

# punte, en Hagen

Ings. Dipls. H. WITTFOHT y H. REISSE,  
de la casa Polensky & Zöllner



562 - 84

## sinopsis

El puente de Hagen-Eckesey (Alemania) fue destruido durante la última guerra mundial, y su reconstrucción ha sido incluida en un plan local de mejoras. El proyecto inicial era metálico, pero razones importantes aconsejaron la solución en arco atirantado, con vigas-cajón como elementos de rigidez en un tramo central de 93 m de luz, y dos tramos laterales, de 33 m de luz, con estructuras aperticadas cuyos cabezales son también vigas huecas tipo cajón. Tanto los tirantes como las piezas de puente son pretensados. Los dos arcos, de los que está suspendido el tablero, son independientes, lo que ha exigido una solidarización con las vigas de rigidez para transmitir los efectos de un viento normal a los soportes y de éstos al suelo. Dada la gran longitud y efectos del pretensado, se estudiaron detenidamente los efectos de torsión y pando. Los arcos se han espaciado a 12,90 m, tienen una sección de  $1,2 \times 1,2$  m en arranques,  $2 \times 2$  en el cuarto de la luz, y  $2,4 \times 1,70$  m en la clave. Las pruebas de cargas y sobrecargas se realizaron utilizando oscilógrafos que registraban las oscilaciones de cargas móviles e incrementos de sobrecargas estáticas. Para simular, durante las pruebas, el fenómeno de rodadura sobre un camino ondulado, se colocaron tabloneros de madera en la calzada para que los vehículos de carga se moviesen sobre ellos.

## Introducción

La reconstrucción del puente de Hagen-Eckesey (Alemania), que salva una playa de vías de maniobras de la estación de dicha localidad, ha sido incluida en el plan general de mejoras y electrificaciones del trozo del trazado que afecta a Hagen.

El puente original había sido destruido durante la última conflagración mundial. Las condiciones locales parecían aconsejar la reconstrucción con una estructura metálica de tres tramos, dos laterales de unos 33 m de luz y uno central de 93 m. Después de sacado el anteproyecto a concurso se pensó, aunque el plazo previsto no había expirado, que las dificultades de las acerías en los plazos de entrega y el volumen económico de la obra aconsejaban, preferentemente, una construcción de hormigón. Así se hizo abriendo un nuevo concurso.

De este nuevo concurso salió la solución definitiva y la adjudicación a la casa Polensky & Zöllner, la cual, aunque no era precisamente el mejor postor, sí presentaba, en cambio, la garantía de su reconocida solvencia en asuntos de construcción y ofrecía el plazo más corto de ejecución: 11 meses.

83



Entramado provisional y cimbra.

## Ideas generales del proyecto

Las condiciones locales impusieron la división en tres tramos: uno central, de 93 m de luz, y otros dos, de acceso al mismo, de unos 33 m, lo que da una longitud total de 159 m, aproximadamente.

La parte de mayor importancia de la obra es su tramo central, formado por un arco atirantado, subdividido en dos independientes situados en planos verticales paralelos y espaciados entre sí a 12,90 m. Los tirantes, correspondientes a los dos arcos, son dos vigas-cajón, monocelulares, arriostradas con elementos transversales. Sobre estas vigas, sostenidas por péndolas ancladas en los arcos, se ha construido el tablero del puente.

La relación flecha/luz en los dos tramos laterales es de 1/30, y en ellos el tablero se apoya también sobre una viga de doble cajón. Estas vigas, tanto de los tramos de acceso como del central, se hallan al mismo nivel, pero únicamente las del tramo central se han sostenido con péndolas espaciadas a 7 metros.

El esfuerzo provocado en los arcos por la acción del viento ha de ser absorbido por ellos mismos, por cuya razón, en sus arranques, se han empotrado con las vigas transversales. El empuje que crea el arco central se contrarresta con el tirante de cada uno de los arcos. La línea de presiones que originan las cargas permanentes tiene la forma de una parábola.

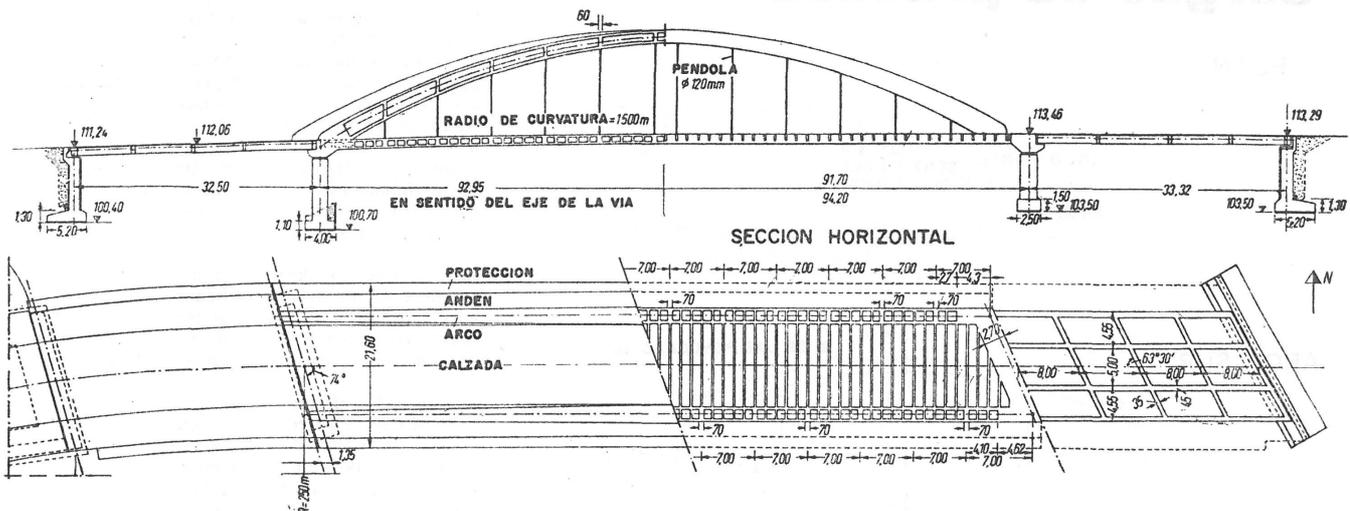
La sección transversal de los arcos es variable: de 1,2×1,20 m en arranques pasa a 2×2 m en la cuarta parte de la luz y a 2,4×1,70 en el vértice.

Los soportes llevan en su parte superior unos dados, espaciados a unos 4,5 m, sobre los que descansan las piezas transversales del tablero que distribuyen los esfuerzos sobre los apoyos. Estas piezas transversales se han espaciado a 1,40 metros.

Las péndolas inicialmente previstas eran de hormigón pretensado, de 25×30 cm de sección transversal, pero posteriormente se sustituyeron por otras, de acero, de 12 cm de diámetro, que daban mayor esbeltez al puente.

Con objeto de evitar acumulaciones de efectos de torsión, la unión entre tramos se ha realizado de tal forma que sean independientes a estos efectos.

# planta y alzado



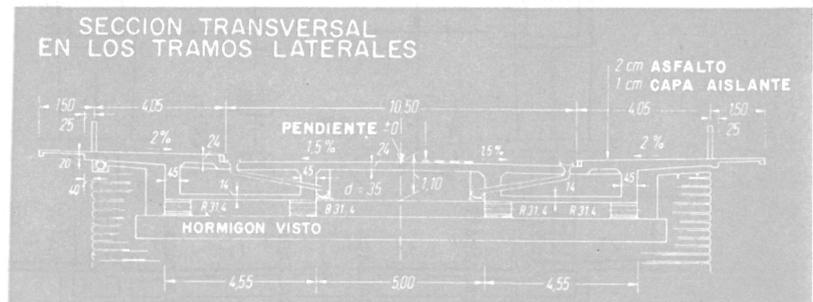
## Estudio estático

La superestructura se ha pretensado, tanto en el sentido longitudinal como en el transversal. Para su cálculo se partió de la norma 60 DIN 1072. Los esfuerzos longitudinales del pretensado fueron de 7.300 t en el tramo central y de 5.700 t en los tramos de acceso. Las armaduras transversales se tesaron a 1.270 t en el central y a 84 t en los tramos laterales. Como el tesado se efectuó por cables alternados, la tensión es prácticamente la misma en todo el tirante y puede variar de  $-93 \text{ kg/cm}^2$  a  $+19,8 \text{ kg/cm}^2$ . Los tramos laterales se tesaron a partir de los extremos, pues el espacio en la junta con el tramo central no permitió la colocación de gatos. Las tensiones límite en estos tramos varían de  $-112,4 \text{ kg/cm}^2$  a  $+1 \text{ kg/cm}^2$ .

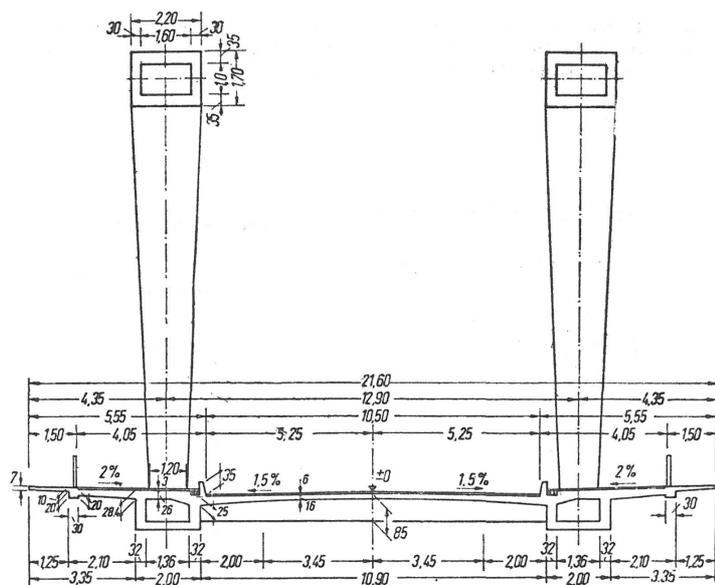
Las cargas uniformemente repartidas producen también deformaciones uniformes en los elementos transversales pretensados y, como consecuencia, se originan torsiones, mientras que si se trata de cargas concentradas, el efecto de torsión es mucho menor.

Para el cálculo de torsiones se tuvo en cuenta, no sólo el grado de empotramiento entre piezas transversales y vigas, sino los distintos procedimientos que conducen a la determinación de momentos de torsión según el grado de empotramiento y condiciones de carga.

A las vigas del tablero se les dio una contraflecha de 0,75 m. La diferencia de temperatura admitida entre el arco y vigas del tablero se supuso de  $5^\circ \text{C}$ . Como los arcos carecen de arriostramiento transversal, el cálculo del coeficiente de seguridad de pandeo en el sentido longitudinal fue de 3,7 y, en cambio, el exigido en las normas DIN correspondiente a este arco es de 4,2. La carga máxima de una péndola es de 168 t, de las cuales 8 t corresponden al efecto de la contraflecha que se ha dado a las vigas de rigidez del tablero. Esta carga disminuye con la distancia a los arranques, llegando hasta el 90 por 100 de la anteriormente indicada.

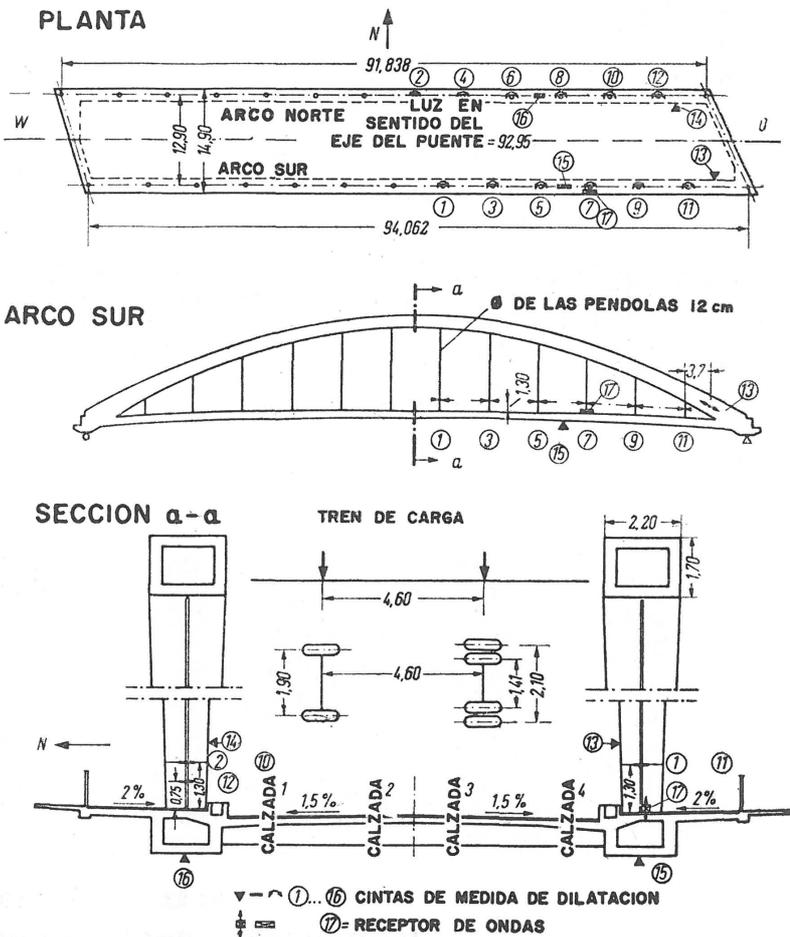


## sección transversal del tablero



## sección transversal de arcos y tablero

# cargas de pruebas



## Ensayos de cargas

Para la comprobación de los datos obtenidos se procedió a ensayos de cargas en el tramo principal del puente, fijándose, preferentemente, en el comportamiento de las péndolas y en las amplitudes y frecuencias de la oscilación. Los ferrocarriles alemanes contribuyeron a estos ensayos poniendo a disposición un tren, provisto de un laboratorio, que previamente se utilizó para la determinación de flexiones y tensiones en Wappertal.

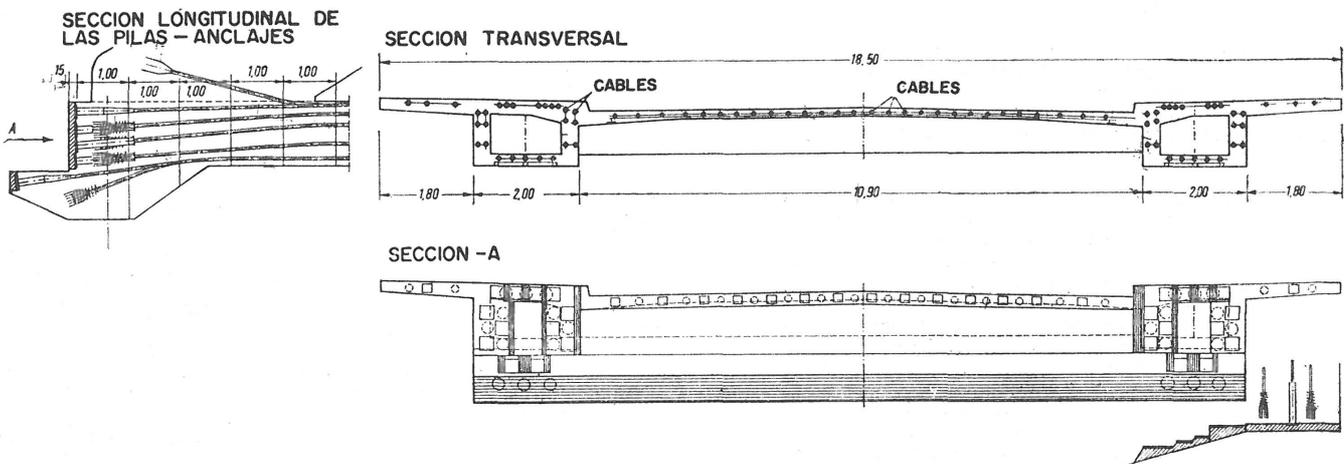
Las pruebas de flexión, en ciertos puntos elegidos, se realizaron utilizando camiones cargados con 4 t. Y las de tensión en las péndolas, arcos y tirantes se efectuaron con camiones cargados y en movimiento.

Las medidas dinámicas se obtuvieron con dispositivos electrónicos, colocando unas cintas detectoras de cargas en una fila de péndolas y conectándolas en serie, con lo que se logró excluir la influencia de los momentos flectores y registrar solamente las tensiones procedentes de fuerzas normales.

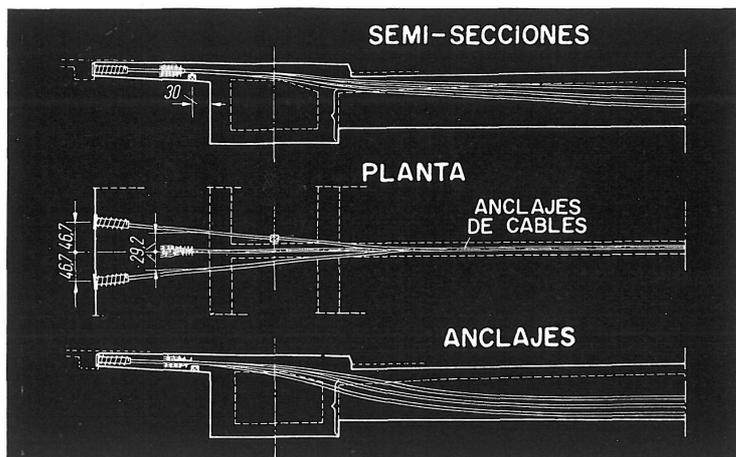
En los dos estribos de un arco y en las cuartas partes de la luz de la viga de rigidez se colocaron dispositivos de medida. Las oscilaciones producidas durante los ensayos de carga se registraron con un sismógrafo oscilante, y las registradas en los 17 puntos elegidos se fotografiaron a la vez, valiéndose de amplificadores, en dos oscilógrafos.

Para la carga se emplearon cuatro camiones de 16,5 t de peso cada uno. La deformación máxima obtenida en los ensayos de flexión fue de 7,24 mm en el punto situado en la cuarta parte de la luz y con una carga de dos pares de camiones en dos filas, es decir, un par en cada fila. Las deformaciones obtenidas están de acuerdo con las calculadas como si se tratara de cargas concentradas.

En los ensayos con cargas móviles, las velocidades variaban de 12 a 34 km/hr. La mayor tensión pertenecía a la segunda péndola, a partir del arranque, correspondiente a la denominada 9 y originada por cuatro camiones en fila. En las demás péndolas la carga varió de 99 a 108 kg/centímetro cuadrado.



## pretensado



Excepcionalmente, las péndolas inmediatas a los estribos presentaron una tensión de 64 a 81 kg/cm<sup>2</sup>, aunque en ellas se esperaban valores máximos calculados teóricamente teniendo en cuenta su reducido alargamiento elástico. Es evidente que una hipotética articulación entre arco y tirante no es admisible en los arranques y que el empotramiento entre tirante y arco debía conducir a una disminución notable de la capacidad de suspensión en las extremidades. Las tensiones en los arranques fueron de  $-3 \text{ kg/cm}^2$  con  $E=350.000 \text{ kg/cm}^2$  para el tirante de hormigón pretensado a  $22 \text{ kg/cm}^2$  con  $E=400.000 \text{ kg/cm}^2$ . Teóricamente, la carga era de  $26 \text{ kg/cm}^2$ , de los que  $3 \text{ kg/cm}^2$  corresponden a la sobrecarga y  $23 \text{ kg/cm}^2$  al peso propio.

Los efectos del aumento de tensión debido a sobrecargas móviles se estudiaron por medio de oscilógrafos que registraban estos aumentos de tensión. Aparte de los ensayos normales de efectos de cargas, también se realizaron otros utilizando tabloncillos como superficie de rodadura para las sobrecargas móviles, con lo que se consiguió un efecto similar al que tiene lugar cuando la carga se mueve sobre una mala calzada.

En los ensayos se pudo comprobar que las dos péndolas más próximas a los arranques del arco son las que presentan mayores sollicitaciones, y en las restantes, los esfuerzos varían entre 11 t y 12 t. Para el estudio de la distribución de cargas en el sentido transversal se utilizó el método de superficies de influencia.

## Ejecución

Las uniones entre péndolas y vigas de rigidez constituyen partes de mayor importancia en los arcos atirantados. En estas uniones, las vigas huecas se han reforzado con diafragmas transversales próximos a la unión, aumentando la cuantía de armaduras.



Vista de un soporte intermedio.



Fotos:  
WERKFOTO

Las péndolas se solidarizan con arco y viga mediante roscas de unión—en placas metálicas convenientemente ancladas—y tuerca de fijación.

El esfuerzo total de tesado es de 5.300 t en el tirante. Las pérdidas de tensión por fluencia y contracción son de un 10 por 100. El empuje debido a la acción del arco es de 3.050 t, aproximadamente. Para la transmisión del empuje del arco al tirante se tenía que solidarizar fuertemente la unión de estas dos partes, para lo cual se dispuso de cinco filas de tres barras cada una, obrando como armaduras de pretensado.

Las piezas transversales del tramo central tenían 20 cm de espesor, lo cual no era suficiente para permitir un buen anclaje de las armaduras, por cuya razón se realizó en las extremidades del tablero. El pretensado transversal tenía que transformar los momentos de torsión y los de dirección horizontal en otros de flexión.

De los dos apoyos del tramo central, uno es fijo y el otro móvil. Los tramos laterales se unen al central mediante apoyos articulados, y tienen sus rodillos sobre los estribos.

Para el hormigonado de las dos vigas de rigidez del tablero, tipo cajón, los encofrados se prepararon sobre un entramado auxiliar compuesto de varios tramos con luz máxima de 25 m, distancia que variaba de acuerdo con la disposición de las vías y espacio libre que se disponía.

La capacidad de sustentación del suelo se fijó en 8 kg/cm<sup>2</sup>. Como la construcción primitiva era metálica, los cimientos de los soportes se tuvieron que reforzar porque las cargas originadas por el arco de hormigón eran mayores. La construcción se realizó sin interrumpir el tráfico ferroviario, y el montaje de las vigas del entramado provisional, que sirvió de apoyo a los encofrados, se llevó a cabo de noche con el mismo objeto.

El hormigonado empezó en las vigas de rigidez y arranque de arcos, continuando después en el resto. Una vez endurecido el hormigón, se procedió al tesado del pretensado transversal y a un 10 por 100 del longitudinal, observando el posible despegue entre vigas y encofrados. La terminación del tesado longitudinal se hizo después de haber endurecido el hormigón del arco.

El hormigonado simultáneo de los arcos se verificó por trozos: 7 en total. La transmisión de esfuerzos de las péndolas se logró por fases sucesivas y conservando la mayor regularidad posible de las cargas.

Terminado el hormigonado en el tramo central, se procedió a la construcción de los tramos laterales.

## **Pont à Hagen**

Ing. Diplômé Hans Wittfoht et Heinz Reisse, de la maison Polensky & Zöllner.

Le pont de Hagen-Eckesy (Allemagne) fut détruit pendant la dernière guerre mondiale et sa reconstruction a été incluse dans un plan local d'améliorations.

Le pont projeté initialement était métallique, mais des raisons importantes, conseillèrent la solution en arc à tirants. La rigidité du tablier a été acquise au moyen de deux poutres caisson. La portée de la centrale est de 93 m et celle des deux autres, d'accès, de 33 m.

Les tirants et les longerons sont précontraints. Puisque l'arc central se compose de deux arcs indépendants entre eux, sans aucun contreventement, on a été conduit à une solution d'ancrage renforcé aux naissances des arcs pour mieux résister aux effets transversaux du vent. Étant donné la grande longueur et les effets de précontrainte, on a étudié soigneusement les effets de torsion et de déformation. Les arcs, espacés de 12,90 m, ont une section de 1,2 m sur 1,2 aux naissances, 2 m sur 2 au quart de leur portée et 2,4 m sur 1,70 à la clé.

Les essais de charges et de surcharges ont été réalisés à l'aide d'oscillographes enregistrant les oscillations de charges mobiles et accroissements de surcharges statiques. Pour simuler, au cours des essais, le phénomène de roulage sur un chemin ondulé, des planches de bois ont été posées sur la chaussée pour que les véhicules de charge roulent dessus.

## **Bridge at Hagen**

Dipl. Engs. Hans Wittfoht and Heinz Reisse, of Polensky & Zöllner.

The bridge at Hagen-Eckesy, in Germany, was destroyed during the last war, and its reconstruction is part of a local improvement plan.

The initial bridge was metallic, but it has now been decided to build a main tied arch, consisting of a box section arch, of 93 m span, and two lateral spans, each 33 m long. These two are open girders, whose top and bottom chords are also hollow box sections.

Both the tie members and the main bridging structures are prestressed. The twin arches, from which the deck hangs, are independent. This has made it necessary to attach the arches very rigidly to the stabilising structure, to withstand the powerful effect of the wind forces. Owing to the large dimensions, the possible effect of torsion and buckling under the prestressing forces had to be carefully considered. The twin arches are 12.90 m from each other, and their section is 1.2×1.2 m at the springers, 2×2 m at the quarter span, and 2.4×1.7 at the crown.

During the loading and overloading tests, oscillographs were used, to record the effect of mobile loads, and of the increasing overloads. To simulate the effect of running over uneven surfaces, timber beams were placed across the pavement, and loaded vehicles were made to run over them.

## **Fuhrparkbrücke in Hagen (Deutschland)**

Dipl. Ing. Hans Wittfoht und Dipl. Ing. Heinz Reisse, von der Firma Polensky & Zöllner.

Die Brücke Hagen-Eckesy wurde während des letzten Weltkrieges zerstört und im Rahmen eines Elektrifizierungsprogrammes der Bahnstrecke in der Nähe von Hagen wieder aufgebaut.

Das Anfangsprojekt sah eine Metallbrücke vor, doch wichtige Gründe rieten zur Lösung einer Bogenbrücke mit Verstrebung, Hohlkastenträgern als Aussteifungselementen im Mittelfeld von 93 m Spannweite und zwei Seitenfeldern von 33 m Spannweite, mit Rahmenkonstruktionen, deren Kopfstücke ebenfalls Hohlkastenträger sind.

Sowohl die Zugbänder als auch die Brückenteile sind vorgespannt. Die zwei Bögen, an denen die Brückenplatte hängt, sind unabhängig, was eine Anpassung an die Versteifungsträger notwendig machte, um die normale Windlast über die Stützen in die Erde zu leiten. Auf Grund der Länge und Wirkungen der Vorspannung wurden die Torsions- und Knickeffekte eingehend studiert. Die Bögen haben einen Abstand von 12,90 m, einen Querschnitt an den Brückenenden von 1,2×1,2, nach 1/4 der Spannweite 2×2 und im Brückenschluss 2,4×1,70 m.

Die Belastungsprüfungen wurden mit Hilfe von Oszillographen durchgeführt, die die Schwingungen von beweglichen Lasten und das Anwachsen der statischen Überbelastungen registrierten. Um schlechte Strassenbedingungen für die Versuche nachzuahmen, wurden Holzbohlen auf die Fahrbahn gelegt, über die dann die Belastungsfahrzeuge hinüberfahren.