



1

puente sobre el tramo inferior del Elba HAMBURGO

H. ASCHENBERG y G. FREUDENBERG, ingenieros diplomados

565-31

sinopsis

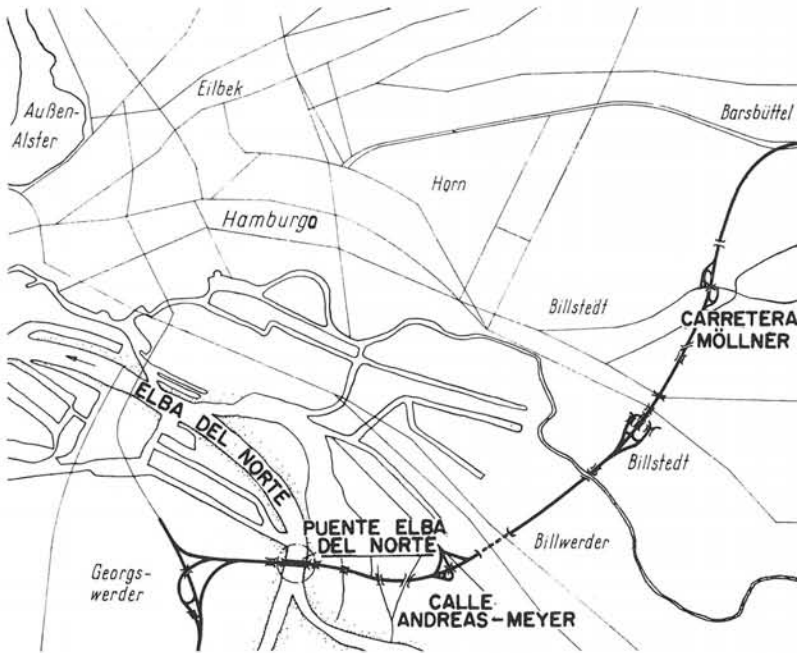
Este puente, que une las autopistas Hamburgo-Hannóver y Hamburgo-Lübeck, tiene 411 m de longitud, 30,74 m de anchura y 5 tramos.

El entramado de rigidez del tramo central, de 172 m de luz, que está suspendido por cables que se apoyan en dos torres, de 53 m de altura respecto a la calzada, tiene la sección transversal formada por un cajón central y dos vigas laterales de alma llena con un canto uniforme de 3 m. Dichas torres soportan dos paquetes de cables que se apoyan en sillas montadas a diferente altura, estando estos apoyos organizados de forma que permitan los movimientos provocados por las diferencias de temperatura sin originar deformaciones abusivas ni momentos secundarios.

La mayor parte de los elementos han sido prefabricados en taller y transportados por vía fluvial. La construcción del tramo central se ha realizado por voladizos sucesivos hasta llegar al cierre en la clave.

79

situación



generalidades

El nuevo puente sobre el río Elba, situado en las inmediaciones de Hamburgo (Alemania), es parte integrante de la autopista Hamburgo-Hannóver. La estructura tiene cinco tramos, de los que el central salva una luz de 171 m. Para la suspensión del tablero se cuenta, además de los soportes, con dos torres, por cada una de las cuales pasan dos paquetes de cables anclados, en sus dos extremidades, en la viga de rigidez, metálica, del tablero. Torres, cables y viga de rigidez se hallan, en lo que a ejes se refiere, en el plano vertical central del puente.

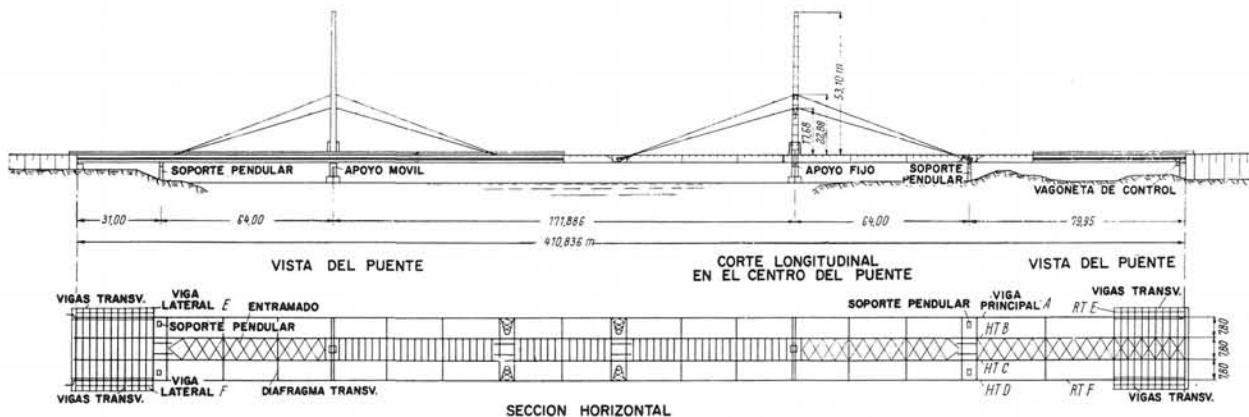
El eje del puente sigue una curva circular de 54.000 m de radio y tiene una pendiente continua, de oeste a este, de 1/4.000.

La viga de rigidez puede resistir favorablemente los efectos de torsión provocados por cargas excéntricas laterales, sin que por ello experimente inclinaciones apreciables el tablero.

estructura metálica

La longitud total del puente es de 411 m, subdivididos en cinco tramos: el central, de 172 m de luz; el correspondiente al estribo O., de 31 m; el del estribo E., de 80 m; y sus dos accesos, de 64 m cada uno.

Las torres de suspensión de cables tienen 53 m de altura sobre la calzada. Estos cables se apoyan en cada una de las torres, a 18 y 23 m de altura respecto del tablero, y se anclan sus extremidades, a 64 m a uno y otro lado del eje de la torre. La viga de rigidez tiene un canto constante de 3 m, es decir, 1/57 de la luz del tramo central. Su sección transversal varía, pero domina siempre la forma-cajón en la zona central y dos vigas laterales, armadas y espaciadas a 23,40 m. El cajón central tiene sus paredes laterales espaciadas a 7,80 m, su espesor es de 10 mm y se hallan reforzadas, en su parte inferior, con chapas de 16 a 25 mm de espesor.



80 planta y alzado

torre y detalles

El arriostramiento transversal de la viga de rigidez está constituido por una serie de diafragmas espaciados a 22 m, de 2,70 m de altura y reforzados con piezas o cordones inferiores, de 0,50 m de ancho. En los anclajes de los cables, estos diafragmas toman la forma de una viga-cajón de 3 m de canto y 4,10 m de anchura.

A lo largo de todo el tramo central, la chapa inferior que cierra el cajón central de la viga de rigidez se ha reforzado con un reticulado de nervios longitudinales y transversales, mientras que en los otros tramos esta chapa ha sido sustituida por cruces de San Andrés formadas con elementos huecos.

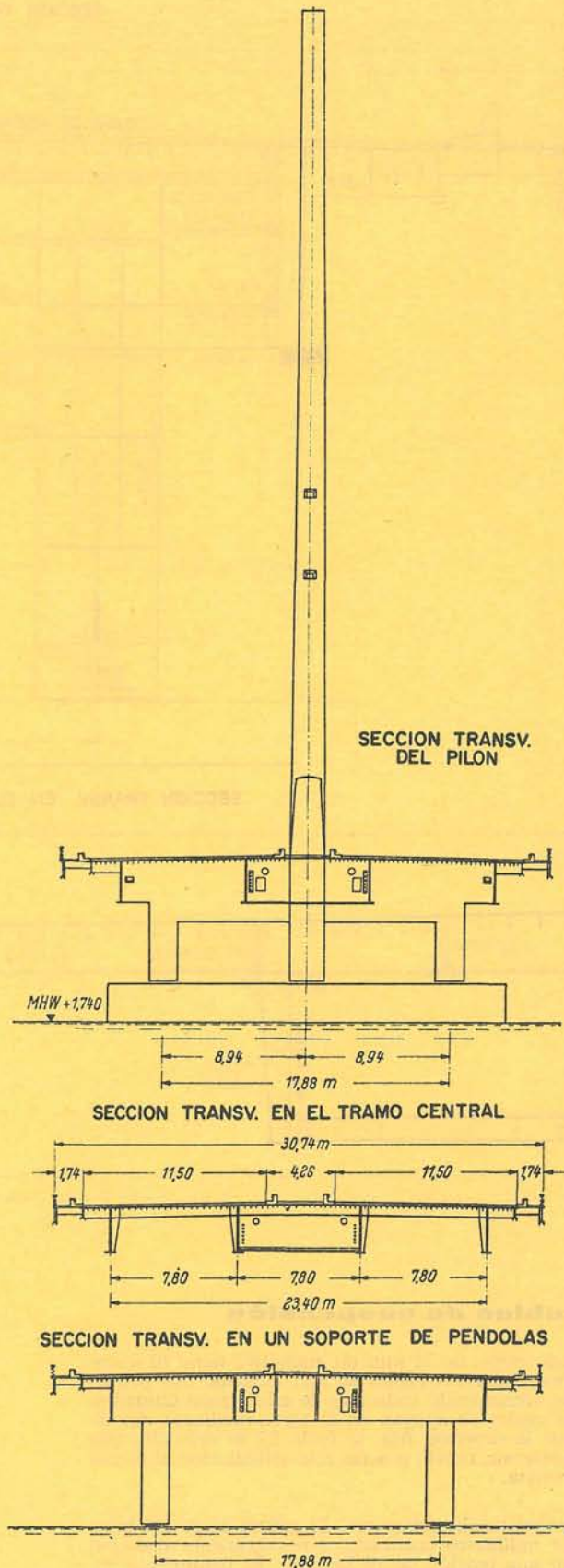
La chapa superior de cierre del cajón central y los cordones superiores de las vigas laterales, junto con las de cierre de los huecos que dejan entre ellas, constituyen la base del tablero del puente. Las soldaduras longitudinales de estas chapas, así como los empalmes de diafragmas y piezas transversales, se realizaron sobre el propio puente y después de haber sido colocadas en su posición definitiva. Esta chapa-base del tablero tiene 12 mm de espesor, alcanzando los 20 mm en la zona de anclaje de cables. El intradós de esta chapa se reforzó con nervios longitudinales de rigidez, de 18 cm de altura, espaciados a 0,30 m, y con otros transversales, de 0,65 m de altura, con separación de 2,65 m. En la zona correspondiente al macizo de separación entre calzadas, la referida chapa se reforzó con pletinas espaciadas a 0,40 metros.

A un lado del puente se ha previsto una estructura adicional, la cual servirá de vía y soporte a una vagoneta que se utilizará para inspeccionar el puente.

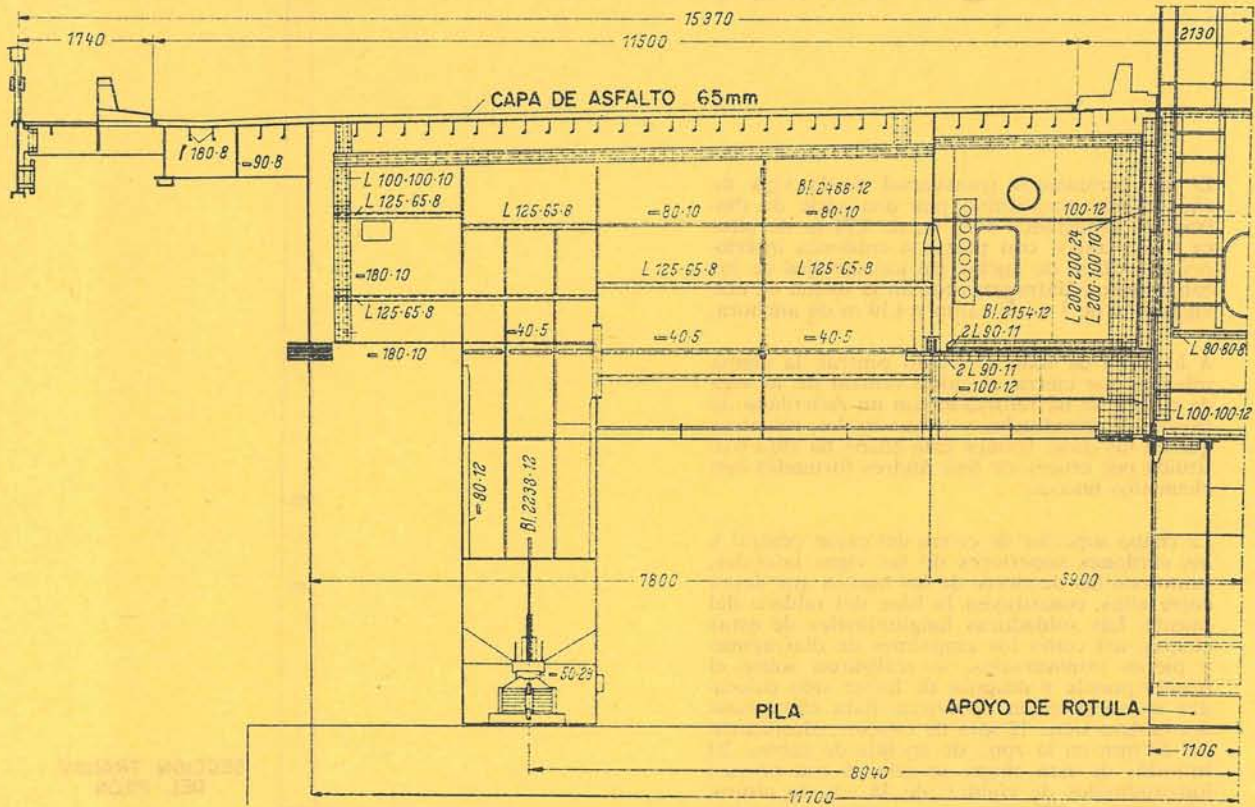
Las torres de suspensión de los cables tienen una sección cuadrada, de 2,26 m de lado en la parte baja y de 1,13 m en la extremidad superior. Como las pilas son de dimensiones relativamente reducidas y se apoyan sobre pilotes, debido a la poca capacidad de sustentación del terreno, se creyó acertado organizar un anclaje de las torres con el cajón central longitudinal y otro transversal, permitiendo a su extremidad inferior, en contacto con la pila, un movimiento de rótula.

La viga de rigidez se apoya sobre la pila por medio de dos montantes formando cajón y articulación de rótula o rodillo. El eje de estos montantes se halla a 8,94 m del eje del puente.

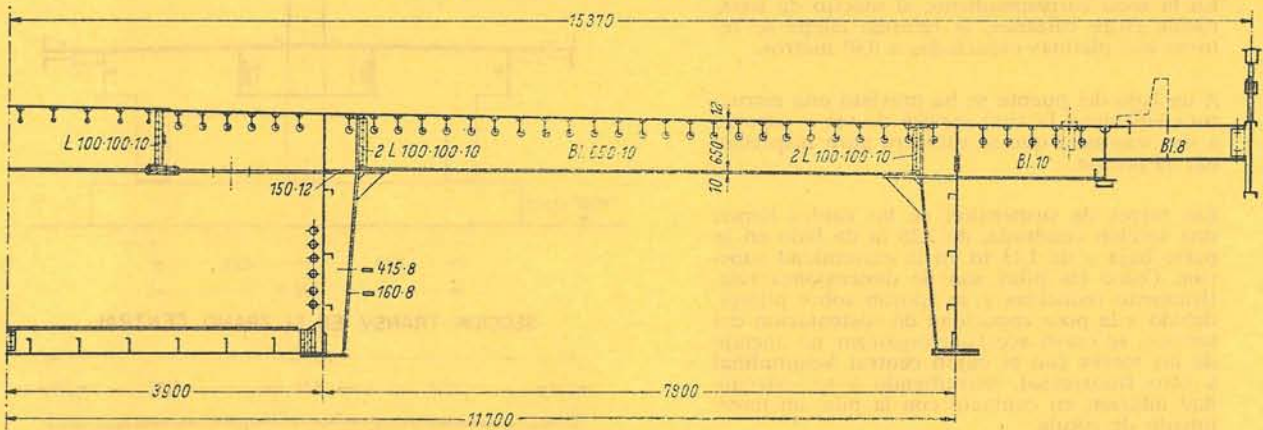
Las torres se componen de chapas de 16 a 18 mm de espesor y angulares de $200 \times 200 \times 24$. En su interior y espaciados a 4 m van unos diafragmas que se utilizan, a su vez, como apoyo de los tramos de una escalera interior. En la zona comprendida entre el apoyo de la torre e inferior a la parte superior de la silla de apoyo de los cables, el cuerpo de la torre se reforzó convenientemente. En la parte superior al apoyo de cables, las paredes de la torre tienen 6 mm de espesor.



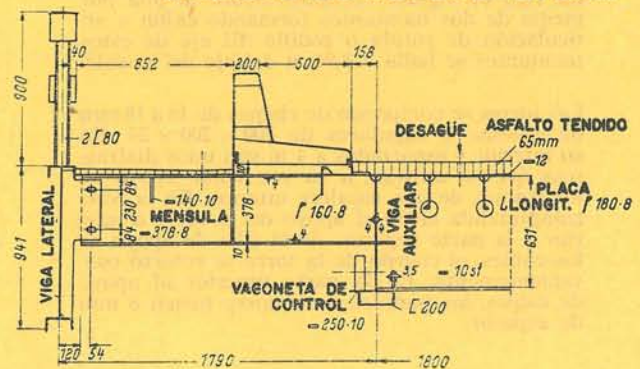
SECCION TRANSV. EN EL PILAR



SECCION TRANSV. EN EL TRAMO CENTRAL



calzada de acceso - arcén

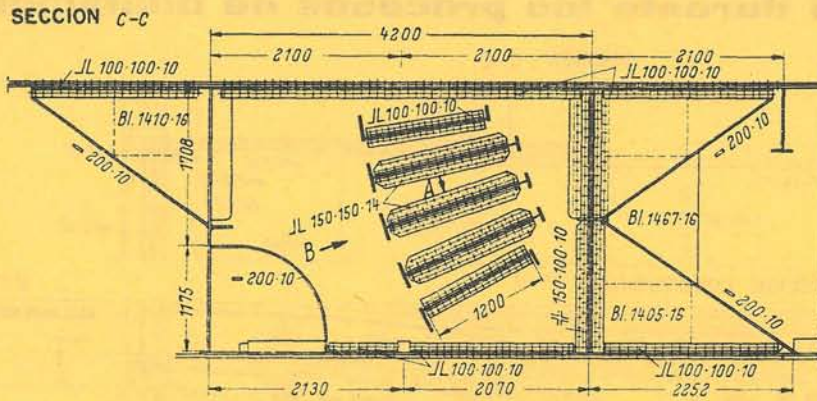


cables de suspensión

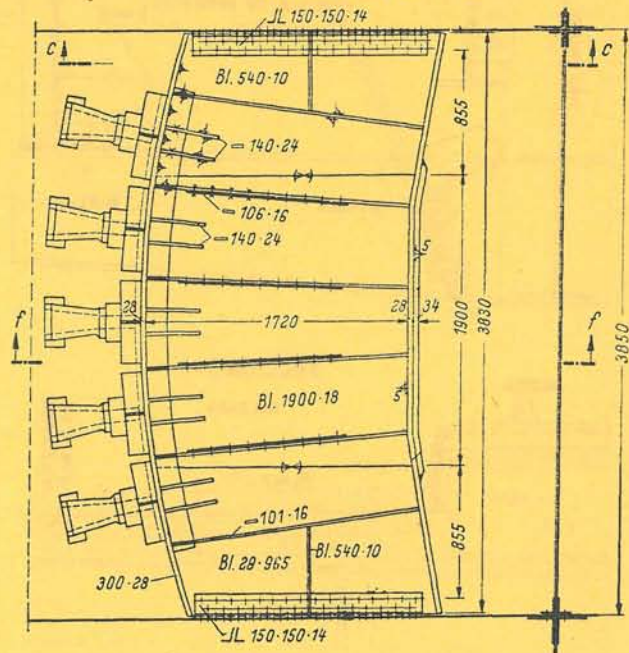
Cada cable, de 72 mm de diámetro, tiene 10 alambres. Con estos cables se han formado dos paquetes, conteniendo cada uno de ellos cinco unidades, los cuales se apoyan en la torre mediante dos sillas; la superior, fija, se halla 5,2 m más alta que la inferior, móvil, gracias a la articulación al efecto prevista.

La resistencia del acero a la rotura es de 150 kilos por milímetro cuadrado, y normalmente trabajan con una tensión de 19 kg/mm². El rozamiento entre cables y silla de apoyo es despreciable.

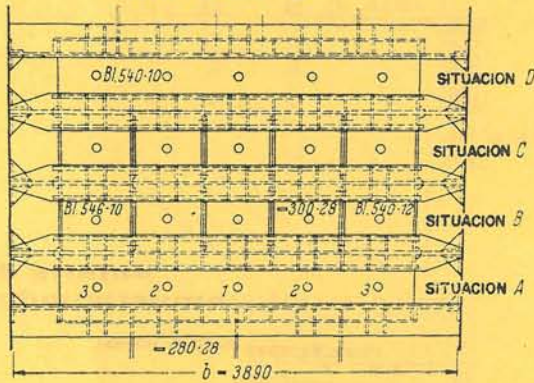
anclaje de cables de suspensión



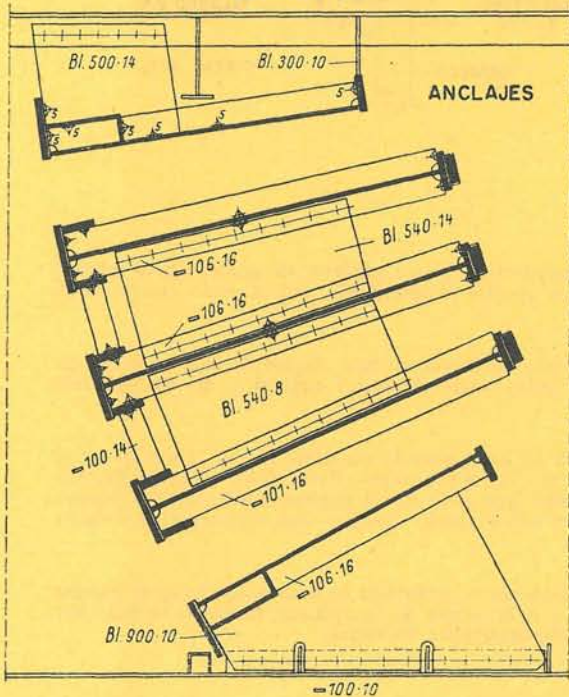
VISTA DESDE ARRIBA



VISTA SEGUN B



SECCION f-f

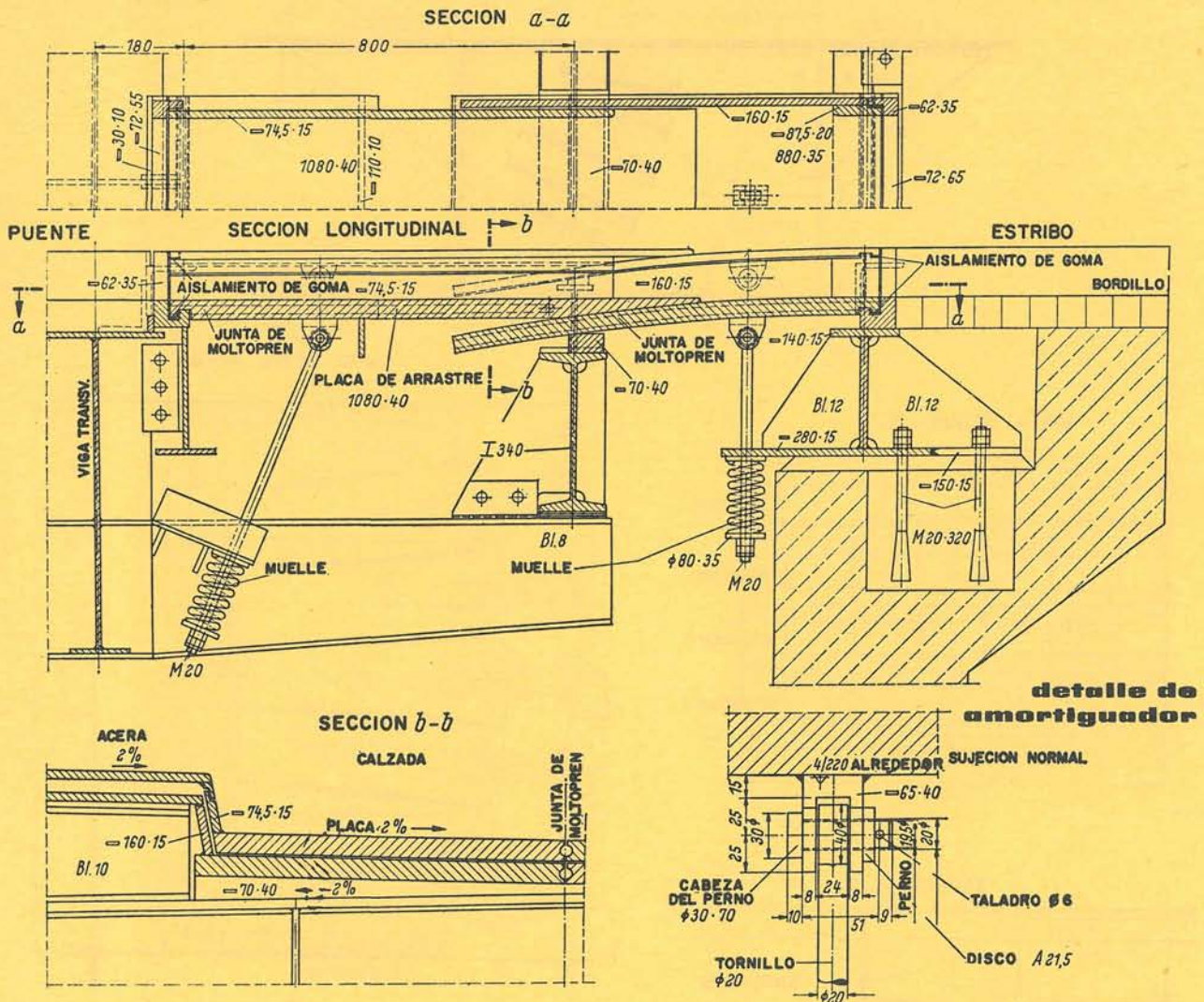


Cuando los paquetes de cables llegan a la altura del tablero se abren, en número de 20, formando abanico, para terminar anclándose en la viga-cajón central del entramado de rigidez del tablero. Los anclajes, que están formados por piezas armadas, transversales, solidarizadas con las paredes laterales de la viga-cajón central, se hallan en el interior del espacio comprendido entre dos diafragmas, roblonados con la chapa inferior de la viga-cajón central y la chapa del tablero, al objeto de repartir uniformemente el esfuerzo que originan los anclajes de los cables en el entramado de rigidez del tablero.

soportes

El apoyo fijo del tramo central corresponde a la pila orientada al E. del río; la otra pila y los estribos tienen un apoyo móvil. Los apoyos de los dos montantes de este soporte se han articulado; el apoyo de la torre sobre la pila es de tipo rótula, y los apoyos de los montantes del soporte O. son de rodillo.

transición durante los procesos de dilatación

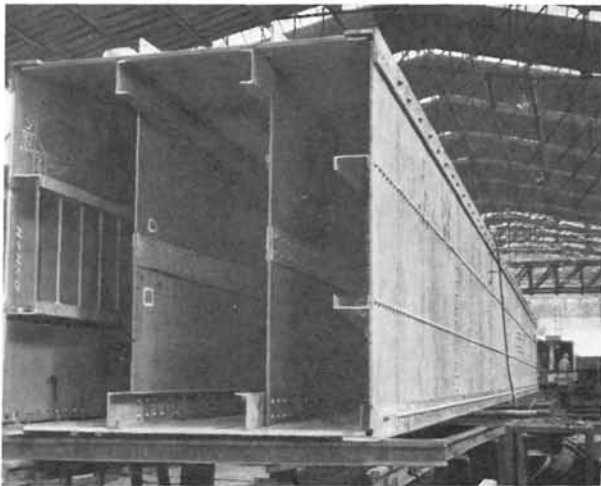


Los dos soportes extremos laterales, tipo péndulo, están articulados en su parte superior de unión con el tablero y en la inferior de unión con la base de cimientos. Todos estos apoyos propiamente dichos están constituidos por elementos de acero de gran dureza.

Como la superficie de la calzada es grande, para recoger el agua de lluvia se han dispuesto una serie de canales laterales que la llevan a los bajantes montados en las pilas para el tramo central y en los estribos para los tramos de acceso.

La dilatación provocada por diferencias extremas de temperatura se ha estimado en unos 12 cm, a los que hay que añadir 1 cm, aproximadamente, de corrimientos motivados por las sobrecargas. Para absorber estas diferencias de longitud de calzada se proyectó una disposición particular que permite el deslizamiento de dos placas, una fija y otra móvil, sin perder contacto ni producir ruidos, y conservando siempre una superficie de rodadura continua.

Para proteger los vehículos contra posibles despistes, entre los andenes y encintado se han montado unas bandas que actúan como parachoques. La parte inferior de las torres y a la altura de la calzada, también se han protegido, contra estos posibles despistes, con chapas metálicas suficientemente robustas.



Prefabricación del cajón central.

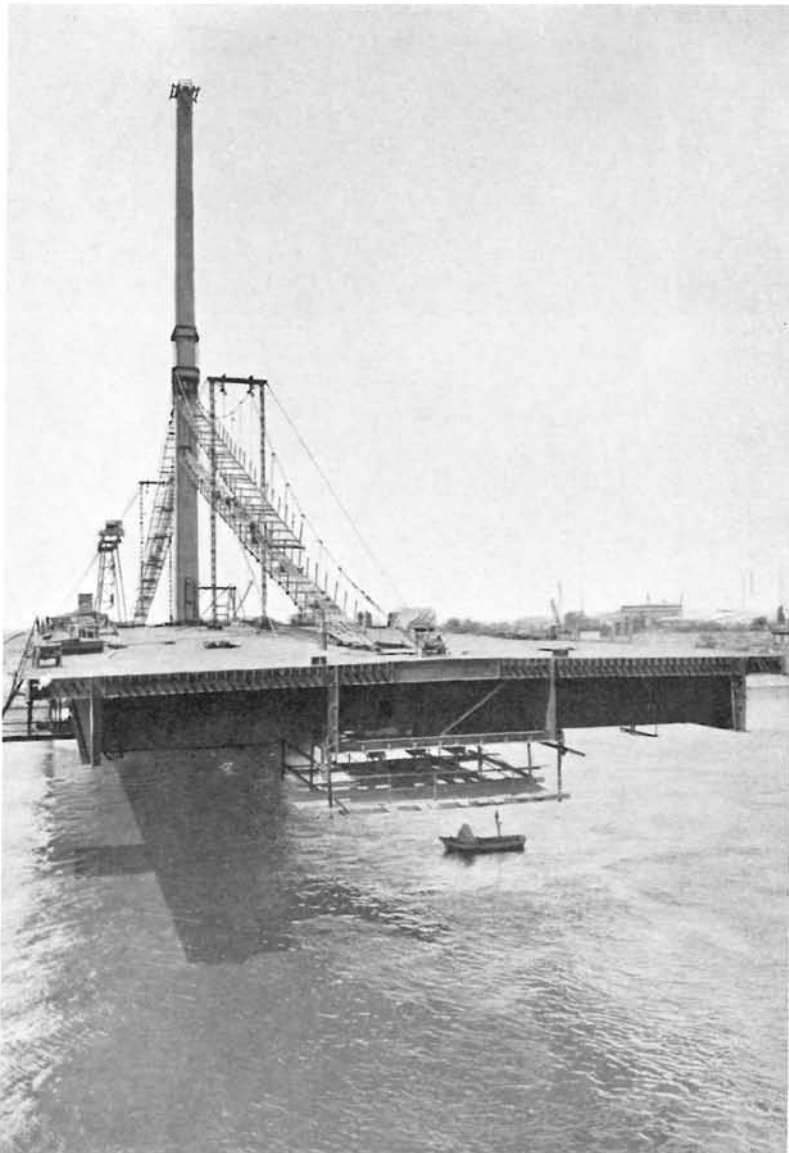
2 3



Montaje de una torre.

4

Construcción en voladizo del tramo central.



Para la conservación y vigilancia del puente se han instalado dos vías laterales sobre las que puede moverse una vagoneta con plataforma y posibilidad de alcanzar las partes sensibles de la estructura en el intradós.

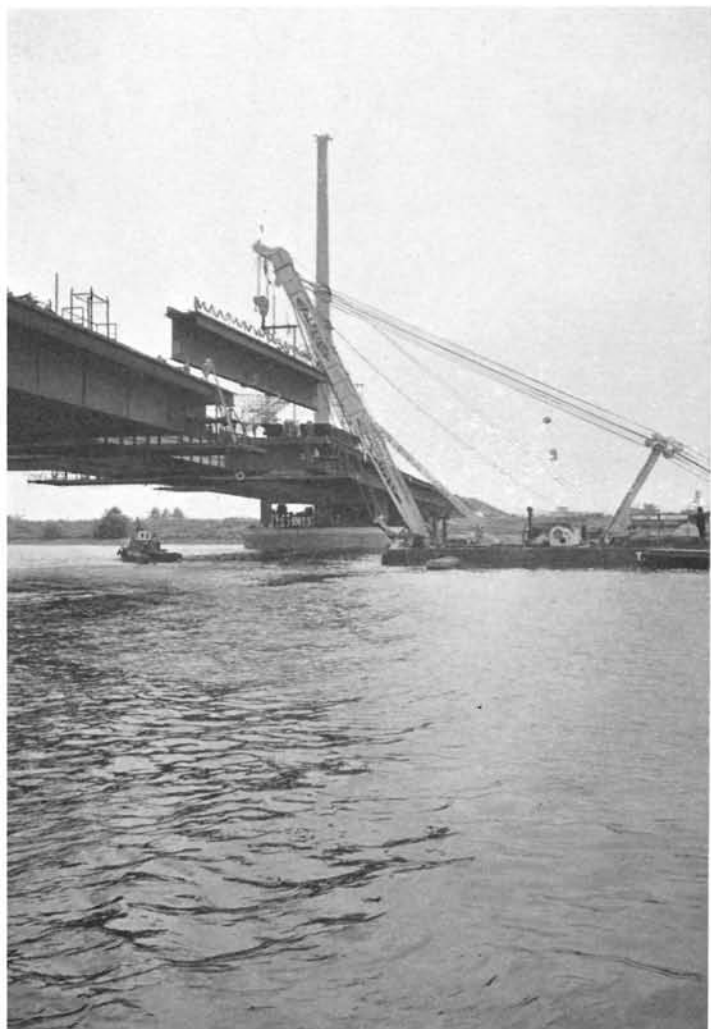
cálculo de la estructura

El procedimiento de cálculo utilizado para la determinación de cargas, momentos, deformaciones y estabilidad de la obra ha consistido, en general, en introducir simplificaciones que permitiesen, en primer lugar, el cálculo de la llamada viga de rigidez o entramado del tablero, considerado como una viga continua, para después proceder por partes y dentro de los supuestos más desfavorables en cada caso, basándose siempre en las normas DIN para este tipo de estructuras.

La complejidad del entramado y la premura del tiempo disponible para la preparación del proyecto de ejecución de obras ha sido la mayor dificultad que se ha tenido que vencer.

Los métodos analíticos han sido los de las líneas de influencia, distribución de momentos y empleo de computador electrónico donde se disponía de programas, caso que no ha sido posible extender al considerar el efecto de los esfuerzos que los cables introducían en la estructura. En este único caso el estudio ha sido realizado siguiendo los procedimientos tradicionales.

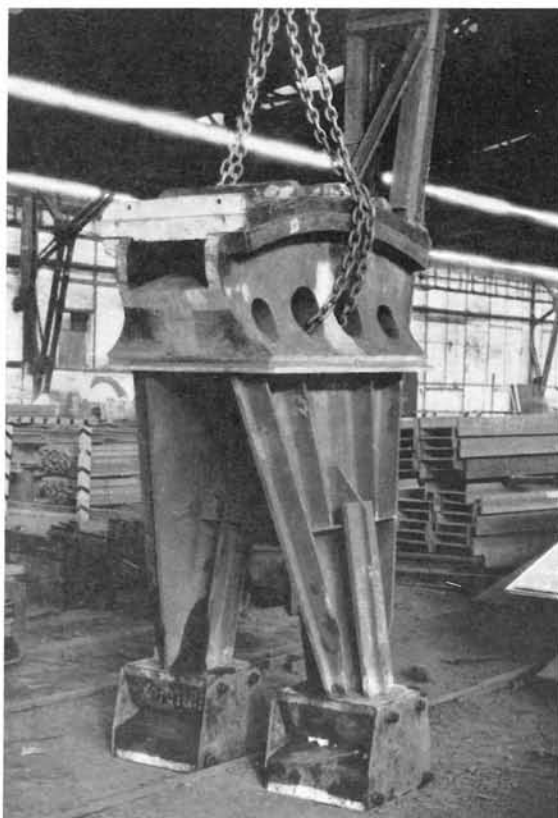
Fue motivo de especial estudio la determinación de la frecuencia propia de oscilación, de particular importancia por la presencia de los cables de suspensión.



5



6



7

ejecución

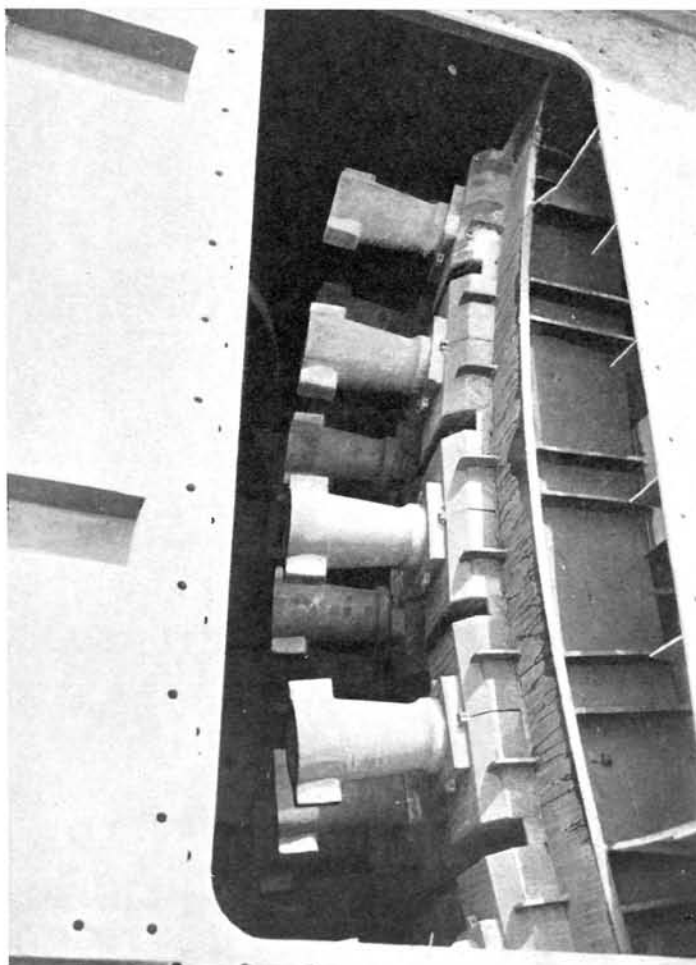
Dada la gran variedad de elementos y el enorme volumen de acero laminado de la estructura, que se eleva en cifras globales a 3.840 t, se comprenderá mejor la necesidad de preparar en taller la mayor parte de estos elementos, pero de forma tal, que sus dimensiones y peso se ajustase a las prácticas locales de transporte, facilidad y sencillez de montaje en obra.

Para el transporte de los elementos de mayores peso y dimensiones se aprovecharon las ventajas de la navegación fluvial, que permitió la aproximación de estos elementos a pie de obra. Una vez colocados en posición propicia y sobre el pontón que los transportó, se procedió a su elevación y colocación en el lugar definitivo ayudándose de potentes grúas y vigas auxiliares de lanzamiento. El tramo central, de mayor importancia, se montó en voladizo, evitando así el empleo de entramados auxiliares, que, además de ser más caros, dificultan la navegación fluvial bajo la obra. Los cables de suspensión, apoyados en sillas montadas en las torres a diferente altura, se colocaron y tesaron en dos fases, empezando por el paquete inferior y terminando por el superior.

Cierre de voladizos.
Ajuste de elementos de cierre.
Una de las sillas de apoyo de cables.

Anclaje de cables.

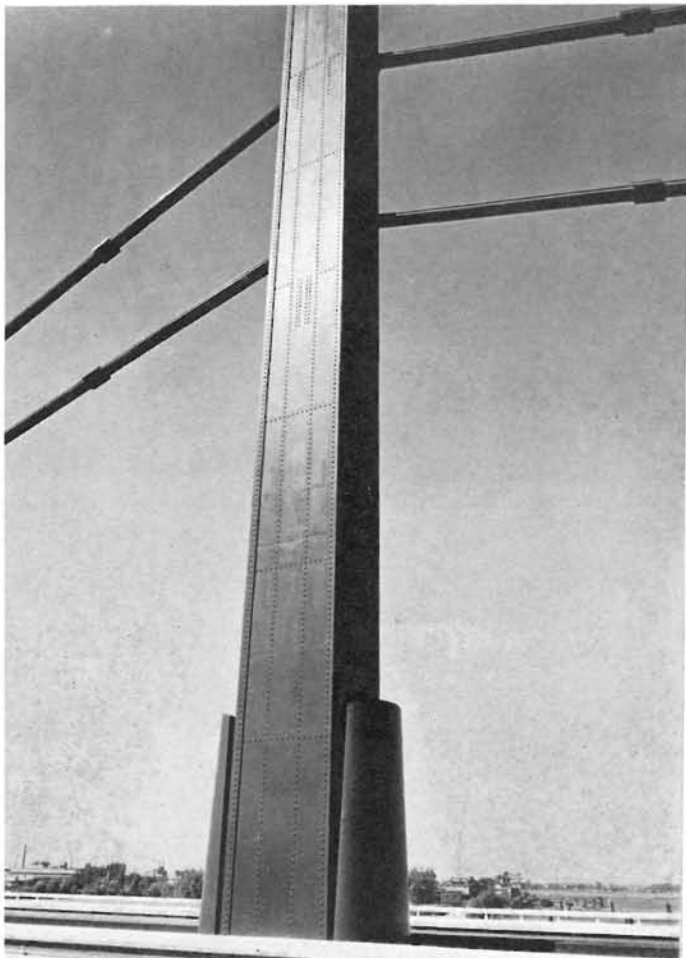
9



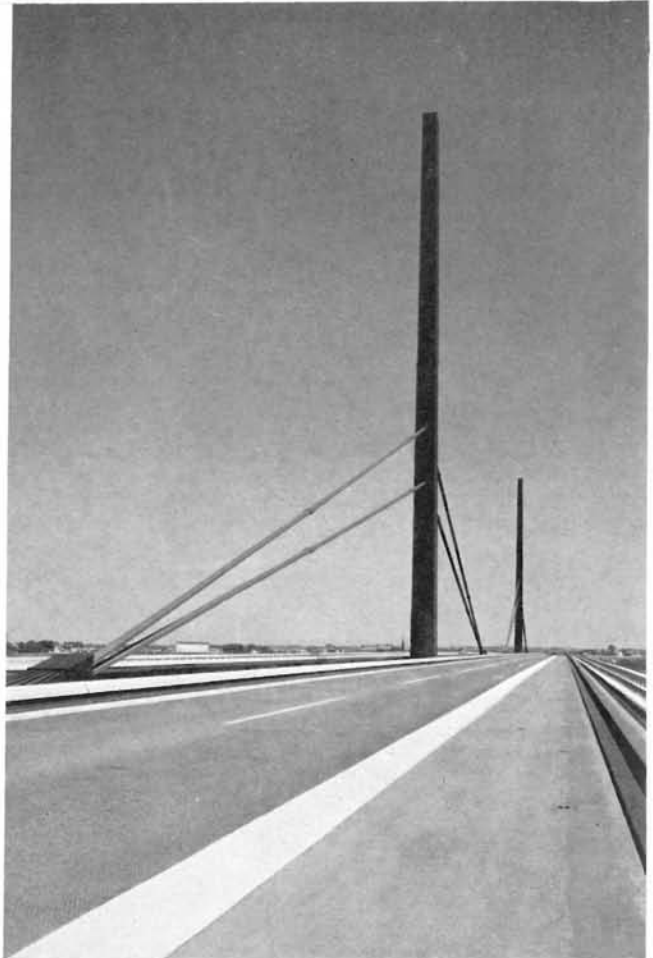
Colocación de cables de suspensión.

8





10



11



12

Fotos 5, 6, 9, 10, 11 y 13 de:
«Lichtbilderei der Baubehörde,
Hamburg».

Fotos 12 y 14 de: «Lichtbilderei
der Baubehörde, Hamburg»
y «Freigegeben durch Luftamt,
Hamburg», núms. 880231
y 880553

**Torre de suspensión de
cables.**

Vista aérea.



Separación de cables abiertos en abanico.
El puente en servicio.

Los distintos elementos que constituyen el entramado del tablero se solidarizaron entre sí por medio de soldaduras practicadas en taller o en la propia obra.

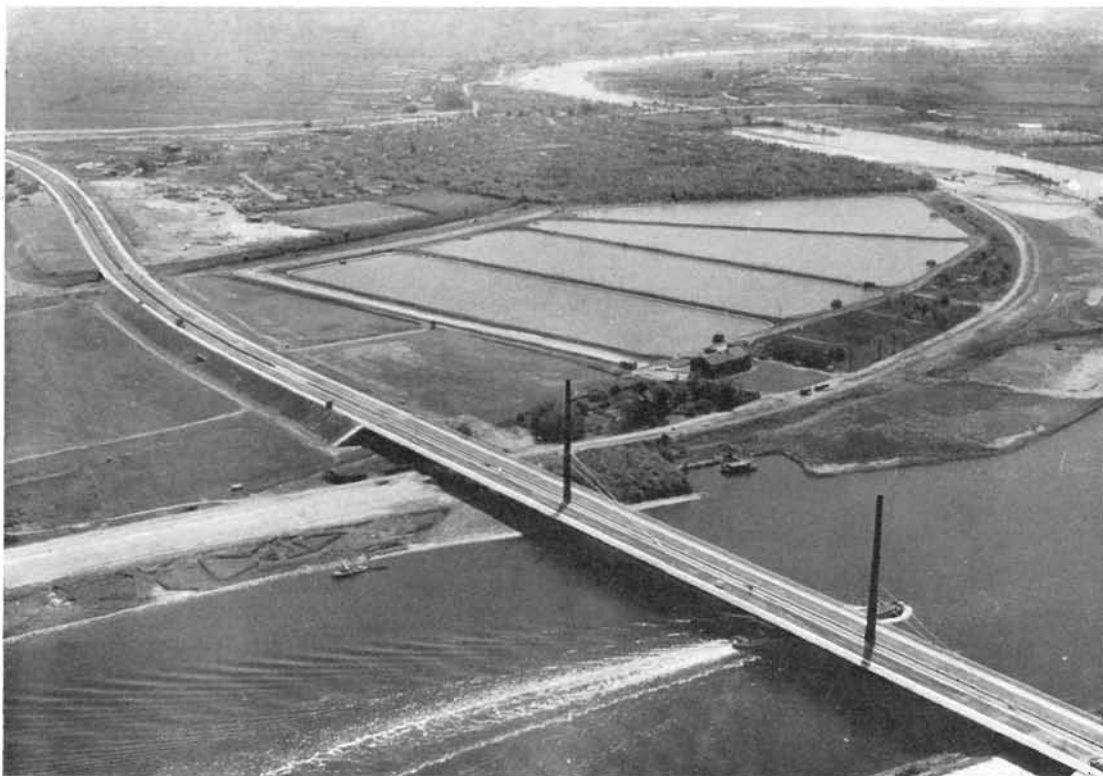
Para proteger el metal contra la corrosión y asegurar un buen estado de conservación se procedió, finalmente, a pintar y extender capas bituminosas sobre las superficies de la chapa correspondiente a aceras y calzada. En aquéllas la capa asfáltica tiene 6 cm de espesor y en la calzada también es de 6 cm, pero dividida en una base de 2,5 cm y otros 3,5 cm de rodadura.

Todas y cada una de las partes que componen el puente, así como el sistema vibrante provocado con cargas móviles, han sido objeto de múltiples comprobaciones que, en general, se han ajustado a las previsiones arrojadas por los cálculos.

Construcción:
RHEINSTAHL UNION BRÜCKENBAU AG.

13 *Adaptado por J. J. Ugarte.*

14



Pont sur le cours inférieur de l'Elbe - Hambourg

H. Aschenberg et G. Freudenberg, ingénieurs diplômés

Ce pont de cinq travées, reliant les autoroutes Hambourg-Hanovre et Hambourg-Lübeck, mesure 411 m de long pour 30 m 74 de large.

Un caisson central et deux poutres latérales à âme pleine et d'une hauteur uniforme de 3 m forment la section transversale de l'ossature rigide de la travée centrale, de 172 m de portée, suspendue par des câbles accrochés à deux tours de 53 m de hauteur par rapport à la chaussée. Ces tours supportent deux paquets de câbles qui s'appuient sur des sellettes montées à différente hauteur. Ces appuis sont organisés de telle façon qu'ils permettent les mouvements provoqués par les différences de température sans occasionner des déformations abusives ni de moments secondaires.

La plupart des éléments ont été préfabriqués en atelier et transportés par voie fluviale. La construction de la travée centrale a été réalisée par des encorbellements successifs jusqu'à leur union à la clé.

Bridge over the lower section of the Elbe, at Hamburg

H. Aschenberg & G. Freudenberg, dipl. engineers

This bridge joins to Hamburg-Hannover and the Hamburg-Lubeck roadways. It is 411 m long, 30.74 m wide, and has five spans.

The main span is 172 m long, and is suspended by cables from two towers, rising 53 m above the bridge pavement. The stiffening structure of this suspended span consists of a central box and two lateral full web girders, with a uniform depth of 2 ms. The towers support two sets of cables, which rest on supports situated at unequal heights with respect to each other. These supports are so arranged that thermal deformations shall not be excessive nor cause large secondary moments.

Most of the bridge elements have been manufactured in the workshops and taken to the site by river transport. The main span has been built by successive overhangs, till the two sides have met together at the crown.

Brücke über dem Unterfeld der Elbe - Hamburg

H. Aschenberg und G. Freudenberg, Dipl. Ingenieure

Diese Brücke, die die Autobahnen Hamburg-Hannover und Hamburg-Lübeck verbindet, hat 411 m Länge, 30,74 m Breite und 5 Feldern.

Die Struktur des Mittelfelds von 172 m Lichtweite, die durch Kabeln gehängt ist und auf zwei Türme von 53 m Höhe hinsichtlich der Strasse liegen, hat den Querschnitt durch einen Kastenträger und zwei Stege mit einer Höhe von 3 m gebildet. Auf solchen Türme stützen sich zwei Kabelbündel, die auf gelegenen Stühlen an verschiedener Höhe liegen. Diese Stütze erlauben die Bewegungen, die wegen des Temperaturunterschiedes auftreten, ohne Verformungen oder sekundäre Momente zu verursachen.

Die meisten Teilstücke sind vorgefertigte und auf dem Flussbahne verschifft. Das Bauen des Mittelfelds wurde im Freivorbau bis zu den Schluss im Scheitel errichtet.