

EL NUEVO PUENTE DE ALMARAIL

Por ALFEDRO PAEZ

INGENIERO DE CAMINOS

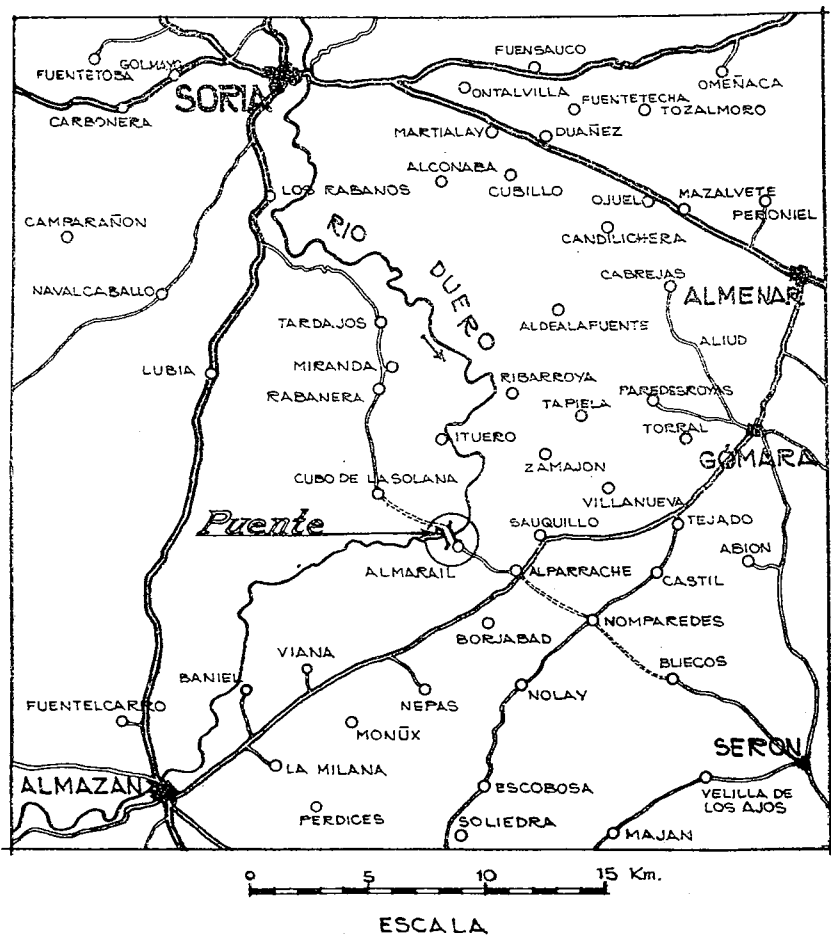
Revista "Altibela" N° 12?

SIEMPRE me ha aburrido el dibujo topográfico. Es un trabajo paciente. Se tardan horas y horas en hacer un plano del tamaño de una tarjeta de visita.

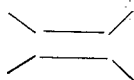
Por eso, el que aparece en la página siguiente, un mapita parcial de la provincia de Soria, no es topográfico. Me disgusta exigir a un delineante un trabajo que tan poco grato me fué en la época azarosa en que me preparaba para el ingreso en la Escuela de Ayudantes de Obras Públicas.

No niego la fidelidad y el acierto con que se eligieron los símbolos representativos. Lo cortés no quita a lo valiente. Cuando desde un avión, se contempla el paisaje, parece que se tiene desplegado ante los ojos un extenso plano topográfico. Las líneas férreas, las blancas carreteras, los olivares, las tierras de labor, se aparecen, desde las alturas, como aquellos dibujos de pesadilla. Las nubes, más bajas que el avión, me producen una sensación de contrariedad. Son equivocaciones. Una nube pequeña, es un cuarto de hora invertido en pasar la goma de tinta para borrar algo. Por eso su contorno queda impreciso. Si es blanco, resulta que la operación terminó. Si es grisáceo, peor. Con las prisas no se ha esperado a que la tinta estuviese seca, y se ha corrido. ¡Aún queda trabajo!

RED DE CARRETERAS Y CAMINOS VECINALES ENTRE SORIA, ALMAZAN Y ALMENAR



En el dibujo topográfico, los puentes se presentan así:



El lector puede ver uno de estos signos en ese plano que hay en la página anterior, en el centro del círculo que señala la situación del puente de Almarail.

A mí me parece que, aquí, el autor de los signos topográficos, tan brillante en otras ocasiones, se dejó influir por su estado de ánimo. Sospecho que cuando adoptó ese símbolo, tenía un jefe que era ingeniero de Caminos. Hay algo de resentimiento en esa representación, mezclado con unas gotas de fina ironía. Esa forma de embudo para entrar en el puente, parece expresar que, lo frecuente, es que la carretera se estreche al llegar a la obra.

Cuando, hace unos meses, estuve en Almarail sentí la desazón de si, aquel hombre, se había salido con la suya. El puente estaba terminado y, aunque aún faltaba por hacer la carretera, me pareció estrecho. Entonces estaba proyectando otro de hormigón pretendido de 32 metros de anchura, y los 7'50 metros que tiene el de Almarail me parecieron insuficientes para dentro de unos años. Tal vez, para cuando se termine de hacer la carretera.

1.955 No exagero. El proyecto de esta última data del año 1926.

Cuando un año antes se crearon los servicios de Vías y Obras provinciales, dependientes de las Diputaciones, se dispuso que estos organismos confeccionaran un plan de caminos vecinales que sirvieran para comunicar todos los pueblos de España. El plan era urgente. Debía ser sometido a la aprobación de la Superioridad en el corto plazo de un año.

Así se hizo en Soria. El proyecto comprendía una extensa red que abría nuevas líneas de comunicación entre los pueblos de la provincia. El autor del proyecto, el ingeniero de Caminos don Clemente Saénz, incluyó en el mismo un camino que titulaba de

Proyecto
de la
carretera.

Soria a Serón. Su trazado pasaba por los pueblos de Los Rábanos, Tardajos, Miranda de ~~Duero~~, Cubo de la Solana, Almarail, Alparrache, Nomparedes y Bliccos, apoyándose en un pequeño trozo de la carretera de Madrid a Soria, así como en unos caminos ya entonces contruídos, como eran los de Serón a Bliccos y de Almarail a Alparrache.

La ejecución de la via rural, exigía, como es natural, la construcción de algunas obras de fábrica. La más importante era la del cruce del Duero, a pocos kilómetros de Almarail. El puente, incluido en la categoría de «económicos», podía ser construído independientemente del camino.

El primer proyecto lo desarrolló D. Angel Ortiz Dou, pero más tarde y deseando soluciones originales, se acordó encargar un segundo proyecto a D. Eduardo Torroja, cuya figura, ahora mundialmente conocida, ya entonces gozaba de un gran prestigio técnico. La solución propuesta por Torroja fué, más que original, revolucionaria.

→ Autor del
HIPÓDROMO
de la ZARZUELA
(Madrid)
CONSTRUCTORA Y
BÓVEDAS de HERRERA

El genial autor de los acueductos de Tempull y de Alloz, demuestra, en Almarail, el acierto de sus soluciones, profundidad y elegancia. Cuando la técnica del hormigón pretensado aún no está desarrollada, Torroja propone un puente de este tipo, perfectamente estudiado.

Sin embargo, el proyecto no se realiza. Por razones diversas, se prefiere construir el camino de Los Rábanos a Cubo de la Solana, como parte integrante del plan general.

El puente cae en el olvido, porque el Duero es vadeable en aquella zona. Los campesinos pueden atravesarlo en carros y carretas. No es un sistema cómodo, pero, cuando hay tantos caminos por hacer, es lógico comenzar por aquellos que, siendo útiles, sean más económicos y así, con un mismo presupuesto, pueden hacerse más kilómetros y unirse más pueblos. El vado, el cruce de un río aprovechando una zona de poca profundidad tiene poesía, porque tiene aroma y susurro de evocadora tranquilidad.

Pronto, la Confederación Hidrográfica del Duero rompe este

encanto bucólico. Decide dominar al río en su cabecera, a poco de nacer, y construye el pantano de la Cuerda del Pozo.

Cuando la obra entra en servicio, el Duero, tan manso antes durante el estío, se convierte ahora en un río de fuerte caudal. La recolección de cereales queda entorpecida, porque ya no es posible cruzarlo en las épocas que suceden a la siega.

Los aldeanos de los pueblos ribereños protestan. Ellos estaban conformes con el carácter bonachón y complaciente del antiguo Duero. El actual, les parece díscolo y travieso, y si hay beneficios para unos terceros, desconocidos, estiman que no tienen por qué ser ellos los perjudicados.

La Confederación del Duero comprende la razón que les asiste y promete remediar el mal construyendo diversos puentes. Presionada por la insistencia de la demanda consigue la adquisición de unos tramos militares desmontables que podían ser rápidamente trasladados y colocados en los puntos convenientes.

De nuevo corren vientos a favor. Existiendo un plan general de caminos, la Confederación estimó, como solución más lógica, construir en Almarail un puente definitivo y reservarlos provisionales para otros pasos menos frecuentados. Con este motivo, la Diputación de Soria, entrega a la Confederación el proyecto del puente.

Pero, en los años transcurridos, la técnica del hormigón pretensado ha alcanzado su mayoría de edad. Ya no es aquella técnica vacilante e incipiente. Ahora ya se construyen aceros especiales para estas aplicaciones. La industria ha secundado las modernas orientaciones y el ingeniero dispone de nuevos materiales.

Cuando el constructor del puente solicita los datos para comenzar la ejecución, Torroja cree oportuno introducir las modificaciones que impone la presencia en el mercado de los nuevos productos de la industria española. El proyecto debe ser reformado por completo.

El tiempo apremia. La Confederación del Duero no quiere retrasar la obra y decide comenzar la construcción de la cimenta-

ción y pilas con arreglo al antiguo estudio. Mientras tanto, en colaboración con Torroja, autor del segundo proyecto, y con Martín Elvira, ingeniero de la Confederación, un tercer ingeniero desarrolla el tercero y definitivo proyecto.

Esta última solución no ofrece, a primera vista, ninguna particularidad digna de mención (fig. 2). Tres tramos rectos salvan el río. Sus luces son las corrientes en este tipo de obras: 20 metros los laterales y algo mayor, 30 metros, la central. Tampoco puede decirse que el puente sea muy atrevido por esbelto. Los cantos o espesores mantienen las proporciones usuales en los modelos de hormigón armado.

Usuales, por ser las más económicas.

Los tramos se hormigonaron por los sistemas normales, pero, cosa extraña, no se dejaron en su interior las gruesas barras de acero que constituyen la armadura. Sólo se pusieron unos escasos redondos de atado, unos pocos cercos y unas cuantas barras levantadas en las proximidades de las pilas.

El puente, así, no podía resistir, y, en efecto, después de endurecido el hormigón, se colocaron unos alambres de 5 mm. de diámetro por la parte exterior de las vigas, alambres que, corriendo longitudinalmente entre las dos alas de las dobleste, se enhebraron en unos cercos que, de trecho en trecho, salían del alma de los tramos.

¿Fué una originalidad, o un olvido debido a las prisas en terminar un proyecto desarrollado mientras se construían las pilas?

Hay un edificio en Madrid, un antiguo caserón, que, a pesar de haber sido siempre la sede de un departamento ministerial, no tiene la amplia escalinata de acceso a las plantas superiores, tan clásica en los centros públicos. Antes de realizarse unas reformas relativamente recientes, había que buscar por estrechos pasillos las escaleras que comunicaban unos pisos con otros. Los madrileños, con su intencionada ironía, no han dudado en atribuir, a un olvido del arquitecto, la caprichosa situación de las escaleras.

Se diría que, como en el edificio madrileño, también se le

olvidó al constructor del puente de Almarail la colocación de un elemento fundamental: la armadura. Esta podía ser la razón por la cual se dispuso, a última hora, un paquete de alambres que se dejó a la intemperie durante largos meses para, finalmente, taparlos a hurtadillas con el fin de disimular un lamentable olvido.

Algo hay, sin embargo, que no parece conforme con la verosimilitud de la leyenda. Espaciados a intervalos regulares se dejaron, durante el hormigonado de las vigas, unos redondos, que salían al exterior, terminados en una rosca y emparejados. Cuando se colocó la armadura, el paquete de alambres de 5 mm. se situó entre cada pareja de redondos. Finalmente, unas pletinas con sus tuercas fijaron los alambres al alma de la viga, roscándose sus extremos en los redondos salientes.

No hubo olvido.

Si la previsión de los redondos roscados rechaza tal posibilidad, parece obligado dar una explicación sobre las razones que pudieron motivar tan extraña disposición.

En estos últimos años viene desarrollándose, con creciente ímpetu, la técnica del hormigón pretensado. Su característica fundamental se basa en la posibilidad de emplear aceros de alta resistencia, en lugar de los redondos ordinarios. Aquéllos tienen la ventaja de su mejor coeficiente económico. A igualdad de esfuerzo resistido, el precio de una armadura especial es menor que el de una equivalente de acero ordinario.

Un acero de alta resistencia tiene una carga de rotura superior al cuádruple de la resistencia de uno corriente. Su precio es solamente el doble. Si para resistir un esfuerzo se precisan 45 kilogramos de acero normal, bastará con 10 kilogramos del acero de alta calidad para soportar la misma tracción, en idénticas condiciones de seguridad. El coste de esta última armadura —unas 150 pesetas— es inferior al de aquélla —unas 350 pesetas.

Es cierto que esta comparación no es rigurosamente válida en el caso del hormigón armado. Las fuertes deformaciones que necesita sufrir el acero especial para alcanzar las altas tensiones a

que puede trabajar, producen una excesiva fisuración en el hormigón, por la incapacidad, de este último material, para acompañar al metálico en sus alargamientos. Las armaduras han de colocarse así, con unos alargamientos previos. La ejecución de esta maniobra, las condiciones que imponen los momentos mínimos y el entubado de las armaduras que en muchos casos se requiere, suponen un conjunto de partidas que, a veces, superan las economías que se obtienen con la sustitución.

Reduciendo el problema a sus líneas esquemáticas, se deduce que la técnica del hormigón pretensado conducirá a soluciones económicamente aceptables, cuando la reducción en el coste de la armadura, causada por la sustitución del acero ordinario por unos aceros de alta resistencia, compense los gastos adicionales creados por la maniobra de pretensado y por el coste de los tubos en los cuales está alojada aquella armadura.

Cuando el precio del acero especial es varias veces superior al del ordinario, las soluciones pretensadas son antieconómicas. Esta afirmación, que más bien puede parecer una descarada incursión por los terrenos de Perogrullo, ha sido el motivo por el cual son pocas las obras españolas de hormigón pretensado.

Puede decirse que, sólo desde hace cuatro años, la industria española viene produciendo aceros de alta resistencia a precios moderados, en relación con el coste del acero ordinario, y sólo desde finales del año 1954 se ha podido contar con unos dispositivos, genuinamente españoles, apropiados para el anclaje y tesa-do de los aceros nacionales de alta resistencia.

El puente de Almarail es la obra española en que, por vez primera, se aplica la técnica del hormigón pretensado conforme a las más modernas orientaciones, se emplean los nuevos aceros y se manejan los primeros gatos nacionales, especialmente concebidos para esta modalidad constructiva. Antes, en los años 1926 y 1942, los acueductos de Tempull y Alloz, en Cádiz y en Navarra, respectivamente, habían ya materializado las posibilidades del sistema en dos ejemplos, difíciles de superar. Sin medios adecua-

dos para desarrollar los esfuerzos de pretensado, Torroja construyó ambos acueductos empleando cables como armaduras. Unos gatos hidráulicos de tipo normal, ingeniosamente utilizados, le bastaron para tesar los cables que se anclaban en el hormigón destrenzando los cordones.

Aún hay otros precedentes.

El de San Celoni, sobre el río Tordera, realizado en fecha muy reciente, registra la introducción en España de una patente extranjera para tesar redondos de 18 mm. de diámetro con sus extremos roscados.

En Almarail es donde por primera vez se emplean los aceros nacionales especiales para la técnica del hormigón pretensado. Unos aceros, cuya producción industrial sólo contaba, entonces, con pocos meses de existencia. Unos aceros, cuyo comportamiento en ensayos rápidos de carga era excelente, pero que, por razón de su reciente origen, no podían garantizar la permanencia de sus características mecánicas a lo largo del tiempo.

Había que hacer unos ensayos a largo plazo.

Los ensayos de distensión, fluencia y relajamiento son, por naturaleza, forzosamente lentos. El estudio experimental de las características reológicas de un material, precisa la inmovilización de las máquinas de ensayo durante largos plazos, o la construcción de dispositivos adecuados.

Había que ensayar.

La propuesta de que fuese el puente de Almarail uno de tales dispositivos, encontró un eco favorable en la Confederación Hidrográfica del Duero, de cuyo servicio dependía la construcción de la obra. Es evidente que los resultados no podrían medirse y registrarse con la precisión y regularidad características de los ensayos de un laboratorio; pero, desde un punto de vista práctico, las conclusiones tendrían el valor que proporciona la escala y las condiciones reales de ejecución.

Con una encomiable amplitud de criterio y un acertado sentido de los problemas económicos nacionales, la citada Confede-

PUENTE de
ALMARAIL:
Ensayo de los
nuevos
técnicos (1955)
del hormigón
pretensado

ración autorizó, por medio del ingeniero de Caminos Martín Elvira, la construcción del puente con arreglo a la técnica del hormigón pretensado, empleando como armaduras los aceros especiales de reciente aparición.

Todavía la industria española no había comenzado a producir, a precios económicamente aceptables, los conductos metálicos para alojar las armaduras. El precio prohibitivo de los tubos disponibles en el mercado y la conveniencia de dejar la armadura accesible para una posible sustitución, aumento y reparación de alambres, hizo que el proyecto presentase la extraña particularidad de ofrecer la armadura visible desde el exterior.

De este modo, pudo comprobarse el comportamiento del acero sometido a deformación constante. La armadura, recta de extremo a extremo, libre de toda adherencia y rozamiento por curvaturas en el trazado, pudo tesar desde los extremos del puente. Al llegar al tramo central, en el final de la ménsula que soporta el tramo isostático del vano de 30 metros, los alambres vuelven al punto de partida, apoyándose en unos semitubos metálicos dispuestos, a tal fin, en el borde libre del voladizo. Este sistema presenta la ventaja de constituir un económico anclaje del paquete de alambres, ocupando escaso lugar y facilitándose notablemente la colocación de la armadura.

Si en lugar de disponerse rectos los cables, se hubieran colocado en la posición teóricamente conveniente en cada sección, se habría conseguido una ligera economía en la cantidad de armadura necesaria. Esta economía puede actualmente incrementarse mediante la inyección de la lechada de cemento que solidariza el acero con el hormigón, pero en Almarail no se hizo así. Primeramente, cuando se curvan tales armaduras para amoldarlas a las posiciones recomendadas por el cálculo, aparecen codos que, al tesar los alambres, suponen puntos de fricción que perturban la uniformidad del trabajo del acero. Esta circunstancia, que no tiene un gran valor cuando posteriormente se inyecta el conducto de las armaduras, supone, por el contrario, un serio inconveniente cuando se trata de deducir conclusiones experimentales.

Y el puente de Almarail, durante un año, más que un puente, fué un laboratorio.

Por otra parte, la economía obtenible por el curvado de la armadura, no sólo se compensaba, sino que resultaba inferior al sobrecosto originado por el entubado de la misma. No hay que olvidar que, por tratarse de un prototipo, y emplearse una técnica para la cual las cuadrillas no estaban preparadas, convenía simplificar las operaciones de colocación y tesado en todo lo posible, máxime cuando se deseaba una fiscalización directa de las condiciones en las cuales estaba la armadura que, en definitiva, se ensayaba.

De la armadura Todas estas razones son las que motivaron su situación exterior, bordeando el alma de las vigas principales. Merced a estas precauciones, se pudo colocar con toda facilidad, y el tesado de los alambres se desarrolló con toda normalidad y a creciente ritmo, conforme aumentaba la práctica de los operarios, siendo verdaderamente notable el hecho de que no se registrase percan-ce alguno, ni rotura de alambres o deslizamiento de cuñas.

Después de tesar la armadura, se procedió al desencofrado de los tramos laterales y, finalmente, a la construcción del isostático central, que, en esta obra, cuelga de los voladizos de aquéllos. Unos redondos, anclados en los voladizos, constituyendo unas bielas o aparatos móviles de apoyo, le proporcionan la sustentación isostática adecuada. El dispositivo, original de D. Eduardo Torroja, ha funcionado con toda perfección y constituye una interesante particularidad de este verdadero puente experimental. La junta entre una y otra parte de la estructura siguió las oscilaciones térmicas sin la brusca discontinuidad en los corrimientos que se observa en los sistemas tradicionales. En estos últimos, la fuerte presión que un tramo ejerce sobre el otro impide el normal deslizamiento relativo de las piezas en contacto.

Pasado un año, se efectuó el retesado de la armadura.

Esta operación constituyó la base para obtener los resultados que se pretendían conocer. La armadura, sometida a la deforma-

ción impuesta por el tesado inicial de los alambres, podía haberse relajado bajo las fuertes cargas unitarias de servicio a la cual estaba sometida desde un principio.

Con todo el puente ya totalmente terminado, a excepción de los estribos de acceso, se procedió a una segunda colocación de los gatos. Una vez sujetos los alambres al gato, se le dió presión a éste hasta alcanzar, de nuevo, el valor manométrico inicial. Las cuñas no se movieron de su sitio. Hechas las oportunas señales en el metal, se superó la carga hasta desbloquear las cuñas de retención. Los alambres experimentaron entonces un movimiento, hacia el exterior, a causa de la sobrepresión ejercida por el gato. Llevados a su posición inicial mediante el descenso de la presión ejercida en ellos, se observó que su valor correspondiente era el mismo que el de la inicialmente dada.

El acero no había sufrido pérdidas sensibles de tensión por relajamiento, dentro de las tolerancias que es forzoso admitir en los manómetros indicadores. En rigor, debe decirse que la variación fué inferior a las tolerancias admisibles en obra por rozamientos en los tacos finales, en el vértice de los conos de apertura y en los pistones del gato, así como por la falta de reproducibilidad de las lecturas manométricas.

La comprobación de la tensión se hizo en varios de los grupos de tres alambres que componen el paquete de armaduras. En todos ellos, el resultado fué el mismo: no se apreciaron pérdidas.

Después de asegurarse de que la armadura no presentaba señales de oxidación, se procedió a recubrirla con un mortero de cemento para dejarla defendida de la intemperie. El puente, cumplida su primera misión, dejó de ser un laboratorio para desempeñar su finalidad funcional.

Una vez comprobado el comportamiento de los aceros españoles de alta resistencia bajo cargas mantenidas, sólo queda completar los estudios experimentales con diferentes cuantías de armaduras, entubadas con y sin inyección, para aprovechar al máximo las propiedades de los materiales empleados en los diferentes casos de aplicación práctica.

Esta segunda serie de experiencias, ya en pleno desarrollo, permitirá reducir la sección de armaduras a los límites estrictos, obteniéndose, con estos estudios, unas economías incomparablemente superiores al débil sobrecosto que representa la diferencia de presupuesto entre un puente experimental y una solución rutinaria.

La investigación es una inversión colocada a un alto interés.

El puente está terminado y, como curioso contrasentido, la construcción del camino entre Cubo y Almarail no está en la fase avanzada que cabía esperar. El cruce del Duero en Almarail es impracticable para los vehículos porque, faltan los accesos. Cuando se termine este trozo, se establecerá la continuidad entre Soria y el punto medio de la carretera de Almazán a Gómara. Una vez construido el tramo de Alparrache a Bliecos, el camino de Soria a Serón será una realidad.

Esta es la historia del puente de Almarail. La historia de un puente que antes de resistir el peso del tráfico, tuvo que soportar, cargado de responsabilidad, todo el peso de una teoría. Aún no está inaugurado, aún no está en servicio y ya ha cumplido una misión trascendental: la de abrir nuevos caminos a la técnica.

En Soria, sobre el Duero, hay un Laboratorio que trabaja sin descanso.

* * *

Desde estas líneas, deseo felicitar efusivamente a la empresa constructora del puente, lo mismo que a la de los gatos hidráulicos y a la de los aceros por la magnífica ejecución de sus respectivos productos. Los técnicos españoles debemos agradecer a estos industriales su celosa colaboración en el desarrollo de la técnica del hormigón pretensado y agradecer también a la Confederación Hidrográfica del Duero la ocasión que ha brindado en provecho, no sólo de los demás servicios del Ministerio de Obras Públicas,

sino también en beneficio de todos los que utilizan esta moderna técnica.

Finalmente, quiero rendir tributo de agradecimiento al ingeniero D. Clemente Saénz, quien me ha facilitado noticias relativas a los curiosos antecedentes de este activo laboratorio disfrazado de puente.

El Duero lo vigila.

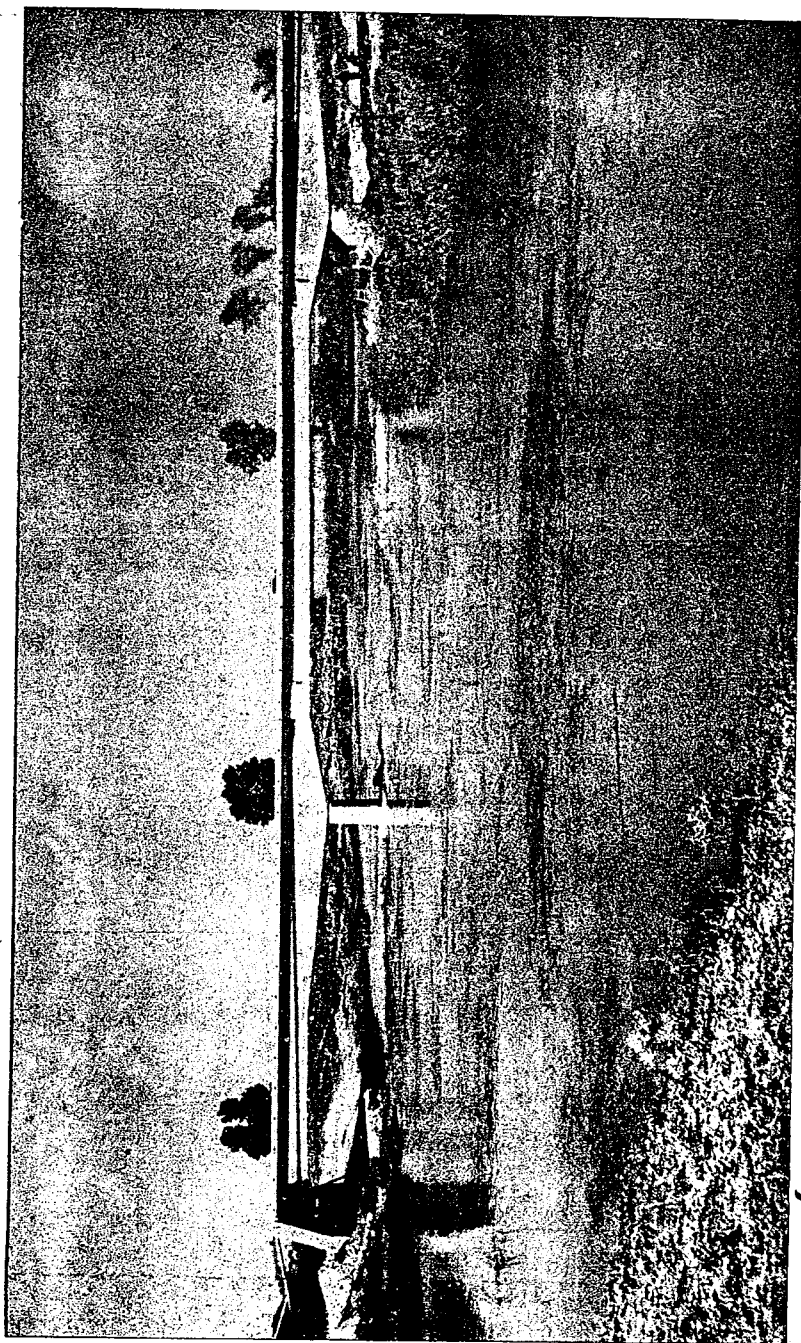


Fig. 2. Vista general del puente de Almarqil

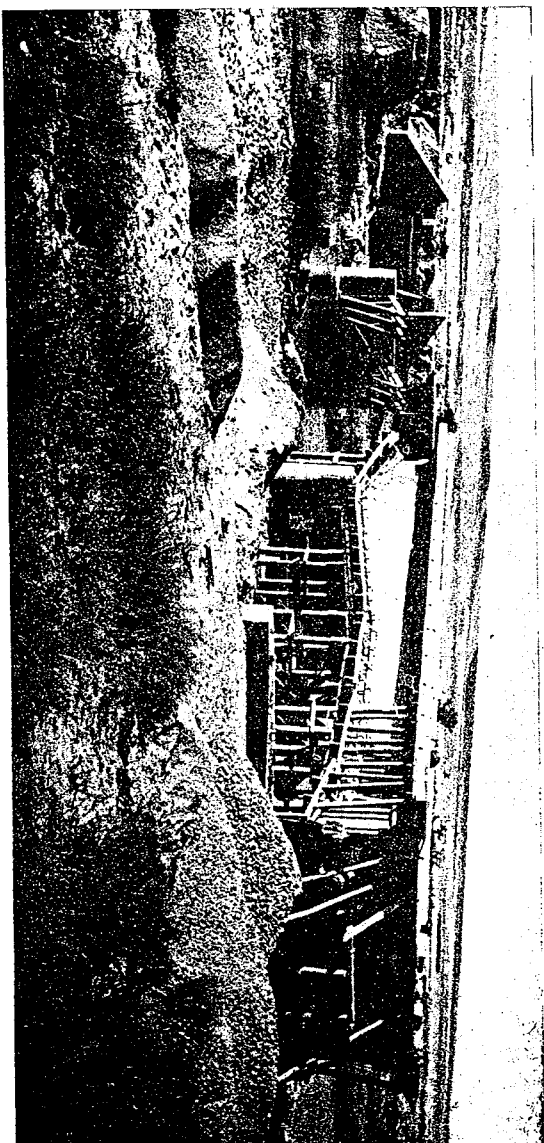


Fig. 3. Puente de Almavail. Tramo lateral izquierdo durante la construcción



Figs. 4 y 5. Apréciase en la primera la suspensión del tramo isostático (izquierda), y los ventanillos dejados para disponer e' retorno de los alambres de la armadura. En la segunda aparecen estos mismos alambres ya colocados

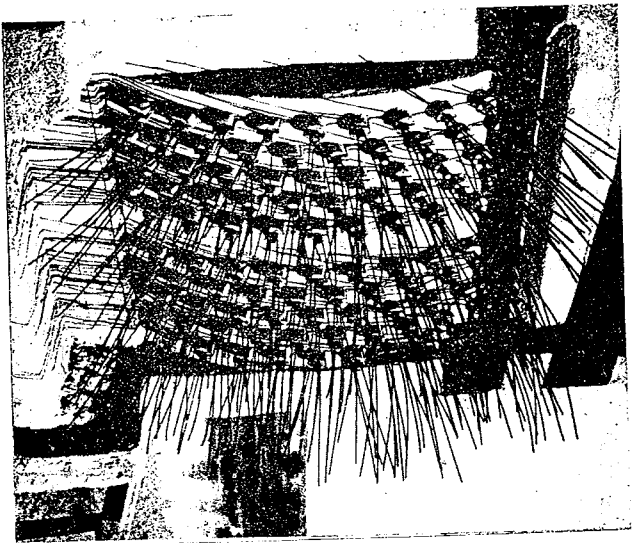


Fig. 6 Aspecto de la cabellera de alambres después de su tesado



Fig. 7 Aspecto definitivo de uno de los paquetes de alambres