

Premio a la mejor comunicación española

Acondicionamiento de cauce en el paso de la carretera N-232 sobre el Barranco de Molinás en Xert (España)

Improvement of the watercourse and road infrastructure at the crossing of N-232 road over Ravine Molinás in Xert (Spain)

Alvaro Parrilla Alcaide

Dirección General de Carreteras, MITMA

Jeronimo Vicente Dueñas

Dirección General de Carreteras, MITMA

Vicente Ferrer Pérez

Dirección General de Carreteras, MITMA

Este artículo trata de sintetizar la adaptación de la zona de paso sobre una rambla en la cuenca mediterránea de España. La infraestructura preexistente es la carretera N-232 (de dos carriles, uno por cada sentido de circulación) que comprende un antiguo puente de alrededor de 1940 (sólo para tráfico local) y un nuevo viaducto que data de 2002 (para el tráfico de largo recorrido).

Normalmente el cauce se encuentra seco, únicamente circula agua después de determinados episodios de lluvia. El 6 de marzo de 2013 la borrasca Thomas (aire cálido y lluvia intensa) añadió su efecto propio al deshielo de la nieve desde las montañas próximas (el invierno previo fue muy nivoso) lo que dio lugar, de manera imprevista, a caudales muy altos por superposición de ambos efectos.

El lecho fluvial y las obras de tierra experimentaron erosión y socavación y los muros de escollera y otras protecciones sufrieron daños considerables. Se procedió al corte de la carretera al tráfico y a la inspección de la infraestructura de forma inmediata: se adoptaron algunas medidas en el momento, para evitar la progresión de los daños.

Menos de un día después del pico de la avenida, y una vez adoptadas dichas acciones, la carretera se reabrió provisionalmente al tráfico con fases alternas de paso sobre las dos estructuras.

Se acometió una nueva definición del conjunto, que comprendía la reparación de los daños y nuevas protecciones fluviales, consistentes en un lecho de escollera en toda la longitud de la zona de paso y algo más hacia ambos sentidos. Los muros dañados se reconstruyeron con diferente sección transversal y se ejecutaron otros nuevos. También se llevaron a cabo labores de restauración medioambiental.

La afección al tráfico fue un aspecto capital que se tuvo en cuenta durante las obras: la mayoría de ellas resultaron independientes del tráfico, pero siempre se contó con este aspecto.

Desde entonces, habiendo acaecido varias avenidas (de menor enjundia que la de 2013), el comportamiento de esta zona de la carretera ha resultado satisfactorio, sin que consten daños. El artículo incluye fotos y planos generales de las obras, así como de algunos detalles.

El presupuesto de la actuación fue de aproximadamente 550.000 euros de 2013, antes de impuestos.

This paper tries to explain the adaptation of an existing crossing over a ravine in the Mediterranean area of Spain. Existing infrastructure comprises road N-232 (two lanes, one each traffic direction) including a former bridge from around 1940 (only for local transit) and a new one from 2002 (main long distance transit).

Water only flows after certain rain episodes, but commonly is a dry course. In 2013 march 6th, Thomas storm (hot air and strong rainfall) added its effect to snowmelt from nearby mountains (previous winter was a very snowy one), which led to very high and unexpected simultaneous runoff.

Earthworks and streambeds suffered erosion and scouring, and stone walls and other protections suffered severe damages. Road was immediately cut to traffic and infrastructure examined: some actions were immediately adopted to avoid progression of damage.

Less than one day after the peak of the storm, and having taken such actions, road was provisionally reopened with alternative phases of traffic pass over the two bridges.

A new design was adopted with the reconstruction of damages and a new riverbed protection comprising riprap all over the length of the crossing, and beyond (before and after). Damaged stone walls were reconstructed including a new cross section, and other new ones were built. Also some final environmental works were implemented.

Affection to traffic was also a capital aspect, taken into account all over the construction works: most of them were independent of traffic, but it always had to be taken into account.

Since then, and having experienced several severe rain episodes (not as severe as the one of 2013), behaviour of such section of the road has been good, no damage has been referred.

Communication includes photos, cross sections and elevations of the general construction works, and also some details.

The budget of the action was around 550.000 euros (before taxes) of the year 2013.

1. Introducción

El caso de estudio se ubica en la cuenca mediterránea española, muy próximo a la población de Anroig en el municipio de Xert, ubicado en el interior de la provincia de Castellón, al pie de las sierras del Maestrazgo y a unos 30 km del mar (Figura 1), en una zona en que la carretera N-232 cruza un cauce denominado Barranco de Molinás, afluente del Cervera

o Riu Sec (literalmente, Río Seco en lengua valenciana; ver Figura 3). Estos cauces sólo conducen agua de manera esporádica cuando se producen fuertes episodios de lluvia, lo que en esta región suele acaecer a finales de verano o principios de otoño.

En la década de 1940 se construyó un primer puente que cruzaba el barranco perpendicularmente, para lo que se forzaba a la carrete-

ra a realizar curva y contracurva. En 2002 se inauguró un nuevo trazado que incluye un nuevo viaducto para cruzar el cauce con un esviate de unos 45° (Figura 2 y Figura 8).

El día 6 de marzo de 2013, como consecuencia de la concatenación de una serie de episodios climáticos poco frecuentes que se refieren en adelante, se produjeron importantes daños en la infraestructura (los mayores, al menos desde que se cons-



Figura 1. Ubicación del caso de estudio, en el municipio de Xert (Castellón, España)



Figura 2. Ortofotografía del Instituto Geográfico Nacional correspondiente a 2018



Figura 3. Aspecto de la rambla a menos de 1 km aguas arriba del lugar del incidente, donde, sin caudal permanente, es cruzada a nivel por varios caminos rurales

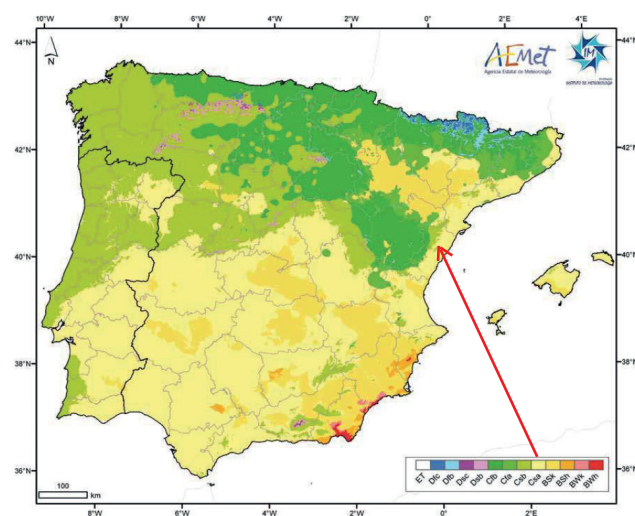


Figura 4. Clasificación de Köppen para la Península Ibérica e Islas Baleares

truyó el puente más antiguo), que se repararon buscando un enfoque a largo plazo que proteja la infraestructura.

2. Clasificación climática

Según el Atlas Climático Ibérico (publicación conjunta de las agencias de meteorología de España y Portugal, Figura 4) la clasificación climática de Köppen para esta zona es la Csa, templado con verano seco y caluroso.

Csa es la variedad de clima que abarca una mayor extensión en España, ocupando aproximadamente el 40% de su superficie (la mayor

parte de la mitad sur y de las regiones costeras mediterráneas, a excepción de las zonas áridas del sureste). Las siglas en cuestión hacen referencia a:

- C: La temperatura media del mes más frío está comprendida entre 0 y 18°C.
- s: Köppen distingue entre los subtipos Cs, Cw y Cf, conforme se observa un período marcadamente seco en verano (Cs), en invierno (Cw), o si no hay una estación seca (Cf).
- a: Temperatura media del mes más cálido superior a 22°C.

3. Antecedentes climáticos

A finales de febrero de 2013 el espesor de nieve acumulada en las sierras próximas oscilaba, según puntos de medida, entre 50 y 80 cm, el valor más alto desde 1991 (es decir, en 22 años); al final del mes se produjeron nevadas tardías. Inmediatamente después, la borrasca Thomas recorrió el litoral mediterráneo español de sur a norte y canalizó aire cálido y húmedo que originó fuertes lluvias y viento, de modo tal que, en la semana de final de febrero y primeros días de marzo llovió más que en todo el semestre anterior, con valores de



Figura 5. Sección transversal de la Carretera. A la izquierda el puente de 1940, al frente el viaducto construido en 2002

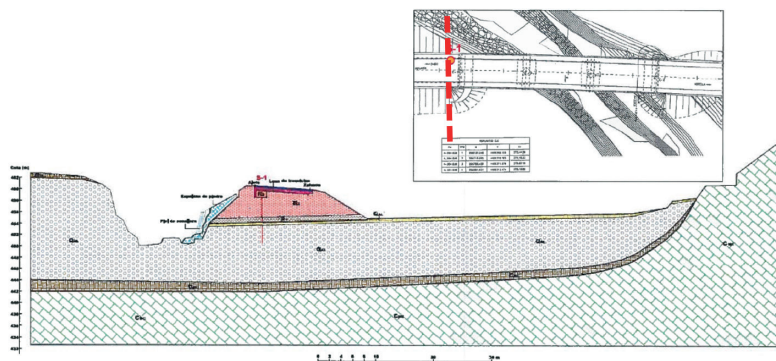
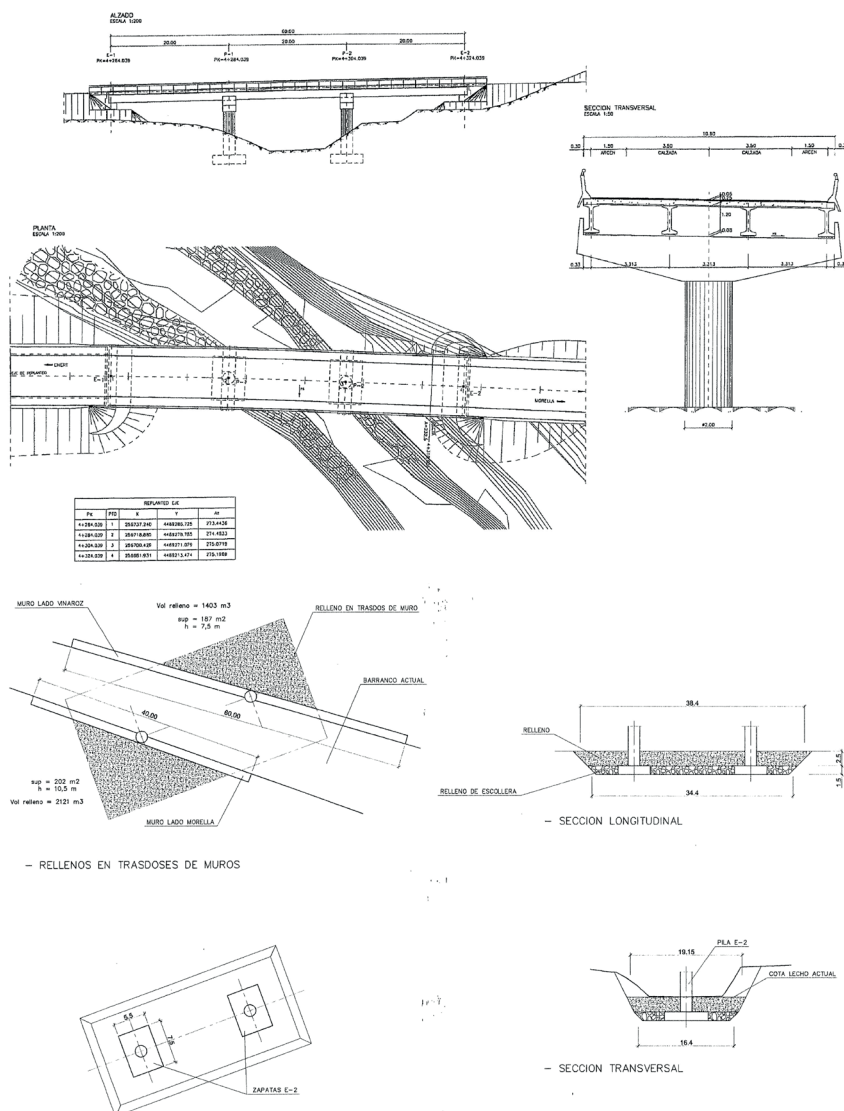


Figura 6. Corte geológico por estribo N del viaducto de 2002, situado en la margen izquierda de la rambla (autor: Luis Fernández Pérez, Geólogo de la Demarcación de Carreteras). Véase, como espaldón izquierdo del terraplén, el muro de escollera de protección



precipitación totalmente anormales para esta fecha. Así, en algunos observatorios cercanos se registró el día más lluvioso en esas fechas del año desde 1980 (es decir, en 33 años).

En diferentes observatorios cercanos se registraron valores de precipitación de entre 50 y 60 mm en 12 horas (valor que corresponde a un periodo de retorno comprendido entre cinco y diez años, $T = 5 - 10$ años, según estaciones).

La temperatura subió 10°C en dos días (tanto las mínimas, como las máximas y el valor medio) y ya

se mantuvo en valores típicos de marzo sin volver a bajar. El mes completo se cerró en valores más cálidos que el marzo promedio en $1,4^{\circ}\text{C}$.

La cantidad de nieve acumulada y los efectos de la borrasca: ascenso térmico repentino mantenido días después, junto con lluvias fuertes que duraron varios días generaron, de manera simultánea, importantes aportaciones a los cauces, tanto de lluvia como de deshielo de la nieve que dieron lugar en otros ríos próximos (con caudales permanentes y control de aforos) a niveles de agua no alcan-

zados en los veinte años previos y a la necesidad de movilización de la capacidad reguladora del sistema de embalses, por parte de la Administración Hidráulica.

4. Descripción de los daños y de la actuación

4.1 Situación inicial y descripción de los daños

Como se ha indicado en la introducción a este documento, el caso de estudio se ubica en la región mediterránea, en el municipio de Xert ubicado en el interior de la provincia de Castellón, al pie de las sierras del Maestrazgo y a unos 30 km del mar (Figura 1). La carretera N-232 comunica Vinaroz con Santander y presenta, en esta zona, sección de carretera convencional de dos carriles, uno para cada sentido de circulación, más un arcén a cada lado (Figura 5).

En la década de 1940 se construyó un puente que cruza el Barranco de Molinás de forma perpendicular (Figura 12), para lo que se forzaba a la carretera a realizar curva y contracurva. En 2002 se inauguró un nuevo trazado (Figura 9), de mejores características geométricas, en el que se incluyó un nuevo viaducto que cruza el cauce con un esviaje de unos 45° (Figura 2 y Figura 8) y que deja el trazado anterior únicamente para tráfico local.

El Barranco de Molinás, afluente del Río Seco, sólo conduce agua de manera esporádica cuando se producen fuertes episodios de lluvia, lo que en esta región suele acaecer a finales de verano o principios de otoño. A finales del invierno (6 de marzo de 2013), como consecuencia de la concatenación de los episodios climáticos referidos, la rambla condujo simultáneamente

caudales de escorrentía por precipitación en forma de lluvia muy cuantiosa y además de deshielo de la nieve acumulada en la sierra, y produjo importantes daños en la infraestructura (los mayores, al menos desde que se construyó el primer puente, alrededor de 1940).

La rambla se encaja en un nivel de gravas con cementación calcárea, bastante competente, de unos 12 a 15 m de potencia que se apoya sobre un horizonte de calizas micríticas y margocalizas grises (Figura 6)

La obra de 2002 construyó un muro de escollera en el talud junto al estribo norte del viaducto (izquierda del terraplén en la Figura 6) y ejecutó una protección del lecho

de la rambla con escollera de planta rectangular que comprende, en su parte central, la sombra del viaducto (Figura 7), la cual se cubrió en superficie con unos decímetros de zahorra artificial por regularidad final del cauce (Figura 9).

La avenida del 6 de marzo de 2013 (madrugada del día 5 al 6) provocó la caída del muro de escollera de protección del estribo norte del viaducto de 2002, lo que dio lugar a grietas y asientos en el cono de tierras de dicho estribo; pese a ello, el mencionado viaducto no sufrió daños estructurales (Figura 8, Figura 9 y Figura 10). Además se produjo y una fuerte erosión en el cimiento del estribo sur del puente de 1940, que puede cifrarse entre

60 y 75 cm y que sirvió como cauce de aguas bajas (Figura 13) una vez pasado el pico de la avenida principal (ver Figura 11 y curvas de nivel en Figura 8).

Como actuaciones de las primeras horas se procedió a cortar el tráfico, a inspeccionar la infraestructura y su entorno y a extender láminas impermeabilizantes (que hubo que fijar convenientemente al terreno para que no se las llevara el viento) que tratasen de impedir la entrada de más agua de lluvia por las grietas del cono de tierras de la estructura de 2002, así como a reforzar con hormigón la erosión del cimiento y el estribo sur del puente de 1940.

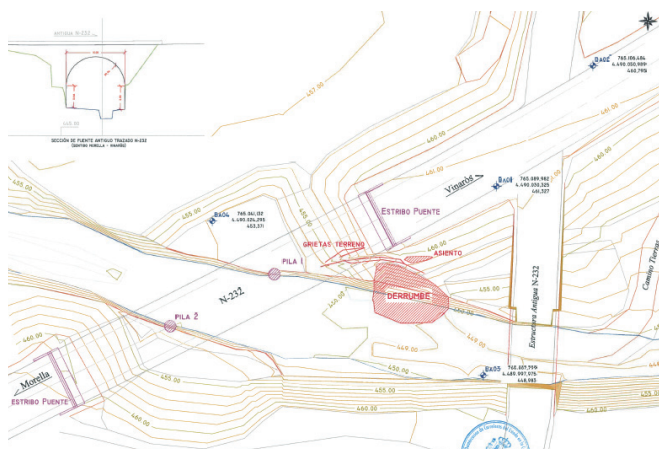


Figura 8. Avenida del 6 de marzo de 2013: planta de daños



Figura 9. Fotografía de 2002: las obras apenas unos días antes de su apertura al tráfico



Figura 10. Fotografía del 6 de marzo de 2013, unas tres horas después del paso del pico de la avenida: observese la caída del muro de escollera de protección del estribo y la poza de socavación en la margen contraria



Figura 11. Fotografía del 6 de marzo de 2013, unas tres horas después del paso del pico de la avenida: caída del muro, grietas y asientos en cono de tierras del estribo norte del viaducto de 2002 (a la izquierda) y erosión en estribo sur del puente de 1940 (a la derecha de la imagen), que a partir de entonces empezó a funcionar como cauce de aguas bajas



Figura 12. Imagen del 12 de marzo de 2013: seis días después del paso de la avenida, el cauce vuelve a estar casi seco, el tráfico se ha desviado por el puente de 1940 y permanece la lámina impermeable para evitar la entrada de lluvia por las grietas en el cono de tierras del viaducto de 2002



Figura 13. Imagen del 12 de marzo de 2013: seis días después del paso de la avenida; socavación del cimiento del estribo S del puente de 1940 y generación de cauce de aguas bajas en el nivel de gravas con cementación calcárea, de entre 60 y 75 cm de profundidad

Inmediatamente después se iniciaron las obras de reparación, enfocadas como de búsqueda de una mejora respecto de la situación inicial, que pudiera hacer frente a las cada vez más frecuentes y violentas avenidas que se producen en la zona, siempre de acuerdo con los criterios de la Administración Hidráulica. El tráfico hubo de desviarse intermitentemente por el puente de 1940 y por el de 2002 (bien por los dos, o por un solo carril en cada uno de ellos, según fases de ejecución).

4.2 Obras ejecutadas tras la avenida

Inmediatamente tras las primeras inspecciones y actuaciones de urgencia ya descritas, se definieron nuevas obras que supusieran una mejora real respecto de la situación preexistente.

Las nuevas obras consistieron principalmente en la estabilización del estribo del viaducto de 2002 mediante la construcción de un nuevo muro de escollera, la ejecución de protecciones frente al riesgo de avenidas en el cauce de la rambla (lecho de escollera), la

restitución de las afecciones causadas al cauce y al entorno por las necesidades de acceso, la restauración ambiental de las márgenes y la restitución del tráfico de la carretera, una vez finalizadas las obras (Figura 14).

El nuevo muro de escollera colocada se construyó en la margen izquierda en varias etapas, como muro de sección variable (para adaptarse a la compleja geometría del emplazamiento) con ma-

yores dimensiones que el preexistente; llega a alcanzar una altura máxima de 8 m y un espesor de hasta 3,5 m.

Posteriormente se reparó el cono de tierras y se extendió tierra vegetal. Se cuidó especialmente la inserción del muro en la protección del lecho (ambos construidos con escollera) que se describe más adelante (Figura 15), así como de disponer espacio libre durante la ejecución de las obras para la posi-

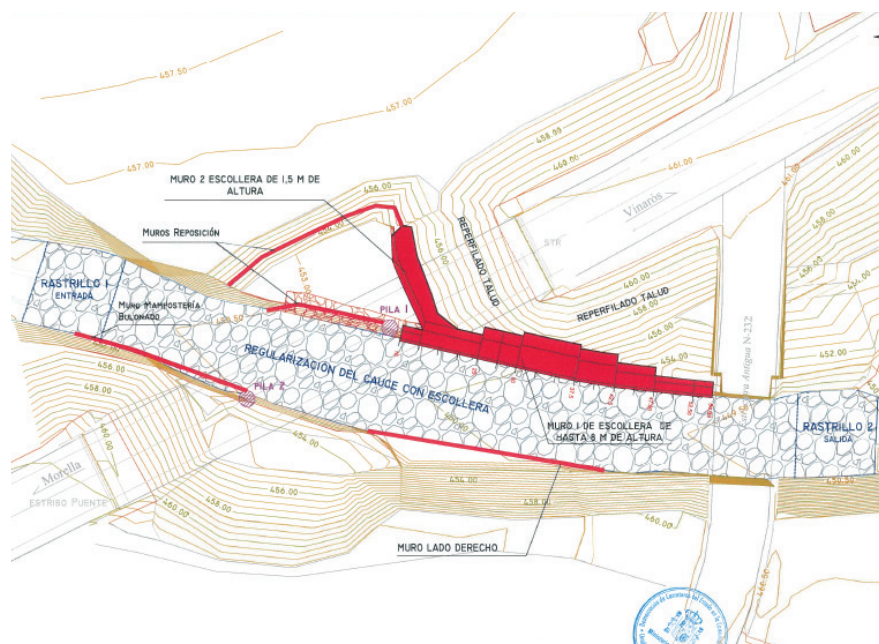


Figura 14. Planta de las obras ejecutadas

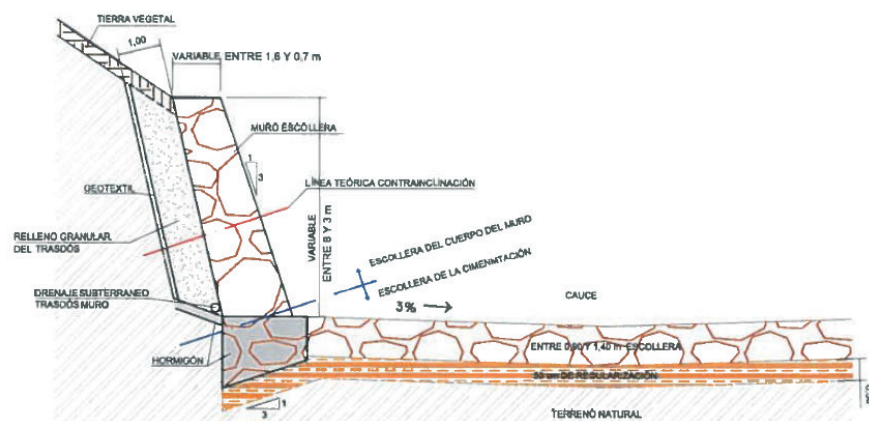


Figura 15. Detalle de inserción del muro de escollera en el lecho del cauce (ver además la Figura 19)

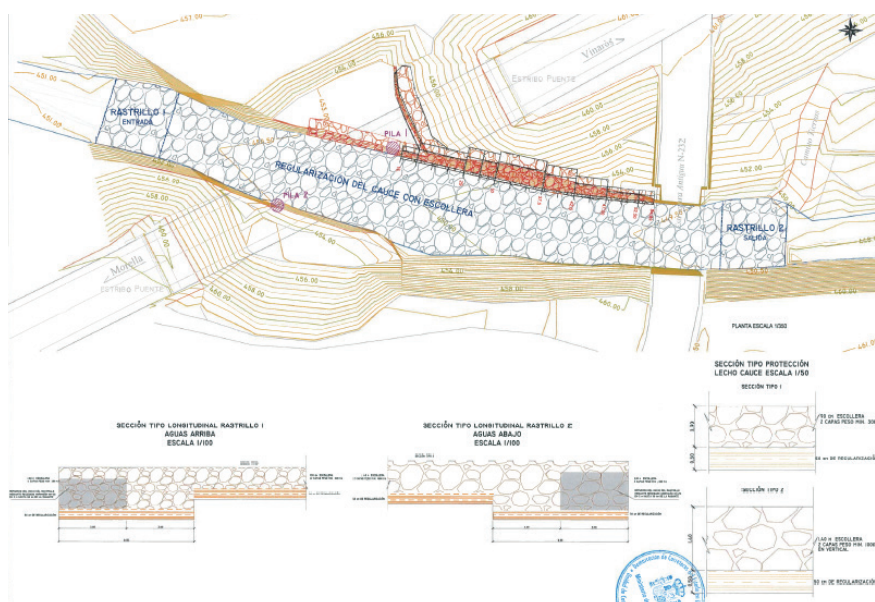


Figura 16. Planta de protección del cauce con lecho de escollera y secciones tipo

ble evacuación de una nueva avenida, que pudiera acaecer de manera simultánea a la construcción.

En la margen derecha se reforzó con bulones un muro de mampostería preexistente que sufrió pocos daños y se construyó un nuevo tramo de muro de esta tipología hacia aguas abajo.

Se protegió con escollera todo el lecho del cauce en una longitud de unos 130 m, con una anchura comprendida entre 8 y 10 m. El detalle de dicha actuación consistió en la regularización y limpieza del fondo de la

rambla (saneamiento de al menos 50 cm) y en la posterior colocación de un manto de escollera de espesor variable comprendido entre $e = 90$ cm con $W = 300$ kg de peso mínimo y $e = 140$ cm con $W = 1000$ kg de peso mínimo.

La actuación se limita hacia el E y el O, por rastrillos de entrada y salida que son 1 m más profundos que el encauzamiento y presentan una longitud $L = 6$ m; de estos rastrillos se hormigona la mitad exterior, desde la solera hasta alcanzar una cota 50 cm inferior a la del lecho del cauce (Figura 16).

El comportamiento de la obra observado hasta la fecha ha sido muy satisfactorio. Aunque no se han vuelto a producir los caudales de 2013, en estos últimos años han tenido lugar algunas otras avenidas importantes, sin que la infraestructura haya sufrido daño alguno.

Las fotografías con las que concluye este artículo, dan buena cuenta de la ejecución de las obras (Figura 17 a Figura 21) y de su aspecto transcurridos ya más de ocho años desde su conclusión (Figura 22 y Figura 23).

5. Necesidades de materiales de préstamos y canteras. Presupuesto de la actuación

5.1. Necesidades de materiales de préstamos y canteras

El material de cantera más utilizado fue la escollera, de la que se emplearon más de 2.500 m^3 , algo más de la mitad con peso $W > 300$ kg y el resto con peso $W > 1000$ kg.

Además se utilizaron gravas y materiales granulares limpios de tipo suelo, como, transiciones, materiales de filtro, apoyo y restauración geométrica de superficies, en un volumen ligeramente superior al de la propia escollera.

5.2. Presupuesto de la actuación

El presupuesto de ejecución material de la actuación fue de aproximadamente 550.000 euros de 2013, sin incluir tasas ni impuestos. ❖



Figura 17. Primera etapa de la reconstrucción del muro de escollera en el estribo norte del viaducto de 2002



Figura 19. Detalle de inserción de muro de escollera y semisección del lecho del cauce (ver además la Figura 15)



Figura 18. Trabajos para restitución de cauce por erosión en estribo S del puente de 1940. Se trata de una fase previa al escollero del lecho



Figura 20. Extendido de tierra vegetal en coronación del muro y cono de tierras del estribo (fase compatible con el paso del tráfico por el viaducto)



Figura 21. Aspecto de las obras, únicamente a falta de ejecución del rastrillo de entrada



Figura 22. Vista general de las obras, a los siete años de la incidencia (agosto de 2020)



Figura 23. Vista de los dos puentes desde el rastrillo de salida (aguas abajo) en agosto de 2020