras donde se amplió la plataforma del tablero del puente mediante sistemas y procesos diferentes. Según el tipo de puente y ampliación, la accesibilidad o la posibilidad de desviar el tráfico son necesarias diferentes soluciones y procesos constructivos (figuras 16, 17 y 18).



Figura 16. Ampliación del puente de Fonollosa para disponer barreras de seguridad homologadas. Se utilizó una prelosa prefabricada que permitía mantener un carril de circulación con cortes intermitentes.

Con las obras de rehabilitación no están reñidas la restauración patrimonial. En los casos de las figuras de 17 hasta 21 se ha ampliado la plataforma existente y se ha mantenido el estilo de los acabados iniciales, como pretiles de mampostería o barandillas de fundición. En estos casos, al estar en un ámbito más urbano no era necesario disponer de pretiles homologados para carreteras, y el cliente tenía una predisposición a resaltar el valor patrimonial del puente existente.



Figura 17. Ampliación del puente de Castellbell i el Vilar para añadir una acera peatonal. Desvío del tráfico y corte completo.



Figura 18. Ampliación del puente de Castellbell i el Vilar para añadir una acera peatonal. Pretiles recuperados del puente original



Figura 19. Estado actual del puente de Sant Francesc en Manresa

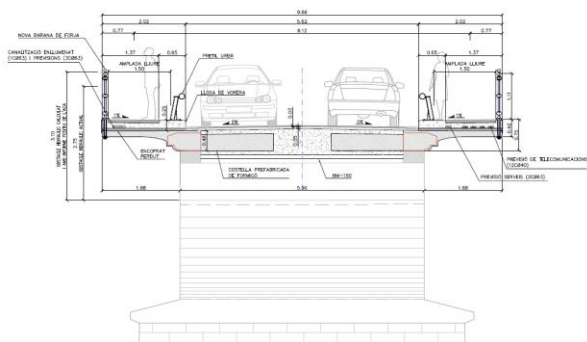


Figura 20. La ampliación del puente Sant Francesc se está realizando con costillas en voladizo de hormigón prefabricado que imitan las formas históricas y la barandilla será de fundición, como la actual.

Hay que destacar que los puentes de Sant Francesc y Castellbell i el Vilar están protegidos patrimonialmente y catalogados como Bien Cultural de Interés Local (BCIL), por lo tanto, las actuaciones tenían que conservar los elementos característicos que le dan este valor a la infraestructura.



Figura 21. Ampliación del puente de can Cartró en Subirats. La barrera es de muros que recuperaban el aspecto inicial de los pretils de mampostería.

Otro tipo de rehabilitación está relacionada con la mejora del comportamiento

estructural (figura 21). Es decir, obras que hay que reforzar por un cambio de uso o cargas, o simplemente porque se ha deteriorado la estructura existente y se plantea un refuerzo según las normativas actuales. En el viaducto de Quinto sobre el ffcv se reforzaron los dinteles de las pilas ya que no tenían suficiente resistencia debido a defectos en el armado.



Figura 22. Refuerzo de pilas y dinteles del viaducto sobre el ffcv en Quinto.

4.3 Reconfiguración

Por último, están aquellos casos donde se plantea un cambio de función o de forma sustancial. La reparación va más allá de una rehabilitación con la intención de crear un nuevo espacio o cambiar completamente la estructura inicial. En estos casos, la rehabilitación o restauración no es posible ya que los nuevos condicionantes implican la sustitución de la estructura existente. Normalmente es por cuestiones funcionales o por requerimientos de seguridad, ya que la estructura existente no resiste las solicitudes actuales.

En el puente del Petrolí en Badalona se actuó en la antigua infraestructura de origen industrial para adaptarlo al uso recreativo y de ocio como parte del paseo marítimo de Badalona. Actualmente, vuelve a necesitar una reparación debida a los daños que sufrió durante el temporal Gloria de diciembre de 2020 (figuras 23 y 24). En este caso, se mantendrá el uso de ocio, pero hay que reforzar la estructura para que resista los temporales cada vez más extremos debido al cambio climático. La nueva plataforma final será circular y se ha diseñado con criterios

hidrodinámicos, con estudios numéricos y de modelo físico a escala reducida, para que tenga un mejor comportamiento frente al oleaje que impacta en ella.



Figura 23. Pont del Petroli en Badalona. Estado actual después del temporal Gloria.

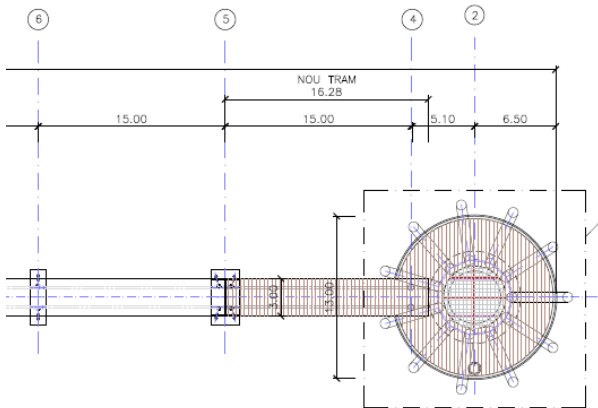


Figura 24. Pont del Petroli en Badalona. Nueva plataforma extrema circular.

También hubo una reconfiguración significativa en la reconstrucción de los puentes viario y ferroviario sobre la Tordera entre Malgrat de Mar y Blanes. En este caso la avenida del temporal Gloria en 2020 se llevó varias pilas de forma que quedaron ambos interrumpidos. En la construcción de emergencia se cambió la configuración de los puentes para aumentar significativamente el galíbo hidráulico vertical y horizontal; también se añadió un carril bici y acera en el puente viario. Es interesante ver como ante el mismo problema dos administraciones y equipos técnicos distintos ejecutaron tipologías diferentes (en sección, no en esquema principal) con una misma distribución de pilas y diferentes galíbos verticales hidráulicos, debido a los

condicionantes de ferrocarril y carretera (figuras 25 y 26).



Figura 25. Puentes ferroviario y viario sobre la Tordera después del temporal.



Figura 26. Puentes ferroviario y viario sobre la Tordera después de su reconstrucción.