

EL PUENTE DE SANTO DOMINGO DE LA CALZADA

Por ILDEFONSO SANCHEZ DEL RIO y VICENTE ROGLA ALTET,

Ingenieros de Caminos.

La descripción del puente con sus características e interesantes detalles constructivos se hace por el autor del proyecto, Sr. Roglá, y la gestación de la obra y su feliz terminación e inauguración se describen en amenos comentarios del Sr. Sánchez del Río, que nos compensan del retraso con que se nos da la información de tan importante obra.

Pocas veces he tenido oportunidad, en mi larga etapa de Director General de Carreteras, de sentir una de esas vivas satisfacciones, que perduran y alegran nuestro espíritu, como la que me produjo el poder llevar a la realidad una de las mayores aspiraciones de mi pueblo natal, el riojanísimo Haro, de ver construido un nuevo puente sobre el Ebro que sustituyera al antiguo, llamado de Briñas, que, por su escasa anchura, que sólo permitía una circulación, aliviada por la clásica y antigua solución de los ensanches sobre las macizas pilas, y sus peligrosos accesos a 90°, resultaba un obstáculo grave, para el tráfico creciente, de una carretera nacional, hoy incluida en el Plan de Modernización. Y esta vez tuve una magnífica oportunidad de desquitarme, aunque sólo fuera en pequeña parte, de otros frustrados buenos deseos míos, al no poder realizar otras obras, necesarias, por impedirlo la penuria de nuestras disponibilidades económicas.

La Divina Providencia, protectora mía múltiples veces, me ofreció, generosamente, una ocasión para llevar a cabo esta obra que, como se verá, ya nacía con el designio de glorificar al Santo bajo cuya protección está el Cuerpo de Obras Públicas.

Muchas veces recorrí el lugar donde iba a ser construido el nuevo puente. Siempre me deleitaba la contemplación de aquel paisaje, con el fondo impresionante de la cercana serranía de Toloño, a cuyo pie serpentea el Ebro, abriéndose paso entre tierras tapizadas de viñedos, bordeando en caprichoso hucle el pueblo de Briñas con las ruinas de su castillo, testigo en el pasado siglo de fratricidas batallas entre carlistas y liberales, y que tal vez presenciara también las del rey Sancho Abarca cuando venció a los moros, hace mil años... ¡Tiempos heroicos y también de nuestro Santo!...

Confieso que en esta ocasión, y ha sido una excepción, porque siempre he mantenido el criterio de que en esta clase de cargos directivos se debe procurar eliminar todo influjo profesional, no pude desligarme de mi calidad de ingeniero proyectista. Vaya en mi disculpa el que toda mi vida he sido y creo seguiré siendo esto, y que, por otra parte, aquel pue-

blo era mío y que aquel trozo de río también lo consideraba como algo mío, porque míos eran los recuerdos de mis andanzas juveniles. Así es que, en simpática camaradería, y, por lo tanto, desligados de toda clase de jerarquías, con mis colegas de la Jefatura de Obras Públicas de Logroño y Jefatura de Puentes, fuimos estudiando las posibles soluciones, tanto para el emplazamiento del puente como sus características, que todos deseábamos fueran el reflejo de lo que aspirábamos para él. Con jefes de la categoría de Carracido y Valdés no era difícil llegar a un acuerdo, que en este caso fué completo, en los puntos de vista técnico y administrativo. La Jefatura de Puentes quedó encargada de la redacción del proyecto, corriendo a cargo de la Jefatura de Obras Públicas de Logroño la dirección de la obra.

Como primera medida tuvimos que "no considerar"... una solución que, con el acicate de su economía, flotaba en el ambiente... Era "muy original", y seguramente, el que tuvo tan feliz idea, aquella noche dormiría con toda placidez... Consistía, nada menos, en construir sobre el venerable y sufrido puente existente, sobre cuyas piedras seculares pasarán los más linajudos personajes engarzados en la historia de España, una plataforma de hormigón armado, volada sobre la graciosa mezcla de arcos ojivales y de medio punto, fruto sólo conseguido por el pasar de los siglos. Sólo con la contemplación de las fotografías, el lector se dará inmediatamente cuenta del alcance que hubiera tenido tal profanación...; en aquel lugar donde, a la belleza recia del paisaje, no es posible separar un algo que allí, inconfundiblemente, tiene sabor de historia.

Dada la topografía del terreno, la ubicación del puente debía ser estudiada con todo cuidado. Eran factibles dos soluciones, con emplazamientos a un lado u otro del puente viejo. Ambas fueron estudiadas detenidamente por la Jefatura de Logroño, de cuyo examen comparativo se aceptó la que indudablemente resolvía, en nuestra época, correctamente la cuestión. Y decimos en "nuestra época", porque no se dudó en cruzar el Ebro con 45° de oblicuidad, continuando así una magnífica alineación recta de

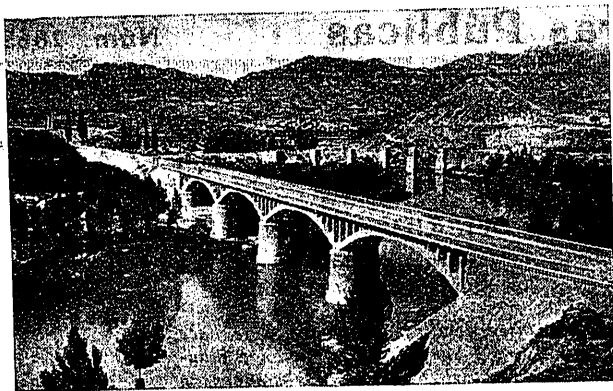


Fig. 1.ª — Vista del puente de Santo Domingo. Al fondo, el puente antiguo, las ruinas del castillo de Briñas, proyectadas sobre la serranía de Tolaño.

la carretera. ¡Qué sonrisas de beneplácita aprobación no lanzará el antiguo puente, pensando en las incontables torturas de contorsioneo que su colocación, normal a la corriente del río, obligaba a hacer a los vehículos de todos los tiempos, antes de enfilear la angostura de sus espaldas...! Y así empezaron a definirse las diferentes características constructivas correspondientes a dos épocas lejanas, distanciadas más de cinco siglos. Precisamente quisimos concentrar nuestros deseos en la nueva obra, con el fin de hacer destacar los progresos que en esos cinco siglos los Ingenieros habían realizado. Ibamos, por lo tanto, a levantar un magnífico testigo y precioso dato para la historia. Pensamos que, ante la contemplación de los dos puentes, era difícil sustraerse a un análisis comparativo. Uno de ellos había ya cumplido con su deber y era merecedor a la honrosa jubilación que ahora se le concedía. Aspirábamos a que el nuestro, por lo menos a 500 años fecha, pudiera presentar ante el examen fiscalizador de nuestros descendientes

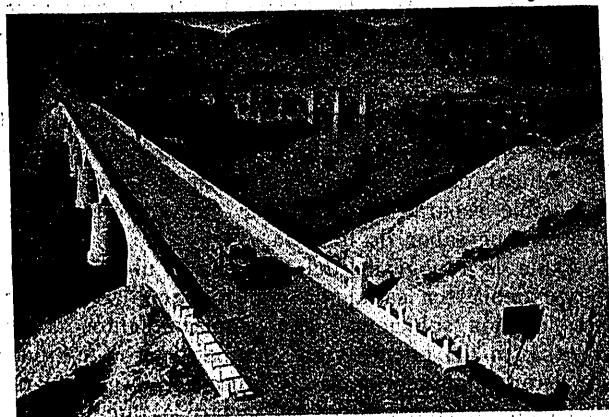


Fig. 2.ª — Con el cruce oblicuo del Ebro, se prolonga la alineación recta de la carretera. Se observa, en primer término, a la derecha, el monolito conmemorativo de la inauguración del puente.

la misma limpia ejecutoria. Por esto se concibió, con responsabilidad propia, un "modelo muy 1950", dando así toda clase de facilidades a los sabios arqueólogos del mañana, para su futura catalogación... Y con estas claras ideas nació este puente, colmado de bellos simbolismos, que cruzaría el primer río de España, sin sospechar en aquel entonces que, por "habernos" salido tan bien, le cupiera el altísimo honor de llevar el nombre, en advocación a las glorias del Santo Ingeniero riojano, de Domingo de la Calzada.

La redacción del proyecto se encomendó a Vicente Roglá, afecto a la Jefatura de Puentes. Recuerdo mi primera entrevista con él. Fué breve y concisa: "Deseo que este puente se construya con rapidez — le dije —, y como desde esta atalaya veo que si empleamos la menor cantidad de hierro su

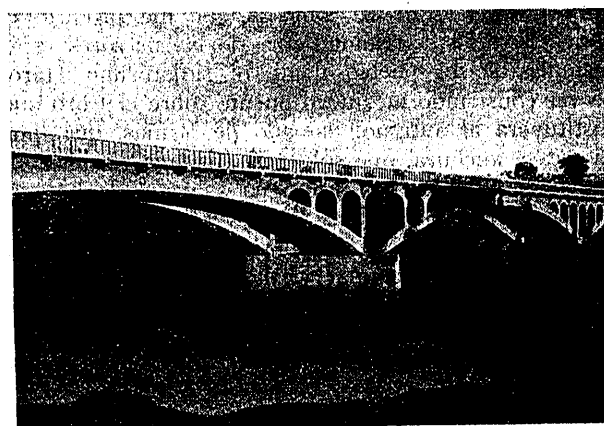


Fig. 3.ª — Cada ojo del puente lo integran dos arcos independientes triarticulados. Se observa su gran oblicuidad con relación a las pilas.

terminación podría demorarse indefinidamente, deberá proyectarse totalmente de hormigón en masa". El celo y el talento ingenieril de Roglá hicieron que en breve plazo el proyecto pudiese ser aprobado. Proyecto que, por otra parte, respondía perfectamente a las condiciones de "un tipo 1950". Y así nació el puente de nuestro Santo.

Urgentemente, la Jefatura de Sondeos procedió a la toma de datos para la cimentación de las pilas y estribos. Tuvimos suerte. Se encontró buen terreno a profundidades máximas de 5 m. Subastada la obra, fué adjudicada a Termac, que, bajo la dirección de la Jefatura de Obras Públicas de Logroño, fué llevada normalmente a feliz término, aunque debemos hacer constar que, indudablemente, nuestro Santo nos echó una manita... cuando una impresionante crecida del Ebro estuvo a punto de dar al traste con todo lo construido.

El nuevo puente de Santo Domingo de la Calzada fué inaugurado solemnemente el día de la festi-

vidad de nuestro Santo Patrón, el día 12 de mayo de 1950, por el Sr. Ministro de Obras Públicas, excelentísimo Sr. D. José M.^a Fernández-Ladreda, que con todo cariño acogió la idea de ofrendar el puente a las glorias del Santo Ingeniero riojano, dictando al efecto la correspondiente Orden ministerial.

Para perpetuar este simpático e inolvidable acto, a la entrada del puente se ha levantado un pequeño monolito de piedra, en cuya lápida, en bronce, figura la siguiente inscripción: "Puente de Santo Domingo de la Calzada, inaugurado por el Excmo. Sr. Ministro de Obras Públicas, D. José M.^a Fernández-Ladreda, el día 12 de mayo de 1950, festividad de Santo Domingo de la Calzada, Patrón de los Cuerpos de Obras Públicas, con asistencia del Excmo. Sr. D. Eduardo González Gallarza, Ministro del Aire, y del promotor de la obra el Excmo. Sr. D. Ildefonso Sánchez del Río Pisón, Director General de Carreteras y Caminos Vecinales".

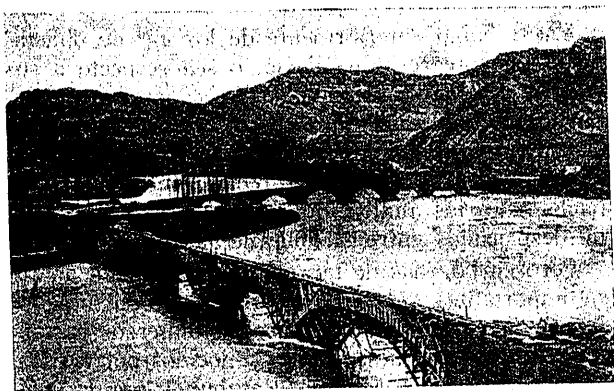


Fig. 4.^a — En esta peligrosísima crecida del Ebro, no reflejada en toda su magnitud en la fotografía, fué donde nuestro Santo nos echó una manita...

Al pasar la comitiva por el puente, después de bendecida la obra por el Excmo. Sr. Obispo de Calahorra y la Calzada, fué obligado hacer un alto para contemplar aquel paisaje que, aguas abajo del Ebro, en un primer plano, el puente medieval se ofrecía ante nosotros. En fila, a lo largo de la barandilla, y en un silencio que era un tributo de admiración por lo que veíamos, permanecimos unos instantes. Muchos colegas, seguramente, estarían pensando lo que, como casi obligado comentario, me permití decir al Sr. Fernández-Ladreda: "Señor Ministro: desde aquí, desde este puente que hoy felizmente se inaugura, contemplamos el viejo que se jubila, después de muchos siglos de servicio activo. Hoy podemos ofrecer con orgullo al tráfico actual este nuevo puente, con arreglo a la técnica de nuestros tiempos. El contraste es enorme, pues el progreso de la construcción en el siglo que vivimos ha sido grande, y me pregunto: ¿Qué pasará dentro de otros cinco siglos?... Pudiera suceder, Sr. Ministro, que nuestros descen-

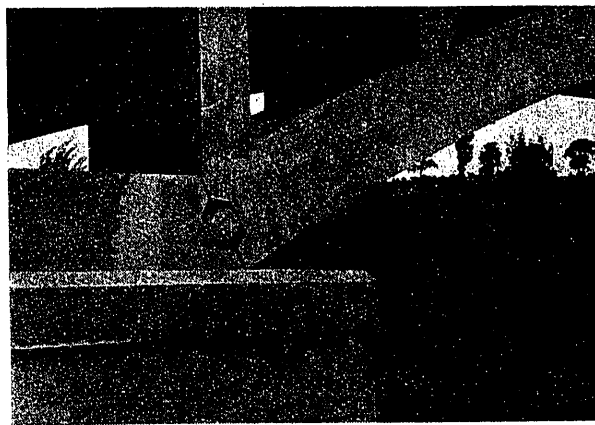


Fig. 5.^a — Detalle de una articulación lograda con rodillos de fibrocemento y placas del mismo material. La fotografía demuestra el perfecto comportamiento de la articulación.

dientes contemplen, compasivamente a su vez, desde otro flamante, posiblemente construido con elementos prefabricados de plásticos, este ya viejo y en forzosa jubilación, por no poder soportar los pesos enormes de los vehículos del mañana". Y animado por la simpatía del ambiente y de una templada imaginación, continué: "¿Qué avances en la Construcción no veremos...?" Rápido, el Ministro me atajó: "Querido Director, muchas gracias por sus buenos deseos; pero yo, francamente, no pienso ver nada...; ahora, usted, si se empeña..." Todos celebramos la ironía del Sr. Ladreda, pero todos hubiéramos celebrado más ver el futuro puente, transparente, con elementos de plástico...

Aquella noche, como digno colofón de una brillante y alegre jornada y en homenaje a los nuevos hijos adoptivos y medallas de oro de la Muy Noble y Muy Leal ciudad de Haro, los Sres. Fernández-Ladreda y González Gallarza, el Ayuntamiento dió una cena, de la que tendremos recuerdos imborrables los



Fig. 6.^a — Los Excmos. Sres. Ministros de Obras Públicas y del Aire presidiendo la mesa.

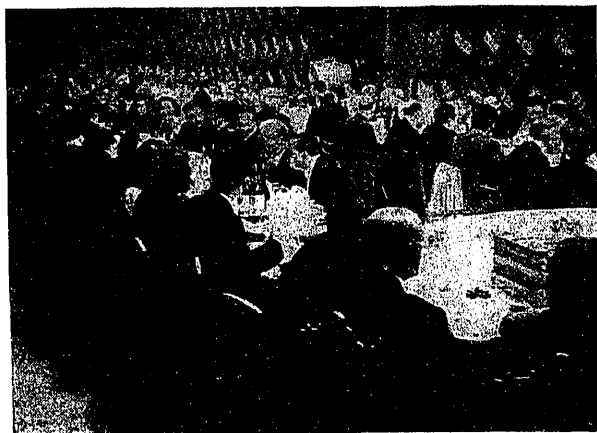


Fig. 7.*—Un documento expresivo de lo que fué la cena en homenaje a los Excmos. Sres. D. José M.^a Fernández-Ladreda y D. Eduardo González Gallarza. Obsérvense los adornos murales.

que tuvimos la suerte de asistir a ella. Fué una cena que, por lo que he dicho, no fué cena cualquiera... Tuvo por marco una de las maravillosas naves de una bodega. Todo el mundo sabe que en Haro es fácil encontrar estas cosas... En esta ocasión le cupo la suerte de ser honrada por la presencia de tan ilustres huéspedes a la de López Heredia. Las fotografías dan una pálida idea del sabor de lo que aquello fué... Bueno: el siempre inteligente lector se habrá dado cuenta instantánea que el sabor estaba en todo lo que nos rodeaba..., produciendo, a muchos, mareo la sola contemplación de los impresionantes adornos murales... de aquella espléndida nave, y que ante los típicos y riojanos platos servidos por "Tere-rete" y los viejísimos "néctares" de López Heredia, aquella cena discurrió en un ambiente verdaderamente "jarrero" (palabra popular que se da a lo que realmente es típico de Haro), solamente interrumpido por una voz lastimera que vibró en aquel templo: "¡Y pensar cómo sabrán estos vinos dentro de 500 años...!" Era un émulo, tal vez menos romántico, de los que deseábamos ver el soñado puente de plásticos...

Y aquí doy por terminado este prelude, del que en un mañana pudiera obtener algún erudito datos para una historia, para dejar paso a la pluma de Vicente Roglá, que ilustrará a los lectores acerca de las características del puente de Santo Domingo de la Calzada, del que es autor.

* * *

Me cabe la honra de tomar la pluma que me entrega nuestro muy querido ex Director. Pero a toda honra van unidas responsabilidad y pesadumbre, y mucho temo que el gracejo y amenidad de las líneas que me anteceden sirvan de cruel contraste a la aridez de mi prosa.

Perdón te pido, lector, por no poder brindar a tu deleite simpáticas anécdotas, ni relatos interesantes. En primer lugar porque, al pasar a mis manos la pluma de Sánchez del Río, perdió su antes jugosa savia, y en segundo, porque me toca hablarte en otro lenguaje: el técnico y matemático, al describir la obra y los problemas que nos planteó.

Y no es que menosprecie la matemática y la técnica ni sus medios de expresión; pero no hay duda de que, al comparar lo que se mide y lo que se siente, la matemática y el arte, un puente y un poema, llegamos a la evidencia de que los segundos corresponden a un lugar mucho más íntimo, misterioso y vital de nuestro espíritu. Si cupiera la analogía de nuestra alma con un átomo, yo diría que el raciocinio es como sus capas electrónicas, y el sentimiento y la intuición, su núcleo.

Saliendo ya del núcleo de este artículo hacia los electrones periféricos, comenzaré por describir y justificar el tipo de superestructura que se adoptó en la obra.

Ya se habló anteriormente de los 45° de oblicuidad del puente respecto al río, o sea respecto a sus pilas, y de que la necesidad de economizar hierro obligaba a una solución en arcos de hormigón en masa. Dos posibilidades se ofrecían para la constitución de cada uno de estos arcos: una sola bóveda oblicua o varios anillos, que podían ser rectos, aunque desplazados entre sí longitudinalmente.

Pero en bóvedas de tan elevada oblicuidad aparecen importantes esfuerzos anormales (momentos de torsión, flectores de eje vertical y esfuerzos cortantes horizontales), que son bien conocidos por los trabajos teóricos de J. Charles Rathbun y por la comprobación experimental realizada en la Universidad de Princeton por el Prof. Beggs en 1926 para diferentes modelos de bóvedas de 30° de oblicuidad (1). De estas experiencias se dedujo que los esfuerzos anormales sólo pueden desprenderse cuando la razón anchura-luz es inferior a 0,1 (o cuando es extraordinariamente elevada). Mientras que, en nuestro caso, dicha razón era 0,25 y la oblicuidad muy superior (45° en vez de 30°).

Preciso era abandonar la solución en bóveda oblicua si había de evitarse toda armadura en el arco. Conclusión que me alegró, porque, a mi juicio, son poco estéticas las bóvedas muy oblicuas.

Adoptada la decisión de sustentar los tramos con anillos rectos, no podía haber duda en cuanto al número de estos anillos. En efecto: cada anillo debía deformarse con independencia de los demás; es decir, sin enlace con ellos, pues de otro modo volverían a aparecer los esfuerzos anormales que se trataba de evitar. En consecuencia, el puente debía descomponerse en una serie de puentes parciales independien-

(1) *American Society of Civil Engineers*, paper núm. 1 922, pág. 1 551 y siguientes.

tes yuxtapuestos, separados por juntas longitudinales. Pero la estabilidad del anillo aislado fijaba una cota inferior a sus dimensiones y, dada la anchura del puente, limitaba a dos el número de tales anillos.

De este modo, la superestructura de la obra, por encima del plano de arranque de los arcos, constaría de dos puentes gemelos independientes, separados por una junta (2 cm.) a lo largo del eje de la calzada, pero desplazados longitudinalmente entre sí en igual medida que la separación transversal entre los ejes de los anillos respectivos (4,60 m.), a fin de que estos anillos apoyasen en las pilas dispuestas según el eje del río, que forma 45° con el eje de la obra.

Esta separación de 4,60 m. entre ejes de anillos, así como las características de los mismos, de los tímpanos y del tablero, se combinaron de manera que el centro de gravedad de los pesos de cada semipuente, tanto descargado como con sobrecarga total, recayese en el eje del anillo.

Otro punto digno de mención fué la elección del tipo de tímpanos. Se decidió aligerarlos al máximo, incluso las pilas por encima del arranque de los arcos, y ello por tres razones: por aliviar la carga en cimientos, por necesidades de desagüe superficial y por motivos de estética. Estos últimos saltan a la vista en la adjunta figura 8.^a, que representa el alzado de la obra, y en el que aparecen los dos semipuentes con el ya mencionado desplazamiento longitudinal relativo. Si los tímpanos fueran macizos, se obtendría en alzado una enorme superficie de pésimo efecto visual, como resultado de su solape. Creemos que se consigue la máxima sensación de ligereza y efectividad de desagüe disponiendo vanos de aligeramiento con igual luz en pilas y tímpanos y de forma que coincida (en alzado) un vano de un semipuente con el vano del otro semipuente situado dos lugares más avanzado.

Otra importante decisión fué la relativa a la estructura de los anillos. Se trataba de acordar si se les debía empotrar en las pilas y estribos o articularlos en ellos, y de si se les proveía o no de rótula en clave. Se convino en triarticular los anillos, por dos motivos fundamentales: en primer lugar, porque el terreno en que se cimentaban las pilas y estribos (margas arcillosas), aun siendo relativamente bueno, podía dar lugar a asentos lentos de cierta importancia, y en segundo término, porque los cálculos previos mostraron la conveniencia de una solución isostática, a fin de evitar tracciones por cambios térmicos y retracción de fraguado.

Con todo ello quedó definida la obra, que comprendía una longitud total de 155,40 m., constando de cuatro tramos iguales de 34,00 m. de luz entre ejes de pilas. Cada tramo estaba formado por dos semitramos independientes, gemelos, desplazados longitudinalmente 4,60 m. entre sí. El semitramo se sustentaba mediante un anillo de hormigón en masa triarticulado de 32,00 m. de luz entre rótulas, 4,00

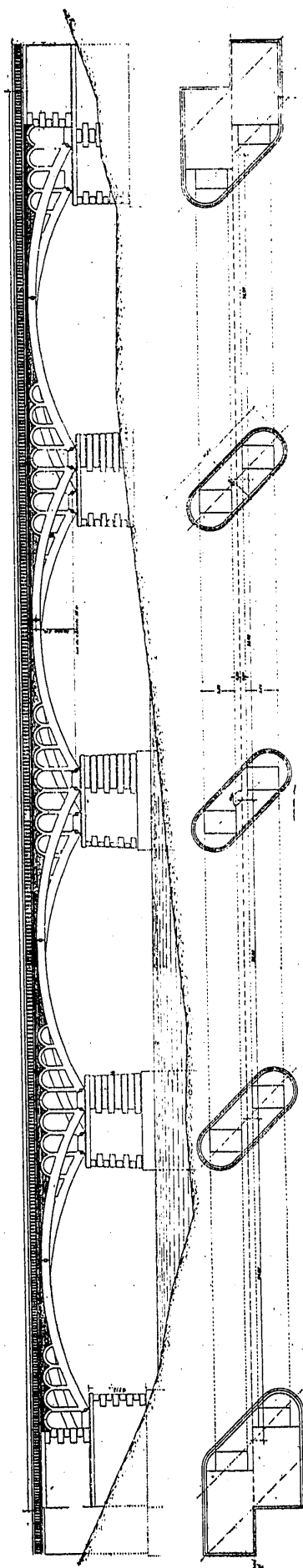


Figura 8.

metros de flecha, 3,40 m. de anchura constante y 0,90 m. de canto también constante.

La disposición de los tímpanos se aprecia en las figuras. Sus correspondientes tabiques se ampliaban transversalmente en su coronación mediante una ménsula interior en que apoyaban las bóvedas superiores de los aligeramientos en la zona central de calzada y mediante ménsulas exteriores de sustentación de las aceras. El muro de cierre entre bóvedas y aceras se hizo de ladrillo rojo, para dar a la obra una pincelada de color y contraste.

La junta longitudinal, de 2 cm., que separaba los tramos y marcaba el eje de la obra, quedaba cubierta en el tablero por una chapa metálica que permitía libertad de movimientos entre ellos. El mismo dispositivo se empleó para las juntas transversales a que obligó la triarticulación.

Un pavimento elástico (macadam asfáltico) cubría las chapas sin junta alguna, y se confió en que su deformabilidad absorbiera sin agrietarse los pequeños movimientos relativos, como ha ocurrido en la realidad.

La anchura de la calzada se fijó en 8 m. y en 0,75 m. la de cada acera, rematada por una barandilla de piezas prefabricadas de hormigón armado.

Al parecer, con esta larga enumeración que finaliza, debiera terminar también este artículo; pero no es así, aunque me duele el desconsuelo que adivino en el lector cuya paciencia agoto. Y no termina, porque hay una característica muy interesante y peculiar de esta obra, que intencionadamente he omitido hasta aquí para que su comentario sirva de colofón a estas líneas.

Me refiero al sistema de rótulas empleado en las articulaciones de los anillos, sistema ideado por el propio Ildefonso Sánchez del Río, y que consta de rodillos de fibrocemento alojados entre placas del mismo material.

Acerca de este tipo de articulación, dice D. Eugenio Ribera en la página 157 del tomo IV de su obra *Puentes de fábrica y hormigón armado*, que presenta las siguientes ventajas:

- a) Su material, a base de cemento y amianto, es de la misma calidad que el resto del puente.
- b) Suprime la oxidación de las rótulas metálicas, admitiendo, como éstas, un perfecto pero más inalterable pulimento.
- c) Una notable y comprobada flexibilidad, muy superior a la del hormigón.
- d) Es más económico y más fácilmente colocable que los demás tipos.

Este halagüeño juicio de D. Eugenio Ribera había sido confirmado prácticamente en numerosas obras: en presas como la ataguía del pantano del Generalísimo, en tramos rectos como el acueducto del río Pigüña, en grandes cubiertas como la del hangar de 40 m. de luz del I.N.T.A. en Torrejón, etc.

Nunca se había empleado el sistema para absorber los elevados empujes de un arco de puente; pero la experiencia adquirida en obras como las citadas, y singularmente los estudios y ensayos realizados por Sánchez del Río, permitían una segura previsión del comportamiento de los rodillos de cualquier diámetro y, por tanto, su dimensionamiento certero en función del esfuerzo que hubieran de soportar.

En dichos ensayos, algunos de ellos realizados en el Laboratorio Central, como los publicados en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS del 15 de mayo de 1936, se comprobó que las cargas por unidad de sección diametral del rodillo correspondientes al límite elástico y a rotura y que debían ser teóricamente independientes del diámetro (1), presentaban, en la realidad, muy escasa dispersión, como correspondía a la excelente calidad del fibrocemento Uralita y al cuidadoso relleno (con mortero de cemento 1/2) del pequeño taladro axial.

Estas cargas son:

Rotura $\approx 200 \text{ Kg./cm.}^2$.

Límite elástico $\approx 85 \text{ Kg./cm.}^2$.

Por consiguiente, la carga práctica admisible, con un coeficiente de seguridad superior a 2,8, resulta de 70 Kg./cm.^2 .

Este coeficiente de seguridad es, además, en caso de arcos triarticulados, especialmente satisfactorio, ya que los esfuerzos pueden preverse con gran exactitud siempre que la articulación funcione como tal.

A este respecto, las articulaciones de plomo y también las rótulas de hormigón tipos Mesnager y Freyssinet dejan un margen de incertidumbre en la posición del punto de paso de la resultante, ya que no existe en ellos una recta definida alrededor de la cual se efectúe el giro.

Los únicos tipos de rótulas que corresponden a articulaciones puras son las metálicas (Emperger) y las de fibrocemento (Sánchez del Río).

Las rótulas metálicas exigen una conservación cuidadosa para evitar oxidaciones. No obstante, se estudió su aplicación a nuestro puente, pero hubo que desecharlas por su elevadísimo coste.

Iniciamos, pues, el estudio de las articulaciones de fibrocemento, resultando en nuestro caso que, por ser de 2,1 Tn. el máximo empuje previsible por centímetro lineal de generatriz, correspondía un diámetro exterior de 30 cm. al rodillo para que la carga práctica en el plano diametral tuviese el valor antedicho de 70 Kg./cm.^2 .

El taladro axial del rodillo, por relación de semejanza con los contruídos y ensayados, debía ser óptimamente de 7 cm. y, como máximo, de 10 cm.

(1) A igualdad de carga unitaria media en el plano diametral, se obtiene por las fórmulas de Hertz la misma presión máxima de contacto y también iguales tensiones en puntos homólogos de la masa del cilindro.

Consultada la casa Uralita sobre la posibilidad de fabricación de tales rodillos y recibida respuesta afirmativa (febrero de 1947), se presentó a la Superioridad el proyecto de superestructura del puente (abril del 47), que fué aprobado en septiembre del mismo año y adjudicado en subasta a Termac, Empresa Constructora, S. A., en febrero de 1948.

Pero al solicitar la contrata el pedido en firme a Uralita de los 81,6 m. lineales de rodillos con sus correspondientes placas, nos encontramos con la sorpresa de que Uralita ya no podía suministrarlos con las características proyectadas, por dificultades fabriles, y que sugería se disminuyese a 5 cm. el espesor de la pared del rodillo, conservando su diámetro exterior de 30 cm., es decir, con taladro axial de 20 centímetros.

Esta reducción a la mitad del espesor de fibrocemento convertía los rodillos en verdaderos tubos, alterando la proporcionalidad de secciones entre hueco y macizo con relación a los ensayos antes comentados y que sirvieron de base al proyecto de las articulaciones.

Faltaba experiencia sobre los rodillos con las nuevas características, si bien parecía justificado suponer que podría compensarse la disminución de pared de fibrocemento con un incremento en la resistencia del relleno, dosificándolo cuidadosamente y vibrando la masa, y en último término, disponiendo una armadura interna que absorbiese las tracciones.

Todo ello exigía ensayos de laboratorio, previos a la colocación de los rodillos en obra, ensayos que se ofreció a sufragar la casa Uralita y que tuvieron lugar en el Laboratorio Central de la Escuela.

Para no paralizar la obra en la espera del resultado de estos ensayos, se decidió hormigonar los arcos, proveyéndolos de una rótula provisional que resistiera solamente el peso propio de los mismos y no estorbara la subsiguiente colocación de los rodillos.

La rótula provisional consistió simplemente en un relleno de escayola de la junta inferior de la articu-

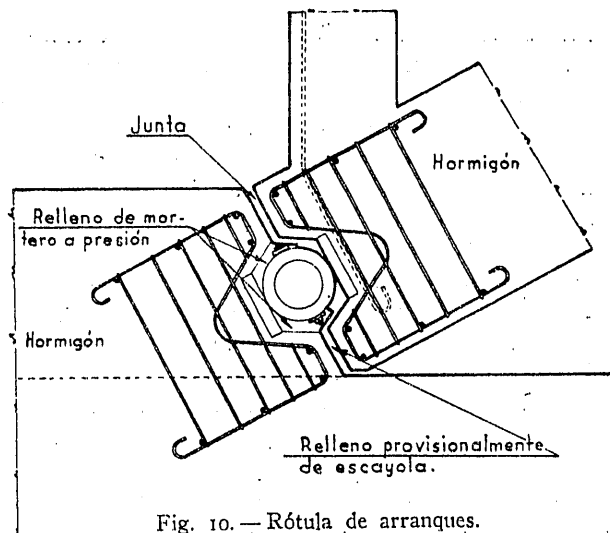


Fig. 10. — Rótula de arranques.

lación, como se indica en las figuras 9.^a y 10. que representan la sección de las rótulas de arranque y clave. El espacio a rellenar de escayola tenía 2 cm. de espesor, 23 cm. de altura y la anchura del anillo (3,40 m.).

Previamente se ensayó en el laboratorio la resistencia de esta rótula provisional mediante probetas de escayola de $2 \times 23 \times 23$ cm. Como era de esperar, se agotó la potencia de la prensa sin conseguir la rotura a compresión, pues con tan escaso espesor frente a las dimensiones de la sección de la probeta, interviene con tal eficacia el rozamiento en sus caras, que no pueden producirse deslizamientos laterales de la masa en su zona central.

El resultado favorable de este ensayo decidió la adopción en obra de estas rótulas de escayola, dejando sin hormigonar una de las placas de contacto del rodillo y toda la parte superior de la articulación, a fin de introducir después fácilmente la rótula definitiva.

Las experiencias con los rodillos fueron muy prolifas. Se realizaron sucesivamente seis tipos de ensayos.

1.º Determinación del coeficiente de rodadura de los rodillos en diversas circunstancias.

Aparte de conocer hasta qué extremo funcionaría la rótula como articulación pura, interesaba este ensayo para decidir si se dejaba libre el rodillo entre sus dos placas o si se le solidarizaba a una de ellas. Lo primero sólo era permisible si el giro máximo calculado para la resultante, de $1^{\circ} 32'$, hubiese sido muy inferior al necesario para iniciar el giro del rodillo.

Resultó, por el contrario, un coeficiente de rozamiento de rodadura máximo de 2,3 mm., o sea de $54'$, que confirmó la idea de solidarizar el rodillo, como aparece en las citadas figuras 9.^a y 10.

2.º Estudio de la deformación hasta rotura de tubos vacíos, sin y con zuncho diametral.

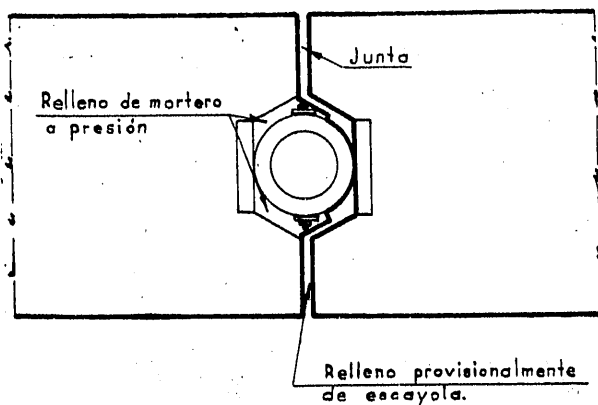


Fig. 9. — Rótula de clave.

Este ensayo era necesario para el estudio teórico, a fin de fijar las constantes elásticas y resistentes del anillo de fibrocemento.

El módulo elástico que se dedujo, con gran concordancia, de diferentes ensayos, fué 95 500 Kg./centímetro cuadrado. La tensión teórica de rotura a tracción osciló entre 398 y 514 Kg./cm.², según el tipo de experiencia.

El ensayo demostró que el tubo hueco era incapaz de soportar presiones superiores a 950 Kg./cm. de generatriz, ni aun precomprimiéndole y sujetándole con zunchos diametrales normales a la carga.

3.º Deformación y rotura de tubos rellenos con diversos hormigones, tanto apisonados como vibrados.

El ensayo era fundamental desde el punto de vista práctico. Se comprobó con él la perfecta adherencia entre el relleno y el tubo. Las roturas fueron muy limpias, según el plano diametral de la isobara de tracciones máximas, sin fisuras adicionales, como si se tratase de un rodillo homogéneo. En las figu-

ras 11 y 12 se representan las isostáticas y las isobaras del cilindro homogéneo.

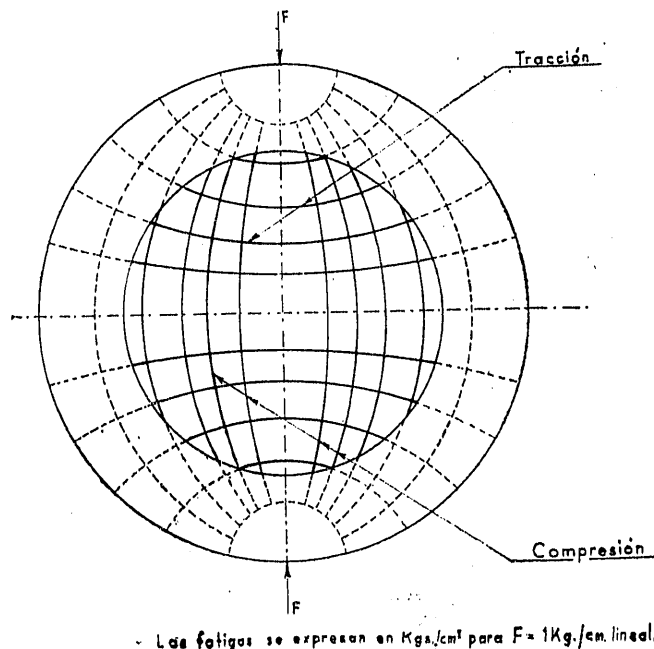


Figura 12.

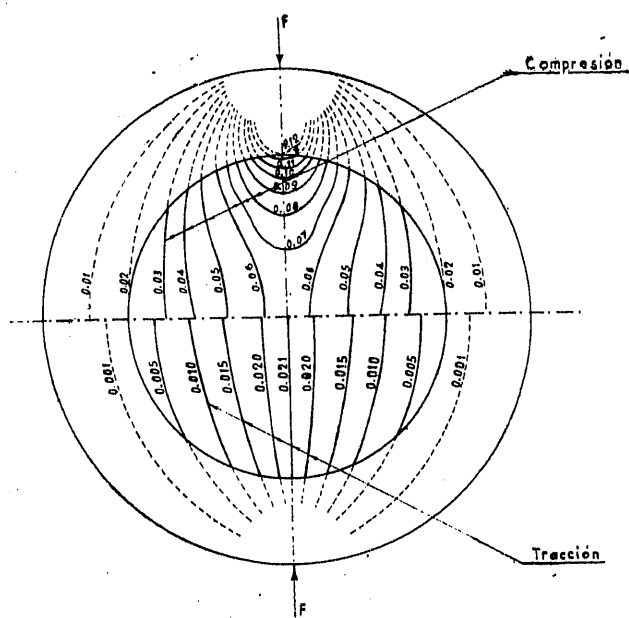


Figura 11.

La rotura tuvo lugar, en todos los casos, exactamente para la máxima presión de trabajo supuesta en el proyecto del puente, 2,1 Tn./cm. de generatriz. A ella corresponde una tensión teórica de tracción en el relleno de 44,5 Kg./cm.².

Fuó necesario proseguir los ensayos buscando otra solución.

4.º Se hicieron dos ensayos con el relleno armado: uno, con zuncho helicoidal de acero especial, y otro, con gruesa armadura según el eje.

En ambos se observó que, al rigidizar el relleno, no podía éste seguir al tubo de fibrocemento en su deformación transversal, produciéndose una separación o despegue entre los dos materiales que precipitaba la fisuración completa.

Resultó evidente que ningún género de armadura interna del relleno resolvería el problema planteado,

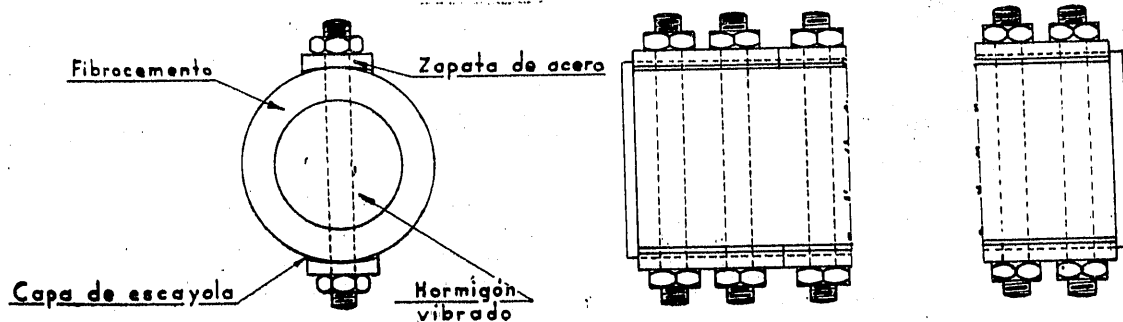


Fig. 13. — Rodillo zunchado.

y se buscó otra vía de solución: el relleno del taldado con el mismo material del tubo, es decir, con pasta de fibrocemento comprimida.

5.º Se ensayaron dos tubos rellenos de uralita a presión, con la esperanza de que las fibras de amianto absorbiesen las tracciones. La esperanza resultó fallida. Hay que tener en cuenta que si este relleno

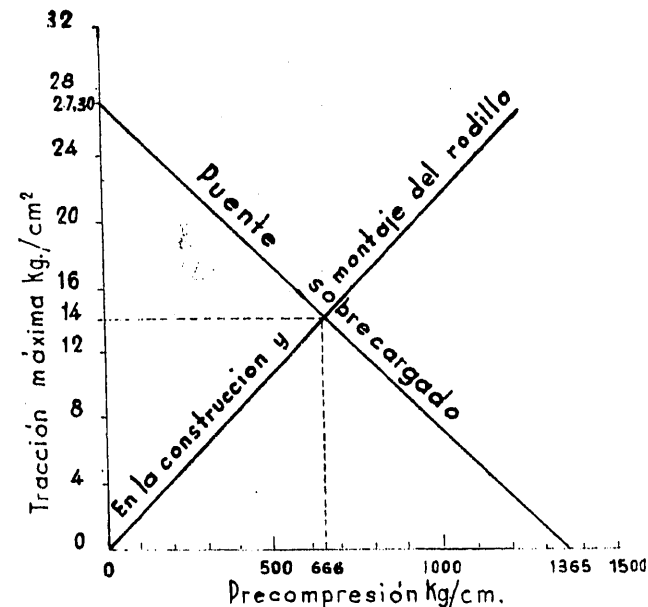


Figura 14.

era químicamente del mismo material del tubo, sus texturas eran bien diferentes, porque el último había sido fabricado según un proceso de laminación que orientó y comprimió sus fibras.

Este último fracaso nos hizo abandonar las ideas preconcebidas, encaminándonos hacia la solución que se adoptó.

6.º Se pensó no en armar, sino en precomprimir el tubo, relleno de hormigón en masa, según la dirección normal al plano de rotura por tracción.

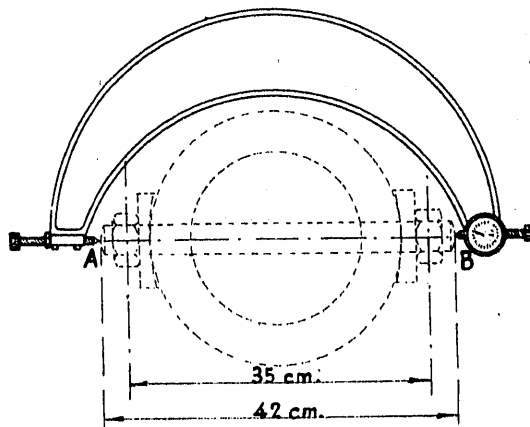


Figura 15.

La idea presentaba tres dificultades:

- Proyectar un dispositivo simple y económico para lograr y mantener la precompresión.
- Que esta precompresión fuese la necesaria, sin exceso ni defecto.
- Procedimiento práctico que diera en obra el control y garantía de que se aplicaba la precompresión óptima.

Respecto al primer punto, el dispositivo para producir y mantener la precompresión se componía, como se aprecia en la figura 13, de un sistema de redondos que atravesaban el tubo relleno sin adherencia alguna con él, y a cuyos extremos se fijaban con tuerca sendas zapatas metálicas que aprisionaban el rodillo, realizando su precompresión. Entre zapatas y rodillo se intercaló plomo en los primeros ensayos y definitivamente escayola.



Figura 16.



Figura 17.

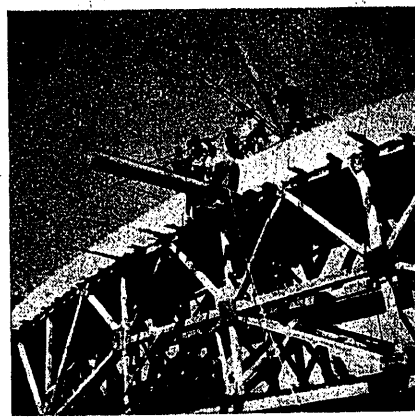


Figura 18.

Una vez conseguida la precompresión deseada, bastaba, para mantenerla, fijar las tuercas a las zapatas con puntos de soldadura eléctrica.

Respecto al segundo punto, para determinar el valor de la precompresión óptima se realizó un estudio teórico de las máximas tensiones de tracción que se desarrollaban en la masa del relleno, en función de dicho valor de precompresión y a lo largo de las distintas fases de las solicitaciones, teniendo en cuenta la deformación del propio dispositivo metálico. Las fases fueron: construcción y montaje del rodillo (sometido a la precompresión exclusivamente), presión de los arcos solos, del peso propio del puente terminado y del puente con sobrecarga máxima.

Resultaron las más desfavorables la primera y la última fase. En la figura 14 se representan las dos rectas correspondientes que relacionan la precompresión inicial en abscisas (Kg./cm. de generatriz) con la máxima tracción en el seno del relleno en ordenadas (Kg./cm.^2).

La intersección de estas rectas (666 Kg./cm. , 14 Kg./cm.^2) nos dió la solución teórica óptima.

Podemos decir con satisfacción que los ensayos ulteriores comprobaron cumplidamente esta previsión teórica, ya que un aumento de esta precompresión provocaba por sí misma la iniciación de fisuras, mientras que una disminución agotaba rápidamente la resistencia del rodillo en su solicitud normal.

Con la precompresión calculada de 666 Kg./cm. , los resultados del ensayo fueron los siguientes: a los 3060 Kg./cm. de solicitud, se observó una iniciación de fisura en el centro del relleno, que fué lentamente avanzando hasta los 4310 Kg./cm. , máximo valor que permitía la potencia de la prensa. Al disminuir entonces la solicitud por debajo de 3 Tn./cm. , se cerraba la fisura que quedaba inobservable. Al liberar el rodillo no quedaban huellas aparentes en él de los esfuerzos soportados, ni en el interior, ni en las generatrices de contacto.

La experiencia fué plenamente satisfactoria, pues aun aceptando la cifra de 4310 Kg./cm. como solicitud de rotura, el coeficiente real de seguridad, que en un puente debemos estimar como la razón entre la sobrecarga que produce la ruina y la sobrecarga máxima prevista, resultó ser 6,5.

Respecto al último punto, el procedimiento práctico para garantizar que la presión dada en obra con las tuercas era exactamente la precompresión de 666 Kg./cm. , consistió en una pieza metálica muy robusta, de forma semicircular, que se presenta en la figura 15, provista de un elongómetro de una centésima de milímetro de sensibilidad, con el que se medía el alargamiento elástico entre los extremos de cada uno de los redondos que se tensaban. Las dos puntas agudas del instrumento se introducían en pequeñas huellas producidas con granete en las cabezas del redondo.

Debo decir que no tuvimos dificultades en obra. Los rodillos se rellenaron, se precomprimieron y se montaron sin incidentes. Las figuras 16 a 18 muestran tres aspectos de las operaciones.

La Empresa constructora mostró el mayor celo, y el puente se terminó con esmero y rapidez.

Las fuertes pruebas de carga a que sometimos la obra demostraron sus excelentes condiciones, produciéndose flechas y giros elásticos del orden de magnitud previsto.

Sólo me resta subrayar lo que ya expuso Sánchez del Río. Que esta obra fué fruto de la colaboración de dos Servicios del Estado: la Jefatura de Obras Públicas de Logroño y la Jefatura de Puentes y Estructuras, y que esta colaboración fué tan íntima que comprendió desde el proyecto hasta la inspección de la obra. El Ingeniero encargado por la Jefatura de Logroño fué D. Alberto Pérez Moreno. Juntos trabajamos con entusiasmo y en alegre camaradería, bajo la experta y grata dirección de nuestros Jefes D. José R. Carracido y D. José M.^a Valdés Díaz Caneja, y fuimos secundados muy eficazmente por los Ayudantes de los respectivos Servicios D. César Colins y D. José Mariano Cañas.

Creemos que la complejidad de algunos problemas encomendados hasta ahora a un sólo Organismo de Obras Públicas, requiere el trabajo en equipo de varios Servicios para su más rápida y adecuada resolución. Y deseamos que este ensayo de labor en común de las Jefaturas de Obras Públicas de Logroño y de Puentes y Estructuras, que tan fructífero y grato resultó, sirva de ejemplo y precedente a otras posibles colaboraciones.