

PRUEBA DE CARGA SOBRE PILOTES (*)

PUENTE HACHO: LINEA DE LINARES A ALMERIA

Por RAFAEL ALGUACIL PEREZ

Ing. de Caminos, Canales y Puertos

Las pruebas de carga sobre pilotes suponen generalmente una gran dificultad para el ingeniero no especializado en las mismas, debido principalmente a la poca bibliografía existente sobre tema tan específico y a que dichos libros lo tratan de una manera excesivamente general.

En la construcción del nuevo puente Hacho, en la línea de Linares a Almería, la cimentación proyectada sobre pilotes presentó serias dificultades técnicas, cuya causa primera fue la diversidad de terrenos en que debía asentarse, por lo que se decidió efectuar una prueba de carga sobre los pilotes, base de dicha cimentación. Las diversas incidencias en la realización de esta prueba son recogidas por el presente trabajo, cuyo estudio se divide en dos etapas claramente diferenciadas, que sirven de base para ir analizando cada una de ellas y las partes en que se subdividen, a fin de señalar el camino seguido hasta llegar al conocimiento del comportamiento real del tándem, pilote-terreno, cuyo conocimiento, expresado en unos resultados finales, dio motivo a la variación del pilotaje de cimentación proyectado.

Los ensayos realizados sobre el terreno de cimentación, base del puente Hacho, en la línea de Linares a Almería, fueron causa de diversas controversias técnicas, en cuanto a su resistencia y características, encaminadas a consolidar una solución que mantuviera en condiciones óptimas la seguridad de la obra, aunando además el trinomio técnica-economía-estética.

La heterogeneidad del terreno, demostrada en la propia ejecución del pilotaje, indujeron la conveniencia de realizar unas pruebas de carga sobre pilotes, a fin de ver cómo, en la realidad, se comportaban dichos elementos y así tener un punto de apoyo veraz con el que poder comprobar la verosimilitud de los cálculos del proyecto.

Las diversas etapas que concurrieron en la realización de estas pruebas de carga podemos agruparlas en dos divisiones claramente dife-

renciadas: preparación y ejecución. Ambas de semejante importancia, pero quizá con prioridad para la primera, ya que es de mejor resultado dejar cuanto menos sea posible a la improvisación.

A) Preparación.

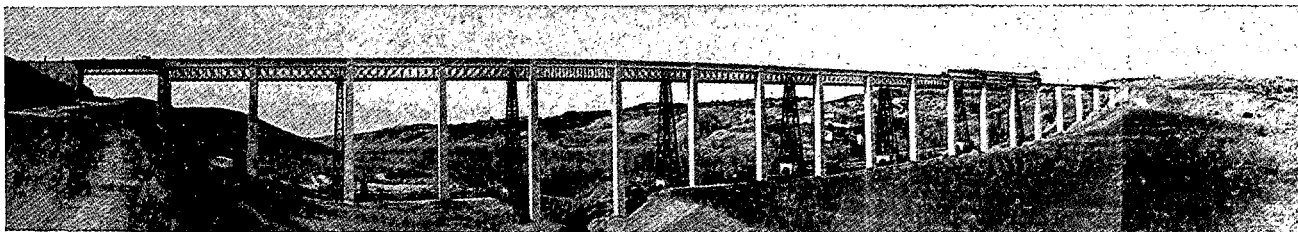
Podemos subdividirla en otra serie de operaciones, cuya enumeración se refleja seguidamente:

1. Pilotes.
2. Estructuras y carga.
3. Transmisión.
4. Programa.

1. Pilotes.

La realización de esta prueba de carga necesita lógicamente del pilote, cuyo comportamiento necesitamos conocer, en especial ante el terreno que lo acoge.

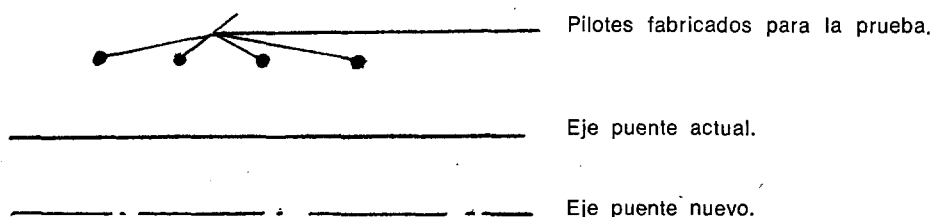
(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de marzo de 1973.



Por las características de la carga a soportar por cada uno de ellos — 800 Tm era la carga de rotura supuesta en los cálculos —, se fabricaron cuatro pilotes semejantes a los originales de proyecto, que se colocaron al otro

(poco probable) o el terreno (mucho más probable), por lo que si los pilotes se ubicaran en el propio eje resultaría, posteriormente, afectada la obra en su cimentación.

Los pilotes que iban a probarse se realiza-



lado, del puente actual, del que discurría la nueva obra, según se indica en el croquis adjunto.

Su colocación en la parte opuesta al eje del puente nuevo obedece a una causa de temor, ya que, dada la carga que deben soportar el pilote y el terreno, pudiera romperse el pilote

rían adaptándose al proyecto y con el mismo proceso de fabricación (misma maquinaria, idénticos materiales, etc.). Como en el cálculo se proyectaba que la resistencia de estos pilotes era conjunta, por fuste y punta, se eligieron dos de ellos para la prueba de carga, cuyas características se resumen a continuación:

	Pilote 1	Pilote 2
Situación	Entre las pilas 1 y 2 del puente actual.	Entre las pilas 4 y 5 del puente actual.
Tipo de suelo	Arcillas limosas con margas y grava.	Arcilla roja, grava y arcilla con grava.
Diámetro	1,20 m	1,20 m
Longitud	19,00 m dentro del terreno.	26,00 m
Resistencia	Por punta y fuste.	Por fuste solamente.
Carga de rotura	800 Tm (proyecto). 650 Tm (real).	400 Tm (proyectada según carga de rotura de primer puente). 600 Tm (real).
Carga de trabajo	360 Tm	

La elección de un pilote que trabajara sólo por fuste se debió a que técnicamente se desconoce "más fielmente" la resistencia de este trabajo y el saber su comportamiento en la rea-

lidad nos daría motivo para conocer mejor en qué parte de su resistencia participaría el pilotaje proyectado, por lo que el pilote dos se preparó con un metro de paja en el fondo, a fin

de que su trabajo por fuste fuera todo lo preciso y perfecto posible.

Con el fin de preparar el soporte que transmitiera la carga al pilote, se ensanchó la parte superior del mismo formando un zunchado alrededor de él. La fotografía 1 nos hace ver el

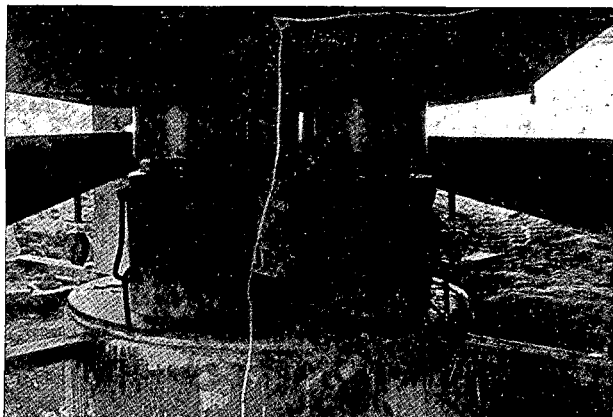


Figura 1.

zuncho, de 1 cm de espesor, que se colocó alrededor del engrosamiento del pilote, así como la chapa superior, plataforma de apoyo de los gatos y de diversos aparatos.

La parte correspondiente al corte de la superficie del terreno con el pilote se rodeó con una capa de yeso, a fin de observar las grietas que posiblemente se producirían en dicha capa, índice del hundimiento del pilote, que servirían de aviso, además, para evitar posibles accidentes.

2. Carga y estructura.

Como segundo puesto en esta clasificación dada de las etapas, necesitamos especificar y proyectar el tipo de estructura que va a soportar la carga total para, en sucesivos escalones, irla transmitiendo al pilote.

Esta estructura se proyectó y calculó de acuerdo con el tipo de carga que iba a soportar. Dado que en las cercanías de la obra se disponía de carriles sustituidos, se optó por tomar éstos para la carga, y no sólo por lo antedicho, que suponía en sí mismo una economía grande, sino también por formar éstos una carga homogénea, que ocuparía un espacio mínimo, y formar un bloque cuyas piezas tendrían una

manipulación más factible y conocida. Si hubiéramos utilizado bloques de hormigón de un metro cúbico (2,2 Tm), hubiéramos necesitado un total de 364 bloques, cuya colocación en pirámide, supuesta una base de $12 \times 12 \text{ m}^2$, tendría una altura de 4 m; los carriles, también colocados, llegaron a una altura de 1,54 m, necesitando tan sólo unos muros de hormigón armado para su sustentación, mientras que los dados de hormigón habrían necesitado, además, una plataforma para su base.

En esquema, la estructura consistía en dos muros de hormigón armado sustentadores de la carga en su punto muerto. Perpendicularmente a ellos se construyeron otros dos muros, soportes de la viga principal, conjuntamente con el yugo, que transmitiría la carga al pilote. Esta estructura puede verse en la fotografía 4.

Las fotografías 2 y 3 reflejan cómo quedó la estructura con los carriles cargados, así como unos detalles del ensamblaje de los mismos, fieles testigos y reflejo del trabajo realizado.

3. Transmisión.

Resuelto este segundo problema, desembo-camos en el modo de transmitir la carga al pilote. Se realizó mediante una viga principal, elaborada con carriles unidos por soldadura, a la que transmitía un empuje hacia arriba un yugo que, a su vez, lo recibía de los gatos (fotografía 5) apoyados sobre el pilote y que son los que, por presión, irán escalonando las cargas sucesivas a transmitir

Todo este engranaje descrito necesita para su funcionamiento de una serie de mecanismos, cuya descripción es la siguiente:

— Debido a que la carga total es bastante fuerte, son necesarios unos gatos potentes cuyo recorrido sea el suficiente para no agotarlos en la carga máxima y quedarnos con un margen de seguridad que tenga, al menos, una probabilidad elevada de no ser superado. Los gatos de que podíamos disponer, idóneos para su realización, eran cuatro de 250 Tm y ϕ 30 cm, con recorrido teórico de 26 cm, a los que transmitiría la presión una bomba de aceite, unida a los gatos por medio de tuberías de cobre de ϕ 1,50 centímetros.

— Las deformaciones sucesivas del pilote se transmitirían a cuatro flexímetros, sólidamente



Figura 2.

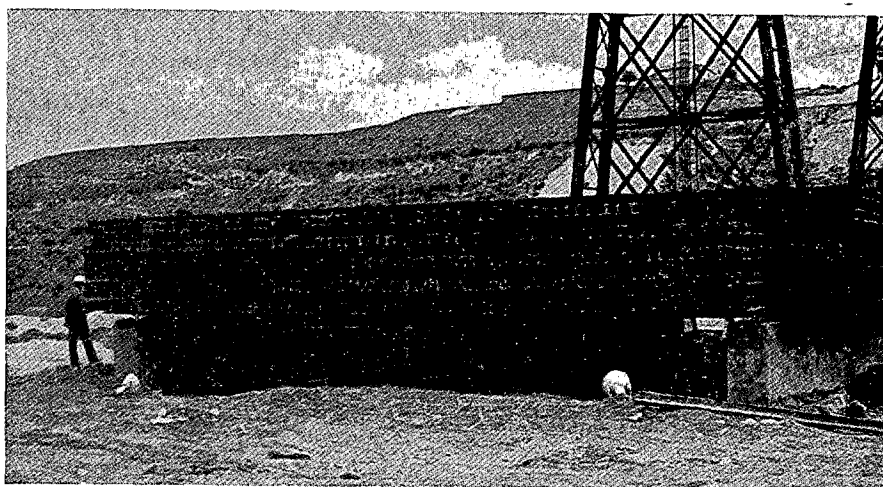


Figura 3.

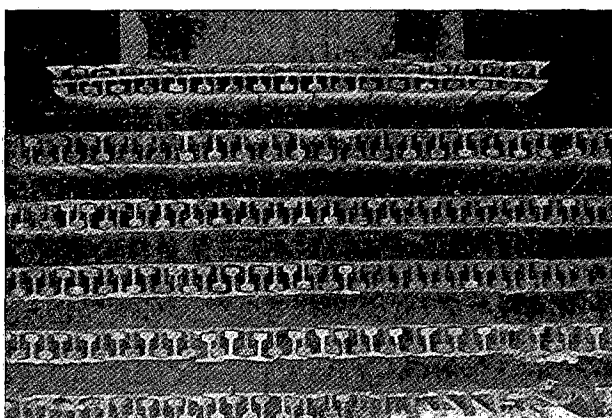


Figura 4.

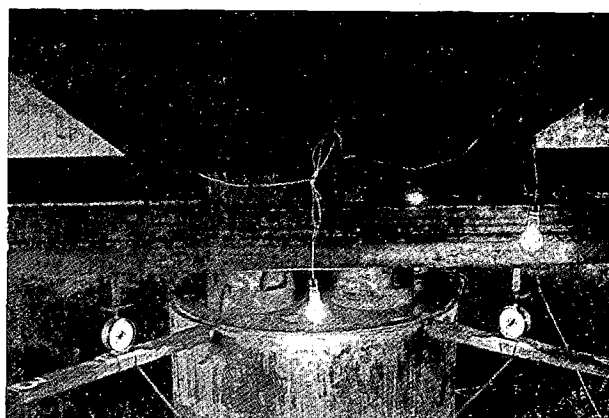


Figura 5.

unidos a él. Dos vigas, apoyadas en muros de fábrica de ladrillo, formarían dos ejes inmóviles sobre los que se apoyarían, por medio de una barra soldada, los flexímetros, que subirían o bajarían con el pilote al estar unidos a él por mediación de unas platabandas soldadas al pilote.

La fotografía 6 nos muestra la bomba de

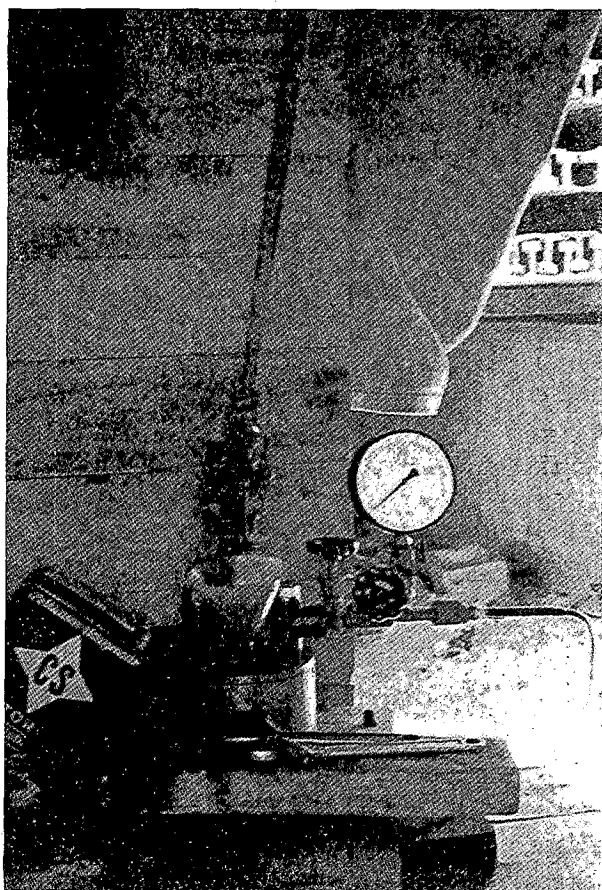


Figura 6.

aceite con su manómetro medidor de presiones y las válvulas de seguridad y vaciado. La fotografía 7 ha grabado los gatos y flexímetros, dando a conocer su situación, colocación en obra y funcionamiento.

4. Programa.

Una vez realizado el proyecto de todas estas estructuras y mecanismos, falta únicamente proponer el programa de los escalones de car-

ga. Se hizo pensando en que podría ser modificado sobre la marcha, pues en este tipo de pruebas, y a pesar de lo mucho que pueda preverse, es siempre el binomio pilote-terreno quien manda y, desde luego, en la mayor parte de los casos surgen los imprevistos con los que hay que contar de antemano.

B) Ejecución.

También requiere una serie de etapas, que pasamos a enumerar y describir:

1. Estructura y carga.
2. Aparatos.
3. Realización.
4. Finalización.

Todas estas etapas se realizaron para ambos pilotes probados.

1. Estructura y carga.

La estructura sustentadora de la carga (para los dos pilotes) fue realizada según se había proyectado. Acopiados los carriles necesarios al pie de estas estructuras, fueron situándose sobre los muros, cargándoles por medio de una grúa móvil sobre orugas, a la par que se fueron

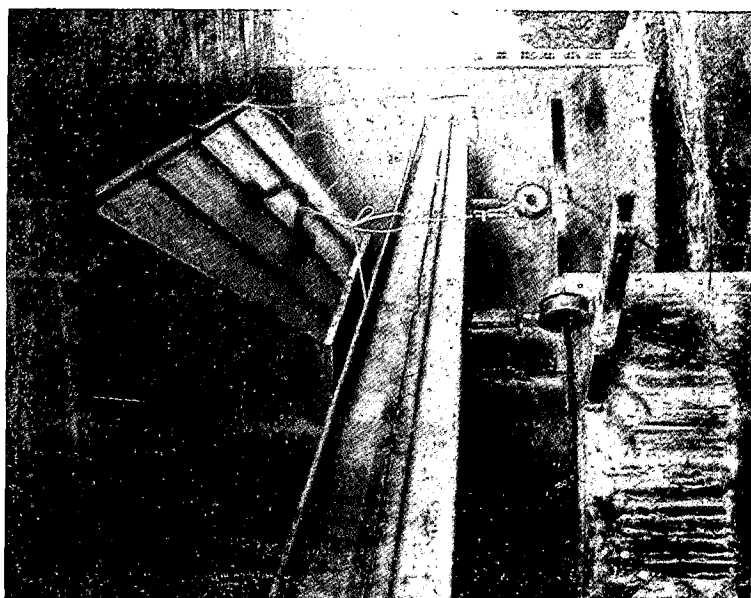


Figura 7.

trenzando entre sí, al objeto de formar el entramado proyectado. Vistas las características que presentaba la carga, se eliminó el cosido proyectado entre los carriles, sujetando una fila con otra por mediación de soldadura. Anteriormente a la carga descrita, se había colocado la viga principal apoyada sobre los muros de hormigón armado.

Se construyó, al lado del montaje total, una caseta que sirvió de protección a la bomba de aceite, para almacén de material, cobijo del personal, etc.

Una vez realizada la primera prueba de carga se descargaron los carriles y se volvieron a cargar en la estructura del segundo pilote, utilizando la grúa móvil sobre orugas y realizando el trenzado y demás operaciones del mismo modo que para el primer pilote. En el transcurso de la primera prueba pudo comprobarse la rotura de un carril y alguna de las soldaduras (dos o tres) de unión de filas entre sí.

La viga principal aguantó, siempre magníficamente, la carga y sólo algunos puntos de soldadura aparecieron rotos. La flecha con que se contaba, existiendo temor por su escasez, no se agotó, ya que la estructura formada por los carriles funcionó tal como se había proyectado, aguantando la viga principal sólo a las dos primeras filas de carriles y las restantes autorresistiéndose entre sí.

2. Aparatos.

Los diversos aparatos: gatos, flexímetros, bomba, etc., se colocaron posteriormente a la primera etapa; la operación fue realizada para ambos pilotes separados en espacio y tiempo.

Poco puede decirse con respecto a esta etapa, sino recalcar con machaconería que sólo el experto en la materia puede realizarla con las máximas garantías para su buen funcionamiento y que debe huírse totalmente de efectuarla, aun con buenos mecánicos, pero que sean desconocedores del tema. La buena colocación y unión de estos aparatos, llevará a la consecución de unos resultados altamente expresivos de la prueba y que pueden tomarse con garantía y fidelidad total.

3. Realización.

Con la carga y aparatos colocados, se comenzó a dar presión a la bomba para observar el comportamiento del pilote, de acuerdo al pro-

grama previsto y que fue modificándose según las lecturas del flexímetro.

A cada aumento de carga se leían instantáneamente los flexímetros y se dejaba la carga hasta que las lecturas eran uniformes e invariables. Los resultados a que se llegaron con las pruebas, dieron un comportamiento semejante para ambos pilotes, si bien la carga de rotura fue menor de la calculada para el primer pilote y mayor para el segundo, a raíz de los datos obtenidos del primero, que fueron:

Carga de rotura: $\left\{ \begin{array}{l} 800 \text{ Tm en proyecto.} \\ 650 \text{ Tm en la realidad.} \end{array} \right.$

Según esto, la carga de rotura para el segundo pilote (trabajo sólo de fuste) sería de 400 Tm, y rompió a las 600 Tm, por lo que su comportamiento fue mejor que el del primero. Esto nos lleva a la conclusión primera de que es el tándem, pilote-terreno, quien decide a última hora, dando hincapié a que es necesario proyectar una prueba de carga de este tipo con amplitud y óptima seguridad.

En los sucesivos escalones programados se volvía a presión nula (carga cero), a fin de ver y comprobar la recuperación del pilote. Estas series escalonadas de carga tenían como misión el comprobamiento de las etapas de trabajo del pilote correspondiente, existiendo la carga de 360 Tm, punto clave en su comportamiento.

4. Finalización.

Hemos querido introducir aquí esta última etapa, por considerarla tan importante como las anteriores; no sólo se debe construir bien, sino también destruir de forma idónea y causando el menor daño posible.

Una vez realizadas ambas pruebas, hubo que descargar los carriles utilizados y devolverlos a su lugar de origen. Antes de la descarga, el mecánico especialista desmontó toda la gama de aparatos que se transportaron por ferrocarril a su punto originario. Las obras de fábrica se dejaron tal como se construyeron, ya que no estorbaban a las obras del nuevo puente.

Con esto se dieron por terminadas estas pruebas de carga, cuyos resultados han motivado la variación del pilotaje de cimentación proyectado para el nuevo puente Hacho.