

REFUERZO DEL ENCEPADO DE LA PILA 3 DEL PUENTE DE LAS PÍAS

(STRENGTHENING OF THE FOOTING OF PIER THREE OF PIAS BRIDGE)

Antonio González Serrano, Alejandro Castillo Linares y Ramón Molezum Rebellón, Ingenieros de Caminos

ESPAÑA

Fecha de recepción: 23-II-99
568-4

RESUMEN

En esta publicación se describe el método que se utilizó para reparar el encepado de la pila 3 del puente de las Pías, que estaba ejecutado con un hormigón muy débil, prácticamente sin resistencia, en algunas zonas del encepado.

SUMMARY

This publication describes the method used for repairing the footing of pier 3 of Pias bridge which had been constructed with a very weak concrete, practically with no strength, in some of the areas of the footing.

HISTORIA DEL ACCIDENTE. DATOS PRELIMINARES

A raíz del accidente ocurrido en el Puente de las Pías, que quedó dañado gravemente por el impacto de un buque que se soltó en la factoría de Astano, hecho que tuvo una repercusión nacional, se encontró, durante la toma de datos que se hizo para la reparación del Puente, una patología muy grave e importante en el encepado de la pila 3.

El Proyecto de reparación de la pila 3 del Puente de las Pías se redactó a petición del Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos D. Ramón Molezum Rebellón, de la Demarcación de Carreteras del Estado en Galicia, que fue el Director del Proyecto y el Director de las Obras de reparación del Puente.

El proyecto de reparación fue suscrito por el autor de este artículo y por el Ingeniero de Caminos, Alejandro Castillo Linares, de Apia XXI.

El proyecto analiza la patología que presentaba el encepado de la pila 3 del puente, proponiendo, al mismo tiempo, la solución técnica que se consideró más idónea, en relación con las circunstancias particulares de la obra en ese momento.

La obra de reparación del puente, así como la reparación del encepado, fue realizada por la empresa constructora Dragados y Construcciones, S.A.

TIPOLOGÍA DE LA PILA DAÑADA

La pila 3 tenía unas dimensiones teóricas de 6,74 x 7,74 m, en planta y un canto de 5,50 m. La pila está apoyada en 25 pilotes, de 63 mm de diámetro.

El encepado se hormigonó, en su día, al amparo de un recinto tablestacado, inyectando los 3,50 m inferiores con hormigón Prepakt. El hormigón superior del encepado se vertió in situ.

Para hacer la reparación del puente se colocó un faldón metálico alrededor de las pilas dañadas, entre las que se encontraba la pila 3. La unión entre el recinto y el encepado se hizo estanca, utilizando técnicas especiales de hormigón sumergido, lo que permitió achicar las pilas.

La solución realizada es la que más se ajustó a las circunstancias particulares de la obra en el tiempo, habiendo desechado, después de un análisis exhaustivo por parte de todas las partes intervinientes, dos soluciones previas.

ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Al comenzar los trabajos de reparación del puente, se realizó una campaña inicial de sondeos, para poder conocer el hormigón de los encepados y las características geotécnicas del terreno.

Esta campaña de sondeos, con extracción continua del testigo, detectó un hormigón de débil resistencia, en la parte del encepado de la pila 3 situado aguas arriba y únicamente en la parte inferior del mismo, concretamente en la zona ejecutada con hormigón Prepakt. El hormigón dañado tenía una resistencia de 30 kp/cm².

Esta situación obligó a realizar una segunda campaña de sondeos, que se amplió posteriormente con una tercera

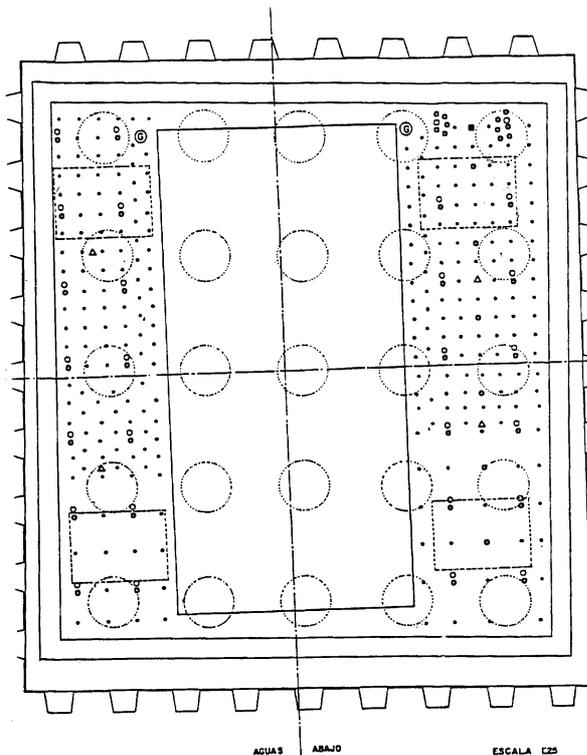


Figura 1.- Representación de la planta del encepado, con la pila, el recinto tablestacado, los pilotes iniciales, los sondeos de reconocimiento, los taladros que permitieron realizar el cosido y la inyección expuesta, y la posición de las placas de reparto del postesado.

campaña, hasta tener un conocimiento del hormigón del encepado que se consideró suficiente.

En esta situación se limitó el número de los sondeos, porque la abundancia de datos debilitaría a un encepado dañado, sobre todo si en el proceso se cortan armaduras.

El hormigón Prepakt del encepado, es decir, los 3,50 m inferiores y que está situado aguas arriba, o sea, en el lado Jubia, no tenía prácticamente ninguna capacidad resistente, mientras que la otra mitad del encepado se puede considerar que tenía una resistencia aceptable.

Los datos iniciales se obtuvieron en las campañas de sondeos y el análisis más profundo del encepado se pudo realizar al achicar la pila.

El hormigón Prepakt, débil, en la zona dañada, se produjo porque los áridos, que se colocaban previamente a la inyección del mortero, estaban sucios, con tierra, teniendo una forma lajosa, siendo, además, demasiado pequeños. Por esta causa, los áridos no quedaron correctamente inyectados al ejecutar el hormigón Prepakt en su día. El error de ejecución, inadvertido entonces, ha sido, como se puede ver, muy importante.

SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Se decidió ejecutar una primera campaña de taladros en todo el encepado, en una retícula de 1 x 1 m, que atravesaban prácticamente todo el espesor del mismo. Los taladros se lavaron, primeramente, con agua a presión y, posteriormente, se rellenaron con un mortero de altas prestaciones mecánicas, elaborado con un árido muy fino, con una resistencia $H > 1.000$, que se colocó en obra por vertido. También se alojó un redondo de 20 mm de diámetro en cada taladro, que se dejó sobresaliendo por fuera del encepado, como se va a exponer.

Se taladró el hormigón con martillos neumáticos rotopercutores, que avanzan sobre cremallera, para que no se pudiera cortar ninguna armadura.

Al ejecutar esta fase, en dos de los taladros cayó el útil en vertical unos 10 cm. En estas zonas se densificaron los mismos, haciendo 12 alrededor de los taladros aludidos, para coserlas e inyectarlas.

La inyección de los taladros cubrió un volumen del orden del doble del volumen del taladro, lo que evidencia las características del hormigón dañado.

A continuación se hizo una segunda campaña de taladros en todo el encepado, con una retícula más densa, con intereses de 50 x 50 cm.

Se densificó la retícula de los taladros, ejecutando una tercera campaña en la zona que tenía el hormigón débil, llegando a ejecutar, finalmente, entre 8 y 10 taladros por m^2 en este área. Todos los taladros se lavaron con agua a presión y se rellenaron con el mortero aludido, tal y como se indicó, alojando en cada taladro un redondo que sobresalía por fuera del encepado.

El encepado del proyecto inicial se diseñó -y se construyó- con cuatro capas de armaduras horizontales; una superior, una inferior y dos capas intermedias, colocadas a 1,50 y 2,20 m sobre la cara inferior del encepado. La capa inferior se situó en la cabeza de los pilotes, que penetran una pequeña longitud en el encepado. La armadura de los pilotes, felizmente, penetra en el encepado una longitud importante.

El encepado, además, en el área ocupada por la pila, de 3,00 x 6,00 m en planta, en la intersección con la cara superior del encepado, está cosido por un conjunto de redondos verticales, de 20 mm de diámetro, dispuestos en retícula de 50 x 50 cm, que atraviesan todo el espesor del encepado.

La ferralla así dispuesta, junto con la armadura de piel colocada, zunchó y pudo absorber a las tracciones transversales que se produjeron en el interior del encepado, que era de gran canto. Ésta fue la razón por la que no se agotó el encepado hasta que fue reforzado.

El cosido vertical realizado no sólo inyectó el hormigón débil del encepado, sino que creó unos elementos confinados, de pequeño diámetro, como micropilotes, que no pueden pandear, que se solapan con la armadura de los pilotes, que llevaron las cargas desde la cara inferior del encepado hasta la cara superior del mismo.

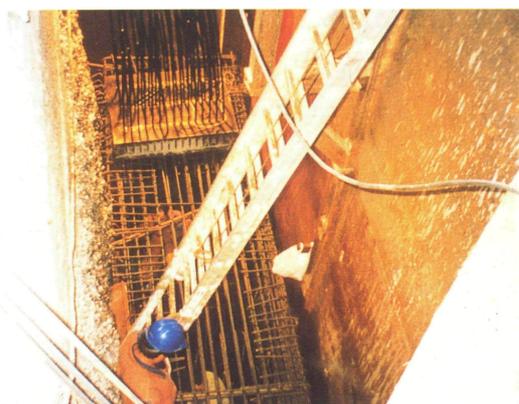


Figura 2.- Vista superior de los dados del refuerzo, con la armadura pasiva parcialmente colocada, con las placas de reparto del postesado y con la armadura activa totalmente enfilada y colocada.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)



Figura 3.- Vista superior de la esquina de un dado del refuerzo, antes de hormigonarlo, con la armadura pasiva parcialmente colocada, con una placa de reparto del postesado y la armadura activa enfilada y colocada.

Las cargas se recogen en la cara superior del encepado, mediante dos dados paralelos, adosados a los lados mayores de la pila, de aproximadamente 7 m de largo, 3 m de altura y un ancho variable, comprendido entre 1,33 y 1,88 m.

Los dos dados se unen entre sí, abrazando a la pila, mediante un postesado, formado por 45 x 2 cordones de 0,6", compuestos por 7 alambres, engrasados y alojados en una vaina de polietileno negro. Los nuevos dados se diseñaron para resistir la totalidad de las cargas transmitidas por los pilotes a través del encepado.

El postesado, que se diseñó con anclajes activos en ambos extremos, se aplicó en la cara superior de los dos dados, uniendo dichos dados a través de los lados menores del encepado.

El pretensado se calculó discretizando el continuo, como emparrillado, y se diseñó de forma que la distribución de tensiones en la interfase, en cualquier estado de carga, no produzca tracciones.

El esfuerzo rasante en cualquier plano horizontal del encepado, en la cara superior del mismo o en la interfase de la pila con los nuevos dados, se calculó a partir de la reacción de los pilotes que, a su vez, estaba definida por las solicitaciones del puente. Como la reacción máxima de los pilotes era inferior al tope estructural de los pilotes, se tomó este valor para hacer el diseño.

El máximo esfuerzo rasante se produce en la interfase de la pila con los nuevos dados, concretamente en los bordes de la pila. Este valor, en el encepado final de 7,90 m de canto, es de 0,25 N/mm^2 .

El cosido en cualquier plano horizontal y vertical se calculó aplicando la teoría del "Shear Friction Design Method" que se describe el art. 11.7.4. del Código ACI,

<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

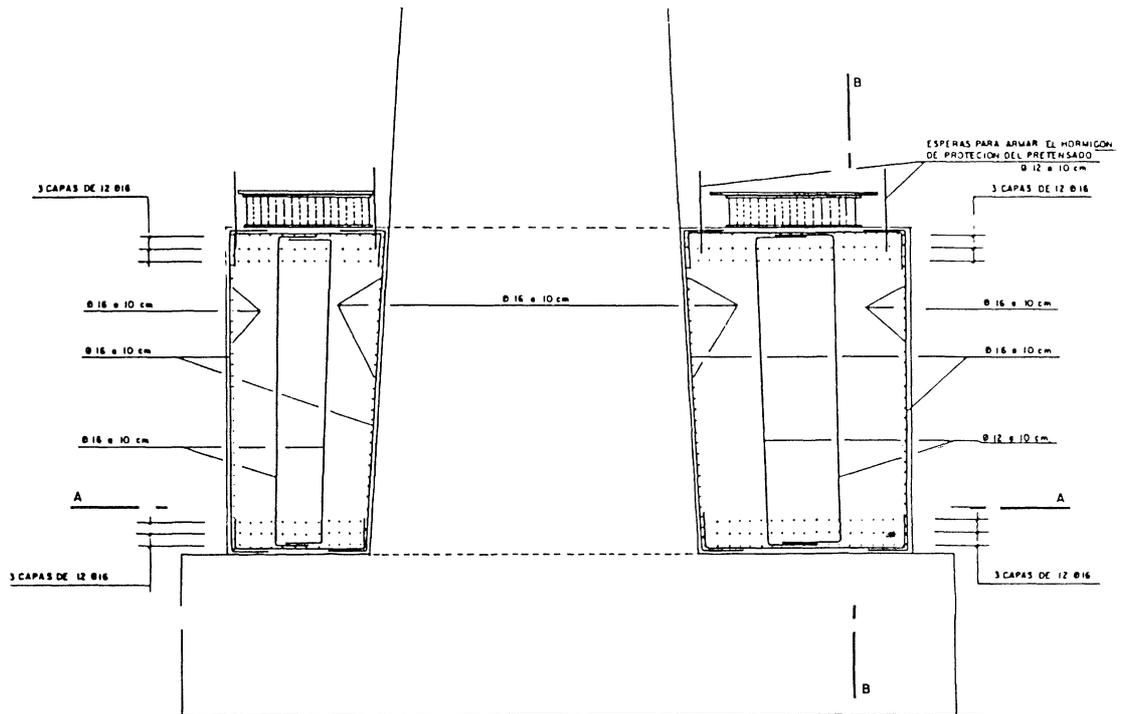


Figura 4.- Sección transversal de los dos dados del refuerzo, con parte de la armadura pasiva y con las placas del reparto del postesado.

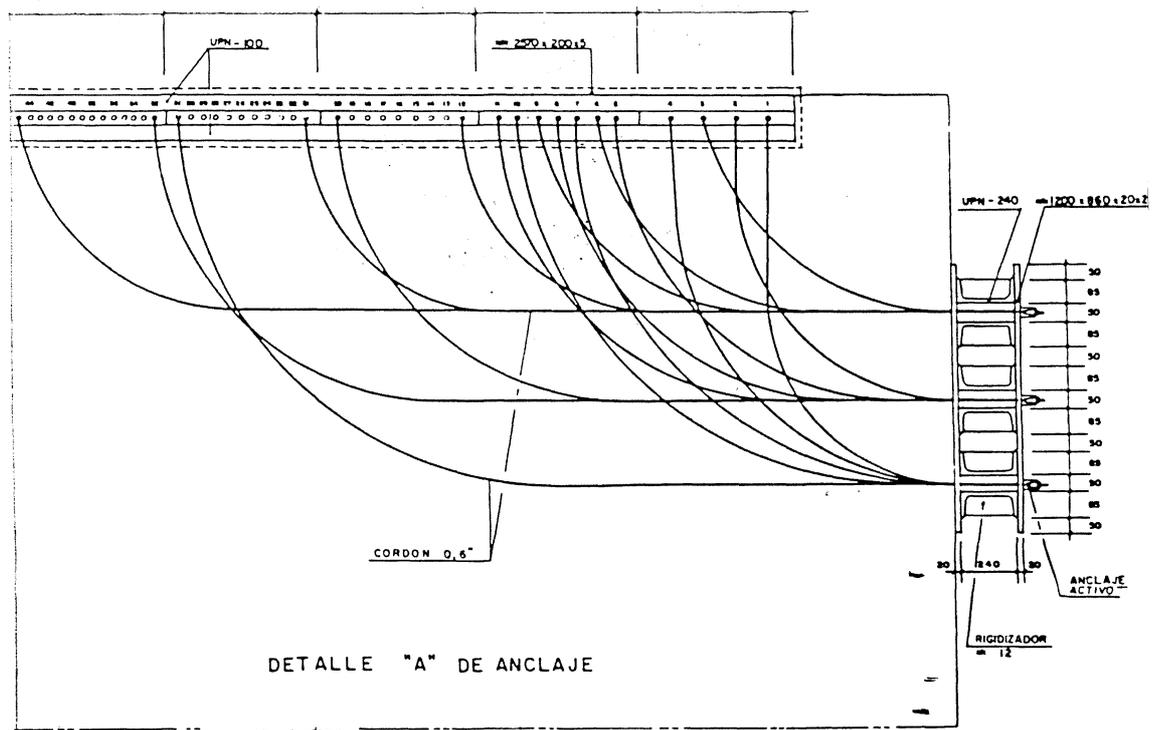


Figura 5.- Alzado-sección del refuerzo, con el trazado de los cables, que se posicionaron enhebrándolos entre dos UPN paralelas.

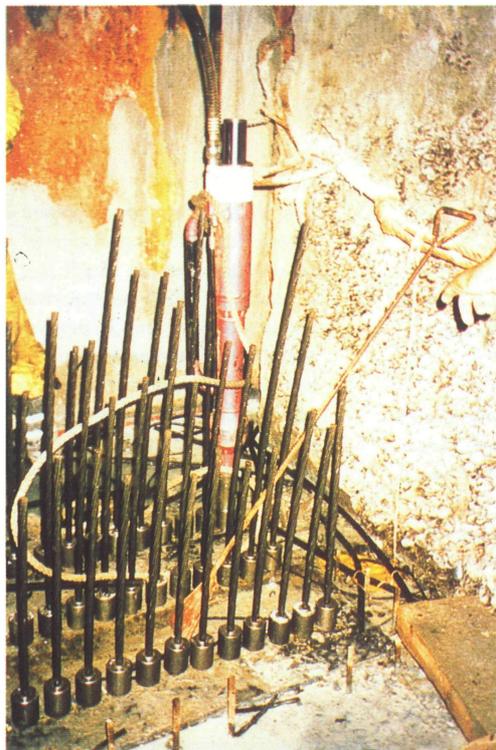


Figura 6.- El gato durante el proceso de tesado.

aplicando, de modo alternativo, además, el capítulo 17 "Composite Concrete Flexural Members" del Código ACI.

Se abujardaron las dos caras laterales de la pila que iban a quedar en contacto con los dados, creando una superficie intencionadamente rugosa, con rugosidades superiores a 5 mm de amplitud, como prescribe el Código ACI, disponiendo los conectores necesarios -formados por redondos de 12 mm de diámetro- en la retícula calculada e indicada en los planos.

El cálculo de los conectores y la forma de ejecutarlos se expone en la publicación titulada "Aplicación de la técnica de los conectores de las estructuras mixtas para la

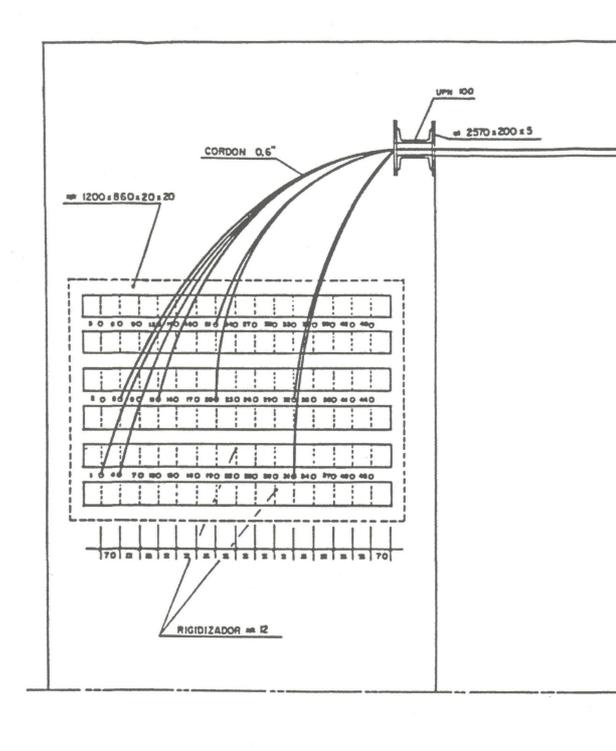


Figura 7.- Planta con el trazado de los cables que, como se indicó, se posicionaron enhebrándolos entre dos UPN paralelas.

reparación de estructuras de hormigón". Artículo publicado por el autor en el número 178 de la revista Hormigón y Acero, primer trimestre de 1991. Asociación Técnica Española del Pretensado. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.

Además de disponer los conectores necesarios, se mataron las esquinas del encepado, de forma discontinua, para crear, intencionadamente, discontinuidades mecánicas importantes, con rugosidades superiores a 5 cm.

La placa metálica de apoyo del postesado se diseñó suficientemente grande, para poder tesar la pila a los 3 días, por obvias razones de rapidez.
