

REPARACIÓN Y ADECUACIÓN SÍSMICA DE LOS VIADUCTOS SOBRE EL RÍO GUADALENTÍN TRAS EL TERREMOTO DE LORCA DE 2011

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**Helder FIGUEIREDO**

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Ingeniero de Proyectos

helder.figueiredo@ideam.es**Rosa DÍAZ PÉREZ**

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Ingeniero de Proyectos

rosa.diaz@ideam.es**Jorge NEBREDÁ SÁNCHEZ**

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Ingeniero de Proyectos

jorge.nebreda@ideam.es

RESUMEN

El pasado 11 de mayo de 2011 se produjeron dos sismos en la localidad de La Hoya, en Murcia. El Municipio de Lorca resultó especialmente afectado y con ello los viaductos sobre el río Guadalentín situados en la A-7 en el p.k. 594+000.

Dichos viaductos, si bien atienden a dos épocas de construcción diferente, presentan la misma tipología de tableros de vigas doble "T" del entorno de los 24,00 m de luz y pilas de tipo pórtico con tres fustes de tipo pila-pilote. El viaducto sentido Murcia es curvo con casi 388 m de longitud y 16 vanos. El viaducto sentido Almería es de planta recta y pilas ligeramente esviadas. Tiene 226 m de longitud y 14 vanos.

Los daños sufridos se concentraron fundamentalmente en el tablero dirección Almería. Entre los desperfectos detectados se encontraron aberturas de juntas de dilatación, desplazamientos de aparatos de apoyos de neopreno zunchado, rotura de tapes laterales de pilas y estribos y la rotura de tramos de barrera.

La diferencia entre los daños manifestados entre ambas estructuras se ha atribuido a los siguientes aspectos contemplados en la calzada dirección Murcia: aparatos de apoyo más altos y, por tanto, más flexibles; aparatos de apoyo anclados; juntas con continuidad de losa y, por tanto, mayor monolitismo de la estructura; mayores holguras de construcción entre elementos.

La actuación llevada a cabo en las estructuras ha sido dotar a la estructura de los mecanismos resistentes frente al sismo que aseguren el comportamiento del tablero frente a la subestructura. Con carácter general, las actuaciones llevadas a cabo han sido:

- Sustitución de apoyos en la estructura correspondiente a la calzada dirección Almería. Nuevos aparatos de apoyo anclados.
- Ejecución de riostras en ejes de apoyo.
- Ejecución de tope sísmico transversal.
- Eliminación de juntas de dilatación.
- Aseguramiento de holguras en juntas transversales y en elementos transversales.

PALABRAS CLAVE: Lorca, terremoto, sismo, adecuación sísmica, sustitución de apoyos

1 Descripción de las estructuras

1.1 Puente sobre el río Guadalentín. Calzada sentido Almería

El viaducto sobre el río Guadalentín, en su calzada sentido Almería, se trata de un puente recto ligeramente esviado, de casi 336 m de longitud, formado por un tablero de vigas de 14 vanos isostáticos iguales, con luces próximas a los 23,50 m.



Figura nº 1. Vista general del tablero de la calzada sentido Almería.

La tipología de las pilas se corresponde con una pila de tipo pórtico formada por 3 pilas-pilotes, siendo el diámetro de los fustes de $\varnothing 1,25$ m.

La sección transversal del tablero se compone de 5 vigas prefabricadas “doble T”, de unos 1,25 m de canto con una losa de compresión de 0,25 m de canto. El ancho total del tablero es de unos 11,10 m, con un inter-eje de vigas estimado de unos 2,5 m, disponiendo de dos vigas de borde, una en cada lateral.

El puente tiene 6 juntas de dilatación, dos sobre estribos así como sobre las pilas P3, P6, P8 y P11, existiendo continuidad de losa en el resto de pilas del viaducto.

1.2 Puente sobre el río Guadalentín. Calzada sentido Murcia

El viaducto sobre el río Guadalentín, en su calzada sentido Murcia, se trata de un puente curvo de casi 388 m de longitud, formado por un tablero de vigas de 16 vanos isostáticos iguales, con luces próximas a los 24,10 m. El trazado en planta es curvo, con una pendiente longitudinal cercana al 3,50 %, siendo el estribo E-1 (estribo lado Almería) el punto alto del tablero.



Figura nº 2. Vista general del tablero de la calzada sentido Murcia.

Los estribos son abiertos, formados por un cargadero cimentado de forma indirecta mediante 3 pilotes de $\varnothing$ 1,50 m de diámetro. La parte superior de los pilotes se realizó mediante un encofrado tradicional, siendo su diámetro de $\varnothing$ 1,40 m. La tipología de las pilas se corresponde con una pila de tipo pórtico formada por 3 pilas-pilotes de $\varnothing$ 1,40 m en su alzado visto y de $\varnothing$ 1,50 m de diámetro en la zona del pilote.

El tablero está formado por 16 vanos isostáticos de unos 24,10 m de longitud. La sección transversal del tablero se compone de 5 vigas prefabricadas “doble T”, de 1,20 m de canto con una losa de compresión de 0,24 m de canto. El ancho total del tablero es de 11,10 m, con un inter-eje de vigas de 2,485 m, disponiendo de dos vigas de borde, una en cada lateral. El puente tiene 10 juntas de dilatación, dos sobre estribos así como sobre las pilas P1, P3, P5, P6, P7, P9, P11, P13 y P15, existiendo continuidad de losa sobre las pilas restantes del viaducto.

2 Descripción del sismo de Lorca del 11 de mayo de 2011

Dentro de los trabajos generales de actuación en los viaductos, se realizó un análisis del sismo ocurrido a partir de los datos recogidos por los acelerogramas registrados por el IGN, correspondientes a tres direcciones ortogonales entre sí, norte-sur, este-oeste y vertical.

Del análisis de los datos, se aprecia que la dirección predominante fue la norte-sur, con **aceleraciones pico del orden de 0,36g**, mientras que, **en sentido perpendicular**, las máximas aceleraciones son de **0,12g**. En cuanto a la componente vertical, se han alcanzado extremos de **0,12g**.

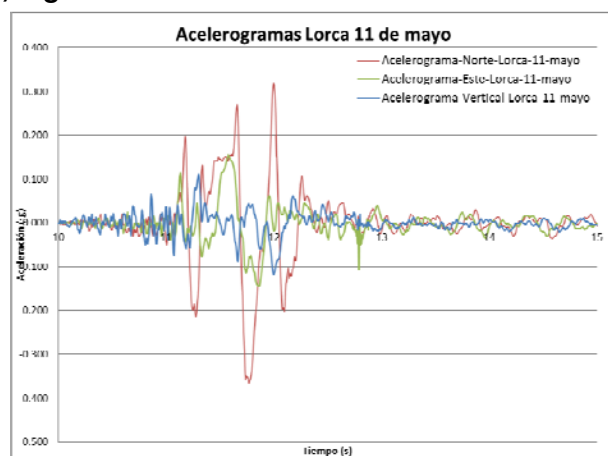


Figura nº 3. Acelerogramas norte, este y vertical registrados en Lorca el 11 de mayo entre los 10 s y 15 s tras el comienzo del sismo.

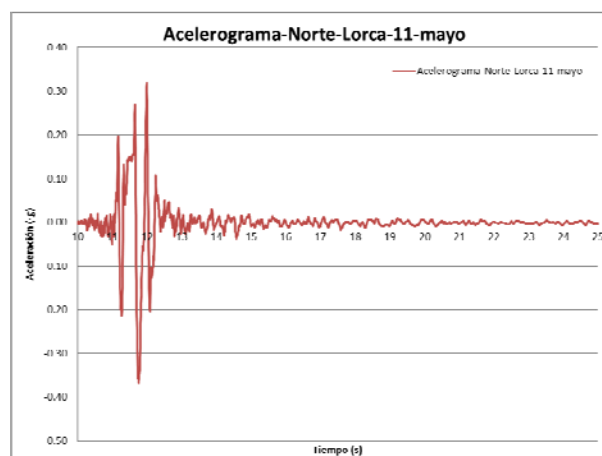


Figura nº 4. Acelerograma norte entre los 10 s y 25 s tras el comienzo del sismo.

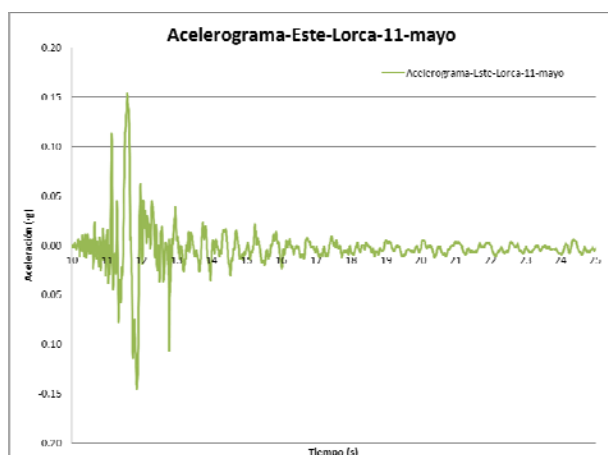


Figura nº 5. Acelerograma este entre los 10 s y 25 s tras el comienzo del sismo.

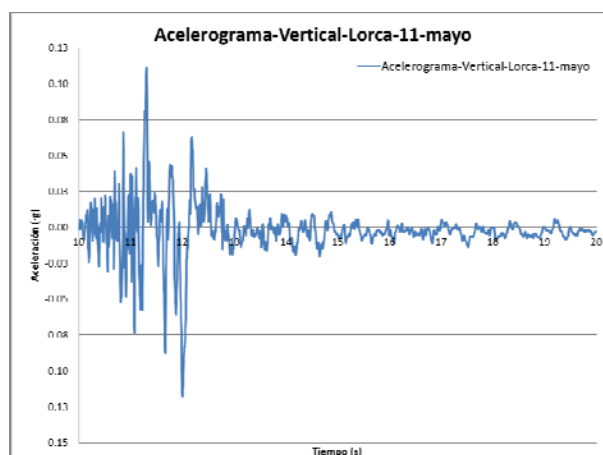


Figura nº 6. Acelerograma vertical entre los 10 s y 25 s tras el comienzo del sismo.

A partir de los acelerogramas registrados se procedió a obtener el espectro de respuesta correspondiente con objeto de poder analizar la respuesta estructural del sismo ocurrido, así como poder comparar con los espectros de cálculo particulares propuestos en la normativa histórica y vigente.

La obtención del espectro de aceleraciones a partir de los acelerogramas registrados se realizó resolviendo la ecuación general del movimiento de un oscilador simple sometido a una excitación en la base, caracterizada por una aceleración $a_g(t)$, es decir, el acelerograma.

Si x es el movimiento relativo del cuerpo respecto al terreno, se tiene:

$$m \cdot (a_g(t) + \ddot{x}(t)) + c \cdot \dot{x}(t) + k \cdot x(t) = 0$$

Dado que el amortiguamiento y la rigidez pueden expresarse en función de la masa y de la frecuencia propia ($c = 2 \cdot \xi \cdot \omega \cdot m$; $k = m \cdot \omega^2$; $\omega = 2 \cdot \pi / T$), se llega a la siguiente expresión:

$$\ddot{x}(t) + 2 \cdot \omega \cdot \xi \cdot \dot{x}(t) + \omega^2 \cdot x(t) = -a_g(t)$$

Como se puede observar, la respuesta del sistema sólo depende del amortiguamiento relativo (generalmente se toma un 5% para la normalización de los espectros) y de la frecuencia propia (o sea, del periodo). Sobre la resolución numérica del sistema, no parece necesario entrar en detalles. Basta con decir que, ya que el acelerograma se define de forma discreta, no existe una solución analítica sino numérica, mediante métodos paso a paso.

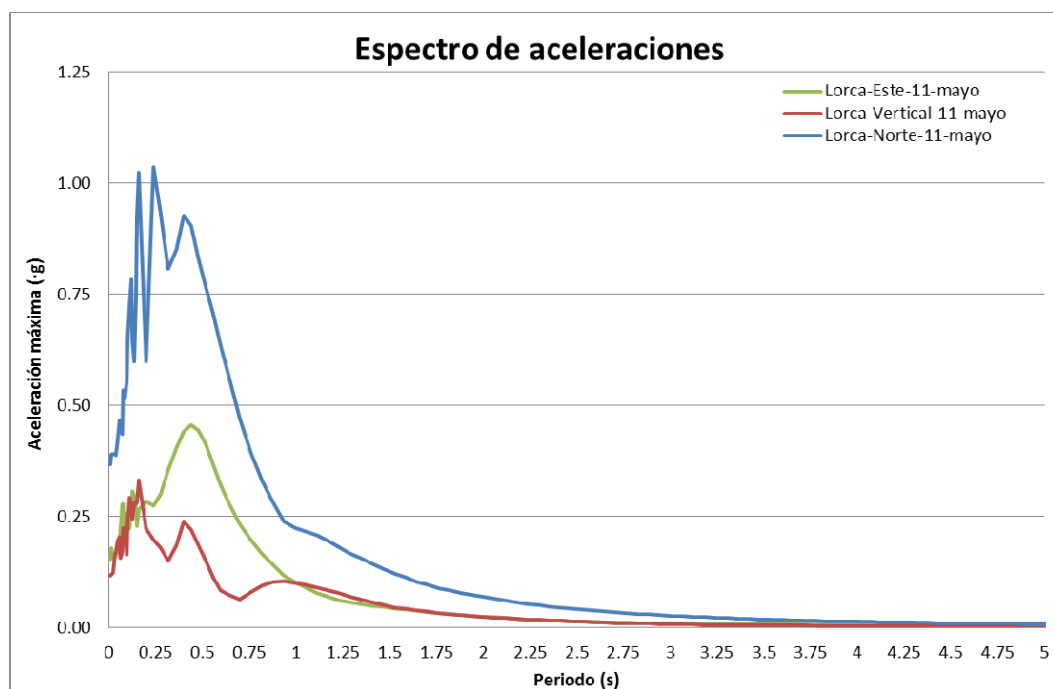


Figura nº 7. Espectro de aceleraciones obtenido a partir del acelerograma registrado en Lorca el día 11 de mayo de 2011. Se ha obtenido un espectro para cada dirección principal considerada.

Nótese que en dirección N-S la amplificación sobre la aceleración del terreno (lo que en los espectros de diseño se llama ‘meseta’) es del orden de 3,0 veces en el rango de periodos 0,16-0,40 s; para la dirección E-O, del orden de 3,00 veces en el entorno de 0,40-0,50 s; y para la dirección vertical, de 3,00 veces para 0,12-0,20 s.

3 Descripción de daños

Como consecuencia del terremoto, el viaducto correspondiente a la calzada dirección Almería sufrió una serie de daños que obligaron a interrumpir la circulación temporalmente. Tras una primera inspección preliminar con carácter de urgencia, se pudieron constatar daños en los aparatos de apoyos y juntas de dilatación principalmente. En general los apoyos presentaban síntomas de movimiento y reptación como efecto del terremoto ocurrido, mientras que las juntas de dilatación, de mortero elástico, se habían abierto del orden 8-10 cm en el caso de la junta sobre el estribo Almería, o apelmazándose en otras. Pese a los daños detectados, la estructura no presentaba patologías que afectaran a corto plazo a su integridad ni a su seguridad por lo que, una vez reparadas las juntas de dilatación, se procedió a restablecer el tráfico en la calzada.



Figura nº 8. Abertura de unos 8-10 cm de la junta



Figura nº 9. Compresión excesiva de las juntas de

de dilatación del estribo 1.



Figura nº 10. Descalce de apoyos por la acción del sismo.

dilatación, produciéndose el rebosamiento del material de la junta.



Figura nº 12. Grieta en el pavimento en la zona del trasdós de estribo, aproximadamente coincidiendo sobre la losa de transición.

Figura nº 11. Desconchado de vigas por impacto longitudinal entre ellas. Roturas puntuales en extremos de vigas.

Cabe destacar que la mayor altura de los aparatos de apoyo del tablero de la calzada sentido Murcia, así como su detalle de anclaje al tablero, han supuesto que éste presente un mejor comportamiento general que la calzada sentido Almería con apoyos más bajos y rígidos y sin ningún tipo de sistema de anclaje al tablero o subestructura.

Adicionalmente a los daños anteriores, se detectaron otra serie de daños menores en ambos tableros como desconchones en extremos de vigas como resultado del impacto entre diferentes vanos, ídem a nivel de losa y pretilles, golpes por movimiento del tablero en los tapes laterales de las pilas, etc.

4 Descripción de la actuación planteada

Aprovechando la necesidad de tener que reparar los importantes daños que presentaban los aparatos de apoyo de la calzada dirección Almería se planteó acometer una serie de mejoras estructurales generales en ambos viaductos encaminada a mejorar el comportamiento sísmico de los mismos, así como otra serie de medidas menores encaminadas a mejorar la conservación y durabilidad de las estructuras. En líneas generales, las actuaciones de mejora sismorresistente llevadas a cabo fueron las siguientes:

- Ejecución de riostras en extremos de vigas en ambos tableros.

- Ejecución de topes sísmicos en dinteles como elemento redundante de seguridad.
- Sustitución de aparatos de apoyo en calzada dirección Almería por apoyos elastoméricos anclados. Colocación de aparatos de apoyo de refuerzo en algunas riostras extremas de la calzada dirección Murcia.
- Reducción del número de juntas de dilatación en tablero, dando continuidad a la losa y consiguiendo un mayor monolitismo del tablero.
- Corte de vigas, losas y tapes laterales para garantizar los movimientos de los apoyos y considerar la estructura aislada sísmicamente.

4.1 Ejecución de riostras y topes en extremos de vigas de ambos tableros.

Las vigas riostras tienen por objeto mejorar el comportamiento del tablero ante un sismo en dirección transversal, garantizando de esta forma el comportamiento monolítico del tablero como un sólido rígido. Así mismo, se aprovechará la ejecución de este elemento resistente para anclar los nuevos aparatos de apoyo al tablero. Las vigas riostras se ejecutarán en ambos viaductos en todos los extremos de vigas.

Las vigas riostras se han diseñado con un espesor de 0,40 m y una altura media de 1,00 m con recrecidos de 0,20 m a cada lado de los apoyos para permitir su fijación y anclaje.

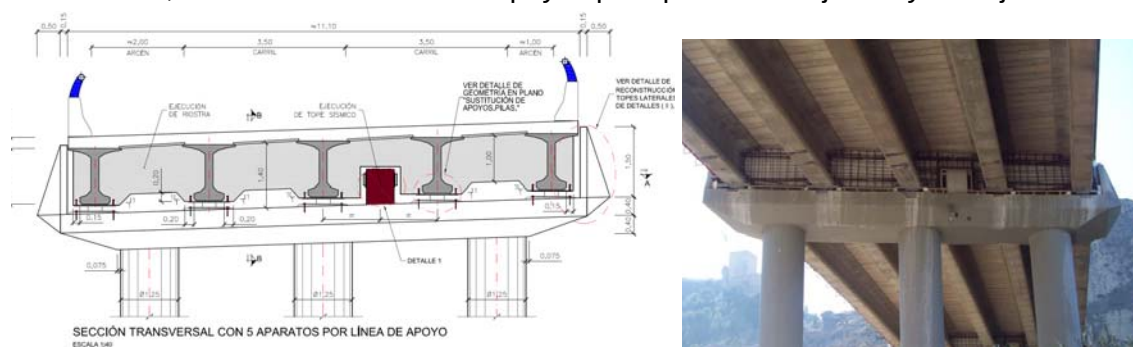


Figura nº 13. Esquema general de riostras y vista de la ejecución.

En todas las riostras se ha previsto un cajeado para los topes o tetones de seguridad. En caso de un sismo transversal superior a la capacidad resistente de los aparatos de apoyo, entrarían en juego estos topes de seguridad. Con objeto de amortiguar, en la medida de lo posible, el impacto del tablero contra el tope, se han dispuesto unos aparatos de apoyo neopreno sin zunchar de 50mm de espesor. Dichos apoyos se han dejado a una distancia tal de los paramentos de las riostras con objeto de garantizar el comportamiento aislado del tablero, entrando únicamente en funcionamiento en caso de fallo de éstos.



Figura nº 14. A la izquierda, detalle del tope sísmico y ferrallado de riostra. A la derecha, detalle de apoyos en tope transversal.

4.2 Sustitución de aparatos de apoyo. Calzada dirección Almería.

La sustitución de los aparatos de apoyo de la calzada dirección Almería resulta la actuación más importante desde el punto de vista sismorresistente llevada a cabo en las estructuras.

Los nuevos apoyos dispuestos son de una altura sustancialmente mayor respecto a los inicialmente existentes, lo que se traduce en una mayor flexibilización de la estructura, con el correspondiente aumento del período de vibración de la estructura y, por tanto, de reducción de la acción sísmica. Los nuevos aparatos de apoyo son anclados, de forma que se garantice la correcta transmisión de las fuerzas horizontales entre el tablero y la subestructura. A su vez, y teniendo presente futuras operaciones de conservación, el conjunto apoyos-anclaje se ha diseñado de forma que cumpliera y garantizara de forma eficiente dichas exigencias de anclaje y sustituibilidad.

El diseño de los aparatos de apoyo realizado, consiste en dos chapas de acero galvanizado, una superior y otra inferior, las cuales se anclan a la subestructura y al tablero a través de una serie de varillas roscadas. El anclaje de los aparatos de apoyo se realiza mediante unos casquillos perimetrales al apoyo soldados a las chapas anteriores. Uno de estos casquillos se ha planteado mediante tornillos para permitir sustituir un aparato de apoyo sin más que realizar una simple transferencia de carga, sin tener que levantar todos los apoyos de la misma pila.



Figura nº 15. Fotomontaje de los aparatos de apoyo.



Figura nº 16. Aparato de apoyo montado en su posición definitiva a falta de ejecutar las mesetas de nivelación.

La operación del cambio de apoyos ha resultado una de las labores más complejas y a la vez importantes del conjunto de los trabajos realizados. La poca altura libre entre los cargaderos de las pilas y el tablero, impedían la utilización de elementos hidráulicos (gatos) de gran altura y recorrido, habiendo tenido que abordar los primeros levantamientos con gatos planos de poca altura y recorrido máximo de 16 mm (10-12 mm efectivos), disponiendo gatos de mayor capacidad cuando la altura libre resultaba mayor.

Las holguras iniciales para los elementos auxiliares de izado eran del orden de los 4-5 cm en los casos más favorables, llegando a medir valores próximos a los 2-3 cm. Aprovechando el excesivo recubrimiento superior de la armadura del dintel, dicho problema se resolvió mediante la ejecución de una serie de cajeados o “ventanas” en los dinteles, habilitando el hueco necesario para utilizar un gato plano de 8 cm.



Figura nº 17. Holgura inicial para colocación de gatos de 3-4 cm de media.



Figura nº 18. Detalle de ventana en cabeza de pilas y estribos para poder utilizar gatos planos ordinarios.



Figura nº 19. Centralita sincronizada para levantamiento simultáneo.



Figura nº 20. Detalle de apoyo provisional de gatos en calzos.

4.3 Eliminación de juntas de dilatación en tablero

Con objeto de aumentar el monolitismo de la estructura y mejorar así su comportamiento frente al sismo, entre las actuaciones realizadas se encuentra la eliminación de parte de las juntas de dilatación de los viaductos. Esta operación de eliminación de juntas queda limitada por el comportamiento en servicio de los apoyos frente a la acción térmica, puesto que los efectos reológicos del hormigón, fluencia y retracción, ya se habrían producido en su totalidad.

En la calzada dirección Murcia la longitud máxima de los tramos sin juntas viene determinada por las dimensiones (altura) de los aparatos de apoyo existentes y sobre los que no se actúa, pudiendo eliminar únicamente una de cada dos juntas existentes, consiguiendo dos tramos extremos de 72 m, dos tramos adyacentes (uno por cada lado) de 96 m y un tramo central de 48 m.

En la calzada dirección Almería la longitud máxima de tablero sin juntas viene determinada por la capacidad de los nuevos aparatos de apoyo, es decir, por la altura máxima de los apoyos compatible con las cargas verticales a soportar y la flexibilidad aportada a la estructura. Las juntas que se han eliminado en este tramo han sido las correspondientes a las pilas P-6 y P-8, obteniendo un tramo central de 192 m continuos y dos tramos extremos de 72 m cada uno.

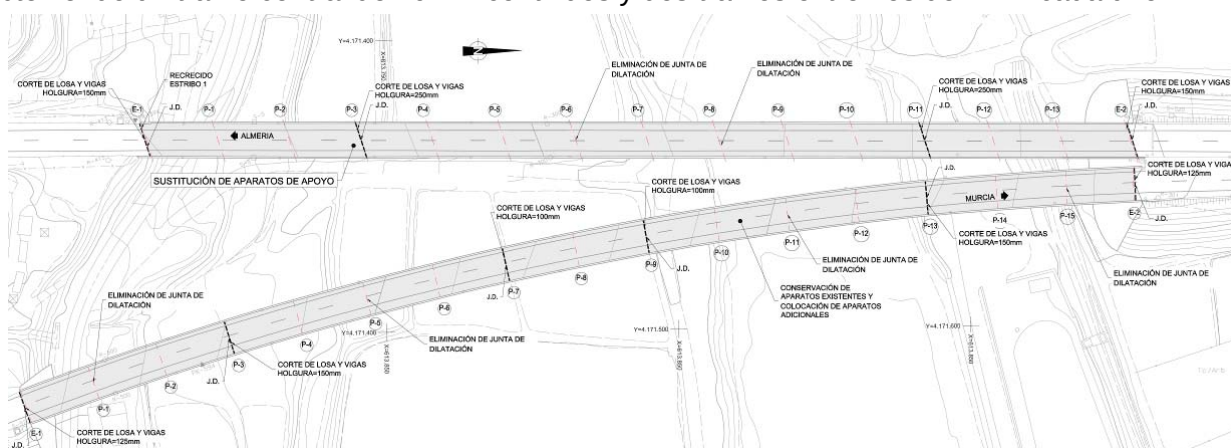


Figura nº 21. Planta de tableros con eliminación de juntas y tramos definitivos con continuidad.

Como fácilmente se puede ver en la figura anterior, la supresión de juntas se ha realizado de forma que las estructuras queden con una configuración lo más uniforme y simétrica posible, pues es sabido que este tipo de estructuras presentan un mejor comportamiento resistente frente al sismo que las estructuras asimétricas o irregulares.



Figura nº 22. Detalle de continuidad de losa y su ejecución. Detalle de cuidado de impermeabilización de la zona pre-cortada.

Uno de los puntos críticos del nuevo detalle de continuidad es la durabilidad del acero. Por ese motivo, se recurrió a la utilización de acero galvanizado y al sellado con mastic bituminosos de la estricción superior y a la disposición de una lámina de impermeabilización especial protegiendo adecuadamente el detalle.

4.4 Corte de vigas, losas y tapes laterales

Con objeto de garantizar el comportamiento aislado del puente frente a la acción del sismo y poder asumir la reducción de la acción sísmica por dicho aislamiento, resulta necesario garantizar las holguras para que el tablero se mueva libremente sin topar con otros elementos. Así mismo,

estas holguras garantizan la ausencia de daños estructurales en el tablero en caso de sismo, al evitar el choque y golpeteo entre los diferentes elementos de la estructura.



Figura nº 23. Corte de vigas con hilo de diamante desde el tablero.



Figura nº 24. Corte de pretil con disco de diamante.

FICHA TÉCNICA

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

Redacción del Proyecto de las obras de Emergencia: IDEAM

Asistencia técnica a la Dirección de las Obras: UTE IDEAM-Laboratorios del Sureste

Constructora: UTE FCC-COMPOSAN PUENTES