

ACTUACIONES DE EMERGENCIA PARA RESTITUCIÓN DEL TRÁFICO, RECONSTRUCCIÓN Y RECALCE DE CIMENTACIONES EN EL VIADUCTO DE LA RAMBLA DE BÉJAR (MURCIA)

Luis MATUTE RUBIO

Ingeniero de Caminos
IDEAM S.A.
Director General
luis.matute@ideam.es

Ignacio PULIDO SÁNCHEZ

Ingeniero de Caminos
IDEAM S.A.
Jefe de Proyectos
ignacio.pulido@ideam.es

Virginia SÁNCHEZ MANGAS

Ingeniero Técnico de Obras
Públicas
IDEAM S.A.
Ingeniero Técnico
virginia.sanchez@ideam.es

Reyes GARCÍA ORDUÑA

Ingeniero de Caminos
IDEAM S.A.
Ingeniero de Proyectos
reyes.garcia@ideam.es

Juan Jesús ÁLVAREZ ANDRÉS

Ingeniero de Caminos
DRAGADOS S.A.
Dirección Técnica
jjalvareza@dragados.com

Carlos SEGURA PICO

Ingeniero de Caminos
DRAGADOS S.A.
Dirección Técnica
csegurap@dragados.com

RESUMEN

Con motivo de las lluvias de septiembre de 2012 en el sureste de España, la Rambla de Béjar, situada entre las localidades de Lorca y Puerto Lumbreras (Murcia), soportó un caudal de hasta 1000 m³/s, próximo al valor teórico correspondiente a la avenida de los 500 años.

Como consecuencia de dicha avenida, se produjo el colapso parcial de una de las cuatro estructuras paralelas que forman el viaducto que permite el paso de la autovía A-7 sobre la rambla, concretamente la del tronco de la calzada sentido Almería.

Las actuaciones acometidas en la rambla se han orientado en cuatro líneas principales:

- Rápido restablecimiento del tráfico.
- Reconstrucción de la estructura colapsada.
- Recalce de cimentaciones existentes.
- Acondicionamiento hidráulico de la rambla.

PALABRAS CLAVE: Socavación, avenida, pilotes gálibo reducido, recalce, cimentaciones.

1. Descripción de las estructuras

La autovía A-7 en el pk 583+650 salva la Rambla de Béjar mediante 4 estructuras, dos para el tronco de la autovía y otras dos para las vías de servicio. La longitud y distribución de vanos de las 4 estructuras es prácticamente idéntica: 16,50 + 6 x 16,85 + 16,50 m, lo que confiere una longitud total de 134,10 m.

1.1. Puente sobre la Rambla de Béjar. Calzada sentido Almería

La estructura correspondiente a la calzada sentido Almería data del año 1979 aproximadamente, siendo la obra más antigua de las 4. La cimentación de esta estructura, tanto en pilas como estribos, es directa, formada mediante zapatas. Las pilas están formadas por 3 fustes circulares

sobre los que apoya el dintel. Los muros de frente de los estribos son cerrados y disponen de muro en vuelta.

El tablero está formado por 27 vigas prefabricadas sobre las que apoya la losa del tablero. Originalmente ésta era la única calzada, de modo que había un carril por sentido y la sección transversal del firme tenía bombeo. Cuando se acometieron las obras de desdoblamiento de la carretera para su conversión a autovía, esta calzada pasó a ser de sentido único, por lo cual hubo que modificar la sección transversal del firme para que tuviera pendiente a un solo lado. A tal fin, se dispuso sobre la losa un hormigón de rasanteo (Figura 1).

En la figura 2 se muestra la planta general de las estructuras así como el alzado esquemático de la calzada sentido Almería tras su rehabilitación



Figura 1. Vista general de la sección transversal de la calzada sentido Almería

1.2. Puente sobre la rambla de Béjar. Calzada sentido Murcia y vías de servicio

La estructura correspondiente a la calzada sentido Murcia, junto con las dos vías de servicio, de acuerdo a la Liquidación Provisional, datan del año 1995. La diferencia entre la estructura del tronco de la autovía y las vías de servicio es el ancho de calzada, siendo de 11,10 m la primera y de unos 7,50 m las segundas. La cimentación de estas estructuras es indirecta, realizada mediante pilas-pilote, 3 en la estructura del tronco de la autovía y 2 pilas-pilote en el caso de las vías de servicio. La longitud estimada de los pilotes es de unos 16 m. Sobre las pilas-pilote van dispuestos dinteles sobre los que apoyan las vigas. Los estribos, en este caso, son abiertos con cimentación profunda mediante pilotes.

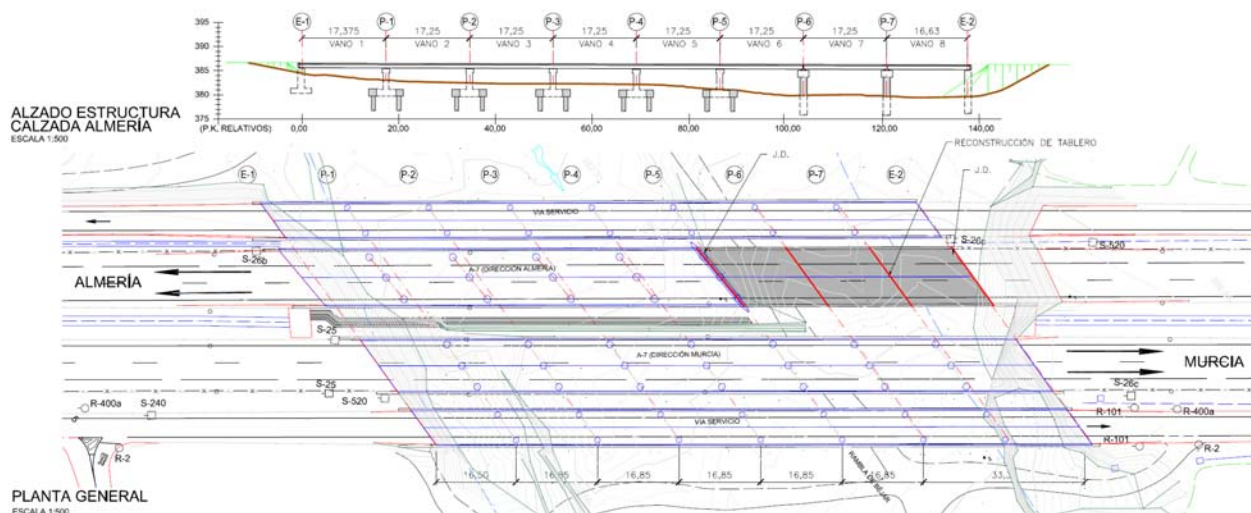


Figura 2. Alzado y planta general de la estructura

Los tableros de estas estructuras son de vigas prefabricadas doble T de 1,00 m de canto con espesor de losa de 0,25 m. La estructura correspondiente al tronco principal de la autovía está formada por 5 vigas, con un intereje de 2,55 m aproximadamente (Figura 3), mientras que los tableros correspondientes a las vías de servicio tienen 4 vigas únicamente y la separación entre las mismas es de 2,20 m.

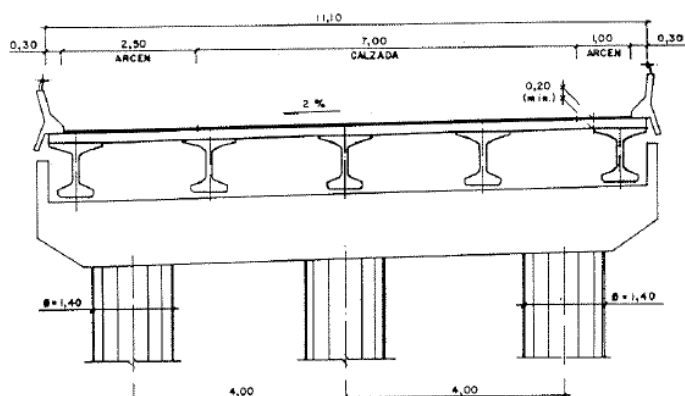


Figura 3. Sección transversal del tablero de la calzada sentido Murcia

2. Descripción de daños

Las lluvias acaecidas durante los días 27 y 28 de septiembre de 2012 en el sureste de España produjeron múltiples riadas e inundaciones en las zonas afectadas. En el caso concreto de la Rambla de Béjar se tradujo en el paso de una avenida extraordinaria de unos 1000 m³/s de caudal máximo, equiparable a la avenida de período de retorno de 500 años. Esto provocó la socavación y colapso de las pilas P-6 y P-7 y del estribo E-2 de la estructura correspondiente al tronco principal de la calzada sentido Almería; igualmente, se vieron afectados los terraplenes de acceso lado E-2 de la calzada principal y de la vía de servicio de las calzadas del sentido Almería (Figura 4). El colapso del estribo y las pilas citadas supuso, a su vez, el derrumbe y colapso de los vanos 6, 7 y 8 (Figuras 5 y 6).



Figura 4. Estribo 2 de vía de servicio sentido Almería



Figura 5. Pila 6 de calzada sentido Almería colapsada. Giros y asentos sufridos inadmisibles



Figura 6. Vistas generales de la estructura colapsada



Las cimentaciones pilotadas de las estructuras más recientes (calzada sentido Murcia y vías de servicio), apenas se vieron afectadas por la riada, no obstante se vieron descubiertas del orden de 2,5-3 m, debido a la acción erosiva del agua (Figura 7).



Figura 7. Arrastre de material del lecho aguas abajo de la estructura. Pilotes descubiertos del orden de 2,5 - 3 m

En los terraplenes y márgenes de acceso a la estructura, como consecuencia de la acción erosiva del agua, se produjo un importante descalce bajo la losa de transición del estribo 2 de la estructura correspondiente a la calzada del tronco principal de la autovía sentido Murcia (Figura 8). Como agravante de este hecho, se añade la erosión de los taludes de acceso más próximos, producido por el colapso del estribo aledaño y la acción erosiva del agua. La suma de ambas patologías producía una alta incertidumbre del comportamiento geotécnico y estructural del terraplén de acceso que impidió el restablecimiento inmediato del tráfico.



Figura 8. Vista general y detalle de estribo 2 de la calzada sentido Murcia y descalce de losa de transición

3. Descripción de las actuaciones acometidas

3.1. Restablecimiento urgente del tráfico

Tras la inspección de las estructuras y teniendo en cuenta la ausencia de daños estructurales que implicaran la necesidad de refuerzo o actuaciones de gran envergadura en las estructuras de la calzada sentido Murcia, se decidió restablecer el tráfico de ambos sentidos por dicha calzada, previa consolidación y aseguramiento de la estabilidad del terraplén de acceso erosionado por la avenida.

Como medida correctora y teniendo en cuenta la provisionalidad de la medida se realizó un muro de escollera que asegurara la estabilidad del terraplén. La zona o espacio existente bajo la losa de transición, se rellenó mediante hormigón en masa, con objeto de reducir, o prácticamente eliminar, el trabajo de este elemento dada la precaria situación en que había quedado (Figuras 9, 10 y 11).



Figura 9. Descalce en calzada sentido Murcia. Trabajos de reconstrucción provisionales de emergencia

La ejecución del muro de escollera se realizó en hormigón, aprovechando los bloques de hormigón del estribo colapsado, ante la premura de restablecer el tráfico de forma prioritaria.

Los trabajos se realizaron con la celeridad que exigían las circunstancias, de modo que el tráfico pudo restituirse por la calzada sentido Murcia, con un carril por cada sentido de circulación, unas 48 horas después de haberse producido el desastre.



Figura 10. Ejecución de muro provisional de escollera asegurando el terraplén de acceso. Aprovechamiento de bloques de hormigón del estribo colapsado para la ejecución de la protección

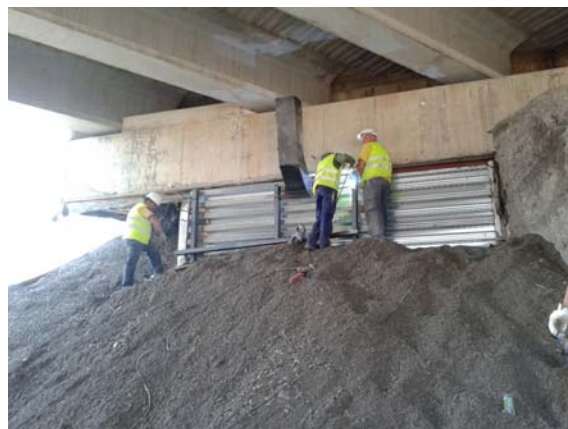


Figura 11. Relleno bajo losa de transición con hormigón en masa autocompactable. Detalle del encofrado y bebedero en el frente de estribo

3.2. Reconstrucción de la estructura de la calzada sentido Almería

Antes de iniciar los trabajos de reconstrucción de la estructura, se realizó un análisis de las posibles soluciones que optimizaran el plazo y coste de reconstrucción de la estructura colapsada, concluyendo que la mejor solución posible era rehacer el tablero con idéntico tipo estructural al existente, puesto que otras soluciones más ventajosas en tiempo y coste, penalizaban el gálibo libre de la rambla y, por lo tanto, su capacidad de desagüe (Figura 12).

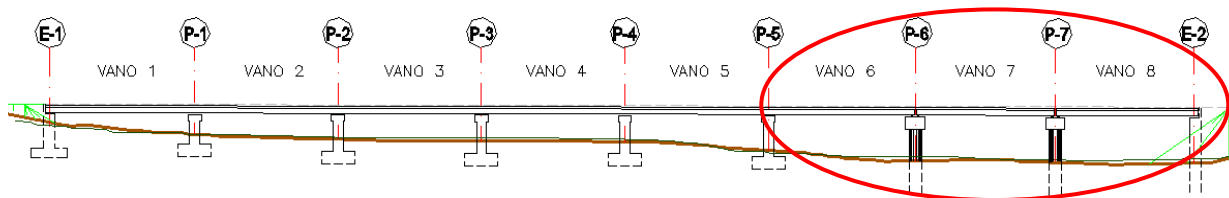


Figura 12. Alzado esquemático de la zona a reconstruir

Las nuevas pilas se han diseñado similares a las existentes en la calzada sentido Murcia, formadas por 3 pilas-pilote de diámetro 1,5 m empotradas en el cargadero de la pila, con longitud de pilotes de 18 m (Figuras 13 y 14). En el plano perpendicular a la pila, dichos elementos funcionan como un mecanismo de ménsula empotrado elásticamente en el terreno de cimentación a modo de pila-pilote. En dirección transversal los tres fustes conforman un pórtico empotrado superiormente en el dintel e inferiormente se empotran elásticamente en el terreno.

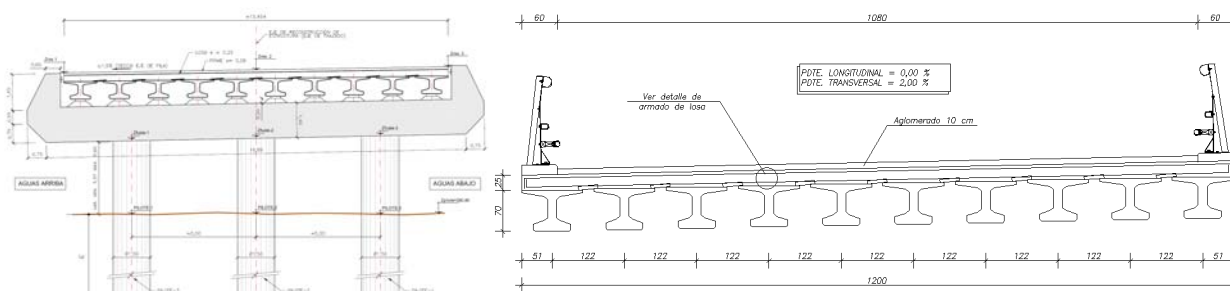


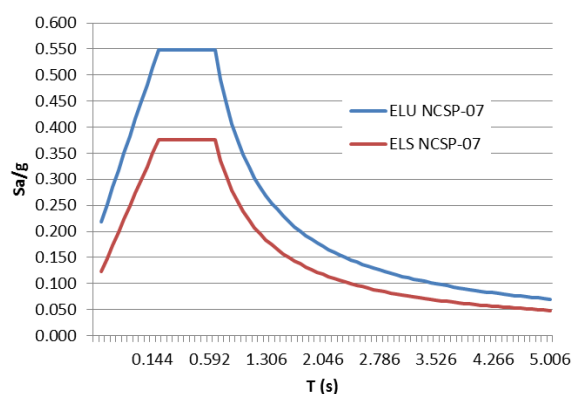
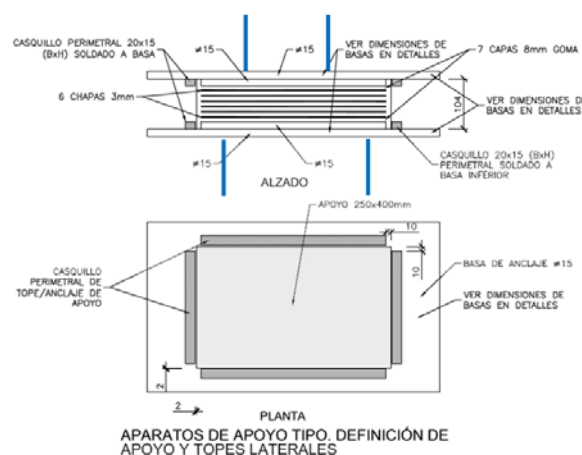
Figura 13. Alzado esquemático de las nuevas pilas y sección transversal del tablero

El estribo se ha realizado con una geometría similar a la de las pilas, conformando un estribo abierto con tres pilotes de 1,5 m de diámetro y con una longitud de 16 m. Por delante del estribo se ha dispuesto un muro de escollera que sujeta las tierras del terraplén y que, a su vez, sirve de protección del propio estribo y terraplén.

El tablero está formado por 10 vigas doble T prefabricadas con canto total de 0,90 m (viga+losa). La vinculación pila-tablero se realiza a través de aparatos de apoyo de neopreno zunchado anclados (Figura 15).

**Figura 14. Vista general de la reconstrucción de las pilas****Figura 15. Detalle de aparatos de apoyo anclados en espera**

La única singularidad que presenta el proyecto y ejecución de la estructura radica en los criterios y detalles sísmicos empleados. La estructura está situada entre los municipios de Lorca y Puerto Lumbreras, con una aceleración básica de cálculo de 0,14g de acuerdo a la NCSP-07. El coeficiente del terreno es $C=1,60$ y el factor de importancia 1,3. Para un amortiguamiento del 5%, los espectros de respuesta resultan los de la figura 16, con aceleraciones de cálculo en la zona de meseta en ELU de 0,55g.

**Figura 16. Espectro de cálculo****Figura 17. Detalle de aparatos de apoyo anclados sustituibles**

La reducida masa y el elevado número de apoyos de la estructura, pese a la flexibilidad que proporcionan las pilas-pilote, supuso que los principales modos de vibración fueran muy bajos,

situándose en la zona de meseta. No obstante, la reducida masa del tablero permite resistir las fuerzas de inercia mediante apoyos de neopreno zunchado anclados, resultando un aspecto singular el diseño de estos apoyos anclados y sustituibles (Figura 17).

El detalle diseñado en este caso consiste en situar los aparatos de apoyo entre sendas placas metálicas ancladas al dintel y a las vigas. En dichas placas metálicas se disponen unos casquillos metálicos capaces de transmitir las fuerzas horizontales del tablero a la subestructura mediante el tope/contacto de dichos casquillos contra el aparato de apoyo.

3.3. Recalce de cimentaciones de la calzada sentido Almería

La cimentación de tipo directo de la estructura original sentido Almería dejaba a la estructura expuesta frente a posibles futuras avenidas tal como había quedado patente, siendo necesario por lo tanto el recalce y protección de las cimentaciones que habían sobrevivido a la avenida.

3.3.1. Alternativas de recalce analizadas

Entre las soluciones planteadas para el recalce de las cimentaciones se han tenido en cuenta las siguientes alternativas:

- **Recalce con micropilotes y escollera de protección perimetral.** Esta solución presenta un comportamiento mixto, asignando a los micropilotes la transmisión de la carga vertical y posibles desequilibrios horizontales al terreno, mientras que la escollera perimetral de protección tendría como misión proteger el encepado reduciendo el riesgo de descalce y/o rotura de los micropilotes por el material arrastrado por el cauce.
- **Jet-grouting.** Esta solución consiste en realizar un recinto cerrado perimetral a las cimentaciones mediante columnas de jet-grouting (inyecciones a muy alta presión) de forma que se proteja el terreno de cimentación en profundidad, lo que evitaría el descalce de la cimentación. Esta solución exige un control muy exhaustivo, tanto del propio proceso de ejecución como de las posibles afecciones a las cimentaciones existentes, pues las altas presiones necesarias para romper y remover el terreno, podrían llegar a producir afecciones sobre las zapatas del tablero existente.
- **Deep Soil-mixing.** Esta técnica de tratamiento del terreno consiste en realizar un suelo-cemento in situ, que se consigue a base de una serie de perforaciones relativamente próximas a las cimentaciones (del orden de 80-100 cm) removiendo el terreno de forma mecánica y mezclándolo con cemento. La solución resulta similar a la ejecución de un suelo cemento tradicional, pero con un rotovator de eje vertical. La mejora del terreno conseguida con esta técnica resulta similar a la que se conseguiría con el jet-grouting; no obstante, esta solución elimina las posibles afecciones a las cimentaciones existentes puesto que trabaja a bajas presiones al realizarse la mezcla terreno-cemento, ya que se ejecuta de forma mecánica.
- **Recalce con pilotes.** Ante una posible situación de erosión del lecho y/o socavación, los pilotes proporcionan una gran estabilidad y capacidad portante, garantizando la estabilidad de la estructura ante el paso de una avenida extraordinaria. Esta solución tiene como limitación la capacidad de la maquinaria de pilotaje al tener que trabajar bajo el tablero, teniendo que acudir a máquinas de bajo galíbo con unas limitaciones técnicas que fijan el

diámetro máximo a Ø800-Ø850 mm, así como la propia longitud del pilote, no pudiendo sobrepasar del orden de los 12 m de perforación.

3.3.2. Descripción de la solución adoptada

De todas las soluciones estudiadas y valoradas y tras analizar los pros y contras de cada una, se adoptó como mejor solución el recalce de las cimentaciones mediante pilotes de pequeño/medio diámetro, a pesar de las limitaciones de la maquinaria a utilizar.

El recalce con pilotes de las pilas de la calzada sentido Almería que no se vieron afectadas por la riada presentó dos grandes particularidades. Por un lado, las ya descritas limitaciones técnicas de la maquinaria de pilotaje de bajo gálibo (Figura 20); y por otro lado, la conexión y transmisión de las cargas entre las cimentaciones existentes y los propios pilotes.

Los nuevos encepados están formados por 12 pilotes de Ø800 mm de diámetro y 12,50 m de longitud (Figura 18), con una capacidad estimada de 750 kN cada uno en hipótesis accidental.

La vinculación estructural entre las zapatas existentes y los pilotes se ha resuelto a través de una serie de armaduras pasantes de conexión que garantizan la transmisión de esfuerzos (Figuras 19 y 21).

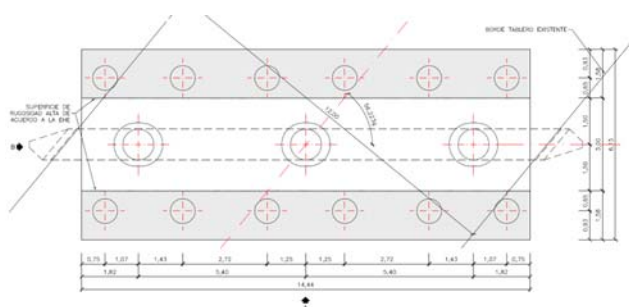


Figura 18. Esquema de planta de recalce de la cimentación

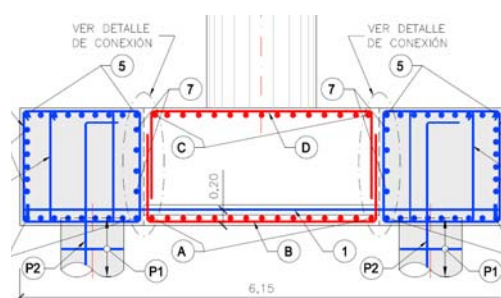


Figura 19. Detalle de armadura tipo Gewi Ø63,5mm, atravesando zapatas existentes.



Figura 20. Ejecución de pilotes bajo tablero



Figura 21. Detalle de armado de conexión cimentación existente-encepado

3.4. Acondicionamiento hidráulico de la rambla

Entre las actuaciones realizadas de reconstrucción y recalce de la estructura, era obligado acometer el acondicionamiento y mejora de la Rambla de Béjar a su paso bajo la estructura, mejorando la capacidad de desagüe y encauzamiento de la misma.

La actuación de acondicionamiento hidráulico está planteada en dos grandes líneas:

- Para garantizar la estabilidad del perfil longitudinal del terreno bajo la estructura se construyeron dos muros de estabilización de perfiles transversales a la rambla, de forma que se evite, ante el paso de futuras avenidas, la evolución del perfil general del lecho, garantizando de esta forma la estabilidad de las estructuras.
- Realización de unos muros laterales de encauzamiento que aseguren la dirección y estabilidad del cauce frente al agua en época de avenidas, evitando la erosión y afección a los estribos y terraplenes de acceso.



Figura 22. A la izquierda, vista del perfil de estabilización del cauce junto con su cuenco amortiguador. A la derecha, detalle de intersección entre muro transversal y muro lateral de encauzamiento

4. Conclusiones

Los trabajos de reconstrucción y mejora llevados a cabo en las estructuras de la A-7 pk 583+650 sobre la Rambla de Béjar han resuelto de forma pronta y efectiva la reconstrucción de la estructura colapsada.

Al mismo tiempo, la solución de recalce de las cimentaciones de las pilas de la calzada principal sentido Almería mediante pilotes ejecutados con pilotadoras de bajo gálibo, se considera una solución alternativa a las tradicionales soluciones de recalce que, ante una hipotética situación de socavación, presenta una mayor robustez y seguridad que los recalces más tradicionales con micropilotes.

Ante problemas de socavación severa como el ocurrido, es necesario remarcar la conveniencia de actuar en el entorno hidráulico, mejorando la capacidad de desagüe y estableciendo las medidas hidráulicas de protección que aseguren el encauzamiento y la estabilidad de la rambla y su entorno, especialmente en cauces virulentos como suelen ser las ramblas del Levante español.

5. Principales participantes en el proyecto y obra

Propiedad: Ministerio de Fomento. Demarcación de Carreteras del Estado en Murcia

Proyecto de actuación de Emergencia y Apoyo Técnico a la ejecución: IDEAM

Proyecto de acondicionamiento hidráulico: Próxima Ingenieros

Constructora: Dragados