

# *pasarela suspendida en Stuttgart*

FRITZ LEONHARDT, Prof. Dr. ingeniero  
WOLFHART ANDRÁ, Dipl. ingeniero

564 - 15

# planta y alzados

## sinopsis

Como consecuencia de la exposición de jardinería celebrada en la ciudad de Stuttgart en 1961, los jardines y parques que se extienden hacia el río Neckar han experimentado una profunda modificación, y, como en esta zona el tráfico de peatones es de consideración, se ha creído necesario levantar una pasarela que cruce una avenida de gran circulación rodada.

Este paso superior se bifurca, a un lado, en dos direcciones distintas cuyas rampas se orientan: una hacia la estación y la otra hacia la zona del palacio de la Diputación y Teatros.

La estructura se sacó a concurso público, al que contribuyeron distintas empresas con proyectos diferentes. De ellos, el elegido consiste en una estructura suspendida, metálica, de arco rebajado y pavimento de pequeño espesor. La obra consiste en un tramo en arco, de 90 m de luz y rampas de acceso, pues dada la gran circulación de peatones no estaba indicada la adopción de escaleras.

El canto de la viga cajón, en arco, es de 0,50 m y su anchura de 5,50 m. Longitudinalmente, la viga es continua; hallándose suspendida por cables que, partiendo de una torre metálica, se unen a la pasarela en cinco puntos distintos de suspensión, espaciados a 18, 17, 17, 17 y 18 m, respectivamente.

Para seguridad de la torre de suspensión de cables, se procedió a la hincada de pilotes, sobre los cuales se preparó el dado de cimentación para evitar asentamientos de importancia relativa, esto no tiene gran importancia, ya que la obra está suspendida y los asentamientos diferenciales, aun de unos cuantos centímetros, no modifican la estabilidad y resistencia de la obra.

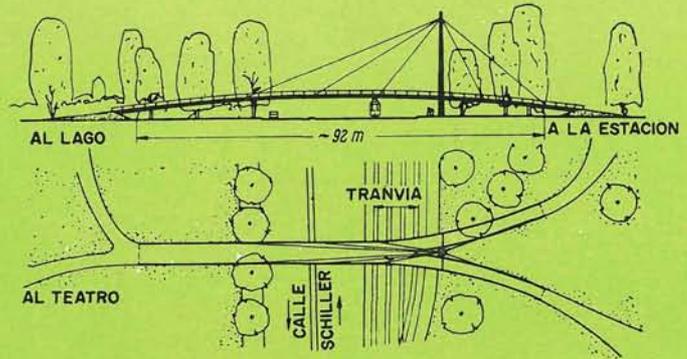
## Generalidades

Con motivo de la exposición de jardinería celebrada, en el año 1961, en la ciudad de Stuttgart (Alemania), el conjunto de parques y jardines que se extienden hacia el río Neckar ha experimentado una profunda modificación urbanística que ha requerido la construcción de la pasarela de cuyo estudio y construcción da cuenta este trabajo. Esta obra está ubicada en un centro urbano de gran tráfico de peatones, en la calle Schiller, que constituye una comunicación directa para dos teatros, el palacio de la Diputación Provincial y la estación principal de ferrocarriles. La pasarela, a partir de la exposición de jardinería, ha ido adquiriendo cada día mayor importancia, pues a uno y otro lado de la misma se han venido construyendo estanques, piscinas, alamedas en los jardines, bibliotecas, bares, cafés, etc., cuyo conjunto constituye un núcleo de descanso y recreo dentro del corazón de la ciudad.

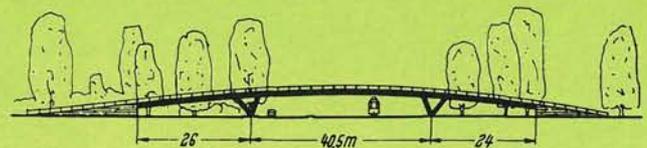
## El proyecto

El Municipio de Stuttgart encargó a los autores de este trabajo la redacción de un proyecto comparativo que resolviese el problema general, teniendo en cuenta la gran circulación de peatones que en aquel momento se previó y, por tanto, las escaleras deberían suprimirse y ser sustituidas por rampas de pendientes practicables.

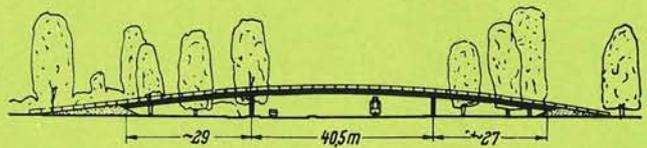
La altura máxima de esta obra debía reducirse al mínimo posible para evitar inútiles ascensos seguidos de los descensos correspondientes. La parte que desemboca hacia la estación tenía que experimentar una bifurcación para canalizar el tráfico directo hacia la estación, separándolo del que toma otras direcciones.



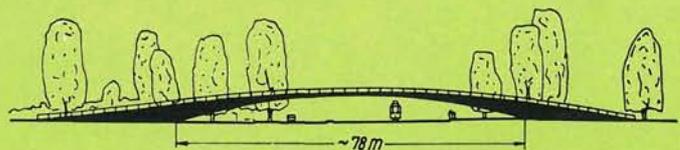
Planta y alzado de la pasarela.



Alzado de la solución con vigas de hormigón pretensado.



Proyecto presentado por la casa Wayss & Freytag AG.



Proyecto presentado por la casa Eduard Züblin AG Stuttgart.





La chapa utilizada para la formación de la viga tiene un espesor de 8 mm en el trasdós y de 6 mm en el intradós. Los nervios longitudinales de dos secciones distintas presentan perfiles trapecoidales y son de chapa de 4 mm de espesor, espaciados a 70 cm y soldados con filete continuo.

Las chapas laterales verticales de la viga-cajón tienen 565 mm de altura y un espesor variable de 8 a 20 mm. Inferiormente, termina formando canalón, para recoger las aguas pluviales, y en la parte superior formando un borde de 50 mm constituyendo costeros de la caja de la calzada.

Los elementos que constituyen los nervios, almas y arriostramiento transversal se fijaron por medio de soldaduras.

Los huecos que la viga-cajón deja han sido utilizados para las distintas canalizaciones y transformadores necesarios para la corriente de alta tensión de alimentación de los tubos luminosos colocados en el pasamanos de la barandilla.

Para la fijación de los cables de suspensión de la pasarela se tuvo que reforzar la chapa de la viga-cajón con otra suplementaria de 10 mm de espesor, así como otros refuerzos que se soldaron para evitar el alabeo de la chapa madre.

En los estribos, la unión con la viga-cajón ha sido soldada a las extremidades de las armaduras que refuerzan el estribo de hormigón. En la otra extremidad, la viga-cajón se une al estribo constituyendo un apoyo articulado que permite un movimiento simultáneo de traslación y rotación.

La pavimentación proyectada consistió en una capa de 2 cm de gunita aplicada sobre la chapa, y sobre ésta, otra de 3 cm, de asfalto fundido, pero como este último material, colocado sobre placas inclinadas, tiene tendencia a la deformación, se adoptó, finalmente, un pavimento especial llamado Semtex, ya utilizado con éxito en algunas pasarelas construidas en Dusseldorf. Este material pesa 1,6 t/m<sup>2</sup>, y en este caso basta con una capa de 1 cm de espesor. Si el pavimento hubiese sido ordinario, su peso sería de unos 66 kg/m<sup>2</sup>, mientras que con el material empleado este peso se ha reducido a sólo 6 kg/m<sup>2</sup>.

Como protección contra los posibles contactos de la línea eléctrica colocada en el intradós para los tranvías que pasan por debajo de la pasarela, los autores de este trabajo hicieron una propuesta a la Compañía de tranvías, acogida favorablemente, que consistía en colocar una banda protectora de tubos de acero cuyo aislamiento se logra mediante un recubrimiento de nylon logrado por procedimiento de inmersión. Estas protecciones se prolongan al exterior de la pasarela convenientemente protegidas con placas de plástico para evitar posibles contactos de los cables con los peatones que utilicen la pasarela.

## **Alumbrado**

Para el alumbrado artificial durante la noche en la pasarela se ha dispuesto una serie de tubos luminosos colocados en el interior del pasamanos, de forma tal, que proyecta el flujo luminoso hacia el interior de la pasarela. La luz sale a través de unas ranuras practicadas en una placa de plástico que recubre los tubos luminosos en el pasamanos. En el interior de éste se ha dejado un hueco para el paso de los cables de alimentación de fluido, y dentro de la viga-cajón, y convenientemente

repartidos, se han instalado los transformadores de alta tensión de alimentación de estos tubos luminosos.

### **Torre de suspensión de cables**

Esta torre metálica, de sección octogonal, tiene un diámetro de 550 mm en la parte superior y de 1.200 mm en su base. El fuste troncocónico ha sido calculado para resistir convenientemente los efectos del pandeo. La chapa con que se ha formado esta torre tiene espesor variable de 20 mm en la base a 25 mm en la parte superior de anclaje de cables. Estas dimensiones se han previsto con el fin de que se pudiese obtener espacio suficiente para fijar 10 cables en la parte superior de la torre de suspensión. Aunque el conjunto de la torre parezca de consistencia excesiva, sus dimensiones han sido obtenidas teniendo en cuenta la seguridad ordinaria contra el pandeo.

Esta torre descansa sobre una caja rellena de goma que permite el giro en cualquier dirección y evita que se produzcan momentos de empotramiento en esta zona.

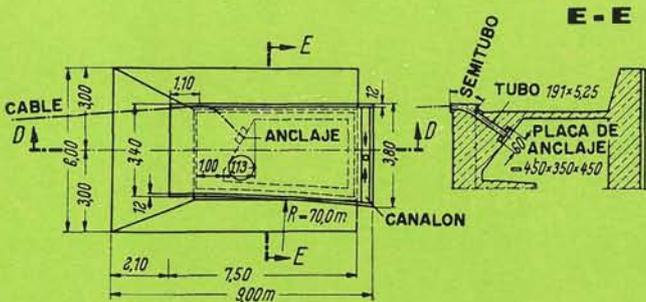
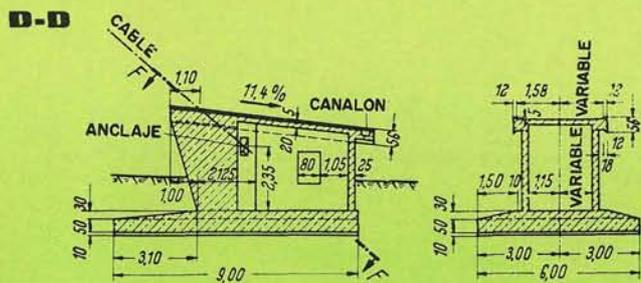
Los cables utilizados para la suspensión de la pasarela están formados por alambres paralelos, pues los cables formados con torones retorcidos tienen un módulo de elasticidad menor que el de los rectos y una resistencia también disminuida. Por todo ello se llegó a la conclusión de que los cables que debían emplearse serían de alambres paralelos, de 6 mm de diámetro, de acero de 150/170, estirado en frío y provistos de dispositivos especiales de anclaje tipo BRV similares a los que corrientemente se emplean en el pretensado. Con estos dispositivos se pudo salvar fácilmente el problema de alojamiento de los 10 cables en un espacio reducido de 490 mm de diámetro y 1.000 mm de altura de que está provista la cabeza de anclaje de la torre de suspensión. Los cables de suspensión se dispusieron en forma tal que se llegase a un equilibrio estático general.

Debido al gran número de soldaduras realizadas en la parte superior de la torre para disponer los anclajes de los cables se procedió a un tratamiento térmico con objeto de eliminar el estado tensional de las chapas en esta zona. Una vez colocados los cables en sus respectivas zonas de anclaje, los huecos que se habían dejado en esta zona de la torre se rellenaron con hormigón de alta calidad.

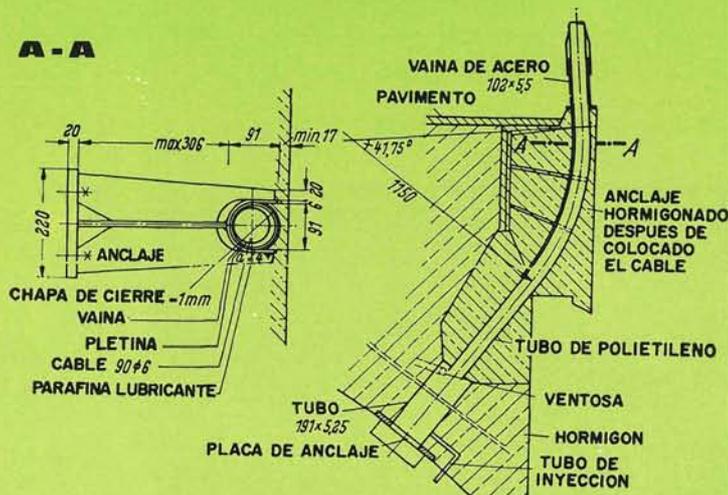
Como los cables de suspensión se unieron al tablero de la pasarela en la parte interior de la viga-cajón, con este fin fue necesario darles un cambio de dirección continuo formando una curva de 488 mm de radio y anclarlos en una placa convenientemente dispuesta en el interior de la viga-cajón.

En la zona inferior de los cables de suspensión, próxima a la de anclaje en la viga-cajón, los cables se protegieron con un tubo de polietileno de difícil adquisición y cuya duración se ha garantizado para un plazo no inferior a diez años. Estos tubos tienen un coeficiente térmico de dilatación muy elevado, pero, en cambio, su módulo de elasticidad es sólo de 3.000 kg/cm<sup>2</sup>. Los cables se protegieron eficazmente contra la corrosión recubriéndolos con alambres de 2,5 mm de diámetro que, a su vez, aseguraban un espaciado mínimo entre alambres y tubo protector. Los huecos que quedaron en el interior del referido tubo de polietileno se rellenaron con una lechada de cemento inyectada.

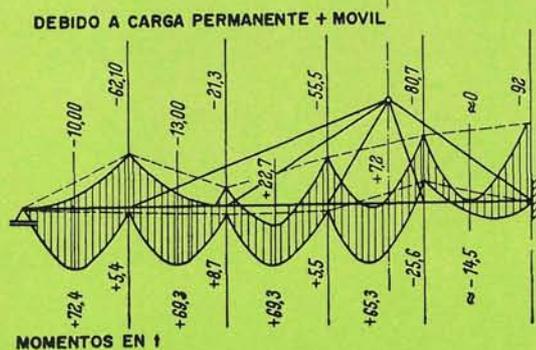
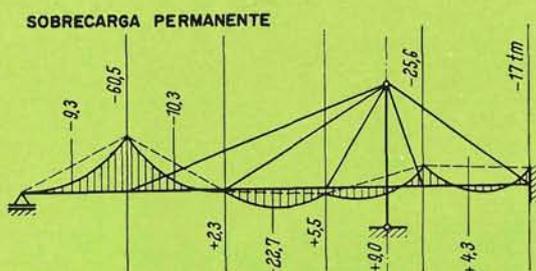




Estribo noroeste, planta y alzado.



Detalle de anclaje de un cable.



MOMENTOS EN t

Gráfico de momentos flexores.

## Ideas generales sobre el cálculo estático de la obra

Esta estructura se calculó para resistir cargas situadas en el plano vertical de una viga continua que descansa sobre apoyos elásticos. Para el cálculo de la sobrecarga debida al viento se introdujo la hipótesis de hacerla trabajar empotrada en la extremidad en que existe la bifurcación y libre en la otra extremidad. Para su estabilidad no se tuvo en cuenta el efecto de sustentación originado por los cables. El máximo empuje del viento es de 60 kg/cm<sup>2</sup>.

Las soldaduras necesarias para la formación de la viga-cajón se efectuaron de acuerdo con las normas DIN. Los nervios formados en las placas superior e inferior de dicha viga constituían un refuerzo considerable destinado a evitar la deformación de las chapas.

Se estudiaron también la deformación producida como consecuencia de las sobrecargas móviles y las que por causa de las dilataciones habían de producirse en los cables. Los momentos de torsión tenían verdadera significación en el arranque de la bifurcación y se calcularon en ese punto, empleando el método Cross, suponiendo empotramientos completos y coeficientes adecuados en las tres direcciones. El momento máximo de torsión resultó ser de 81 t. metro.

Para llegar a la determinación del grado de seguridad en el pandeo, el cálculo de éste se llevó a cabo suponiendo hipótesis distintas y desfavorables.

## Ejecución

La viga-cajón se montó en taller por trozos de 12 a 17 m de longitud, ejecutando en ellos todas las soldaduras necesarias para la formación de nervios de refuerzo de sección trapezoidal.

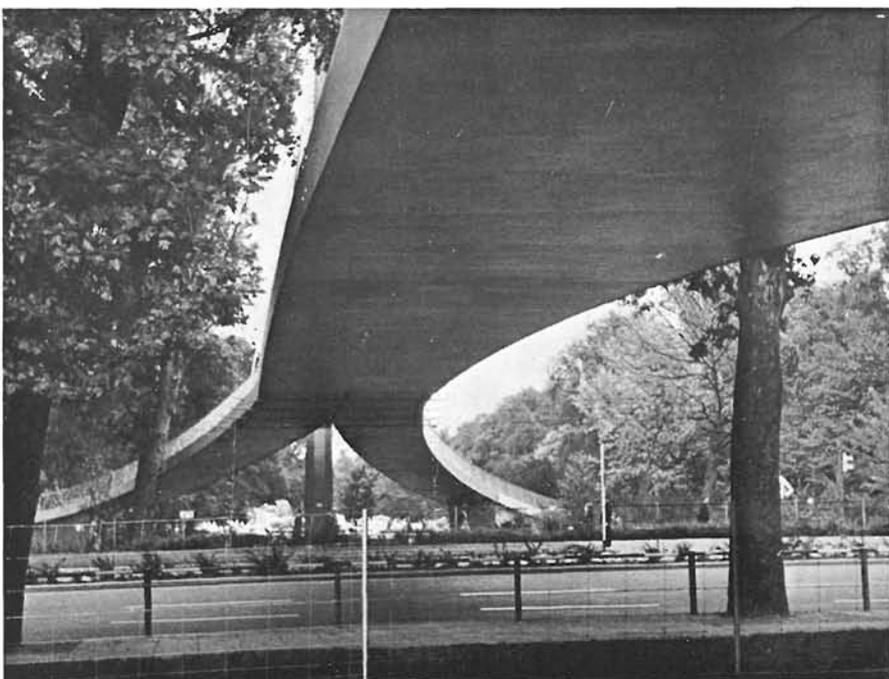
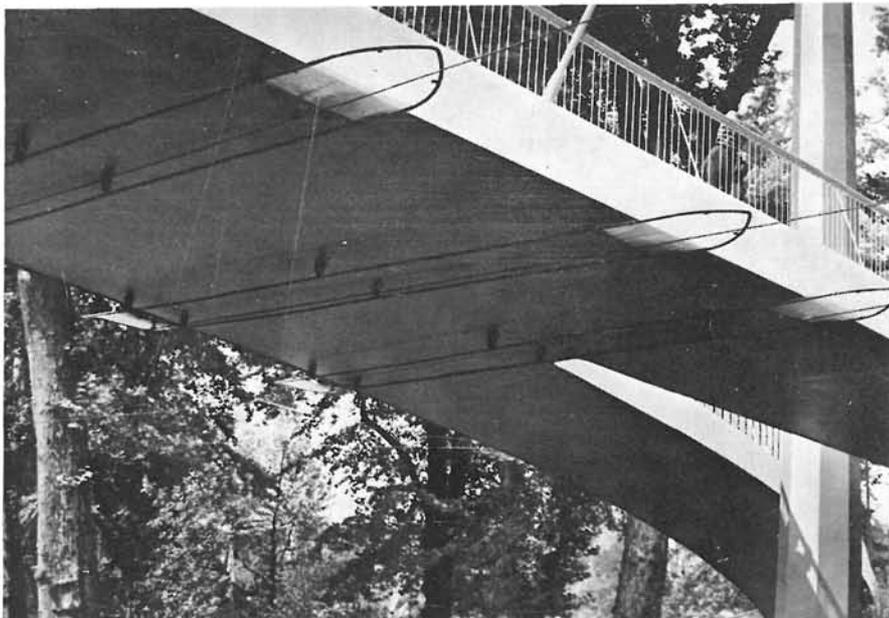
Estos trozos se transportaron desde el taller a la obra en vehículos especiales y teniendo gran cuidado de evitar toda deformación posible durante el transporte. Algunos de estos trozos llegaron a pesar hasta 17 t, y para su montaje se utilizó una serie de andamios auxiliares.

Montada la viga-cajón se procedió a levantar la torre de suspensión de cables, dejando para el último momento las operaciones de tesado y aplicando las tensiones por medio de gatos hidráulicos. Estas tensiones experimentaron alguna variación debido a asentamientos diferenciales experimentados en un estribo.

Antes de proceder a pavimentar la pasarela se limpiaron las chapas al chorro de arena, aplicándose, después, una lechada de cemento. Las demás chapas, que constituyen las almas y diafragmas, se habían limpiado en el taller aplicándoles una mano de minio y una primera capa de pintura. El color general de la pintura definitiva es gris.

El peso de acero empleado en la estructura se puede subdividir de la forma siguiente: viga-cajón, 91 t; cables, 4 t; y la torre de suspensión, 14 toneladas.

El coste total absoluto de la pasarela se elevó a 640.000 decímetros.



## Proceso vibrante

Como esta estructura es del tipo ligero, la oscilación debía ser sensible. En las hipótesis iniciales se admitió una vibración determinada en el plano vertical, la cual fue estimada en principio, aproximadamente. Este cálculo se corrigió después utilizando el método energético y fórmula de Morley, con objeto de comprobarlo más tarde de nuevo con ayuda de la fórmula de Rayleigh.

En un segundo y tercer cálculo se partió de la forma de la elástica correspondiente a la sobrecarga total y, además, se tuvo en cuenta la influencia de la dilatación de los cables, el movimiento de los centros de gravedad de cables, torres de suspensión y, finalmente, el efecto de fuerzas concentradas actuando en los puntos de suspensión.

El resultado de este análisis en una primera aproximación dio una frecuencia propia de 1,1 Hz. En otros cálculos se llegó a una frecuencia de 1,4 hercios.

Una vez terminada la pasarela se encargó al Instituto Otto Graf la medición de las oscilaciones.

La excitación se produjo con la ayuda de grupos de peatones que marchaban a un paso cadencial. La frecuencia fundamental del puente, sin sobrecarga, fue de 1,5 Hz y corresponde a la sobrecarga total. Un grupo de 30 personas, marchando a un paso rítmico, provocó una frecuencia de 2,2 Hz con una amplitud máxima de  $\pm 4$  mm. Los cambios de tensión motivados por la vibración tienen poca importancia y la flecha máxima debida al peso propio es del orden de 140 mm, mientras que la correspondiente a una sobrecarga de  $500 \text{ kg/m}^2$  es de unos 440 milímetros. Las amplitudes de las vibraciones crecen al principio y se van amortiguando después. No se observaron oscilaciones puras ni interferencias de la frecuencia propia.

El amortiguamiento del sistema es pequeño, pues tienen un decremento logarítmico de 0,016. Para frecuencias de excitación con incrementos de hasta 0,5 Hz, de la frecuencia propia, la reacción del sistema vibrante es sensible. Un juicio crítico acerca de la oscilación admite diversos criterios. El primero es el que nos asegura la estabilidad de obra y

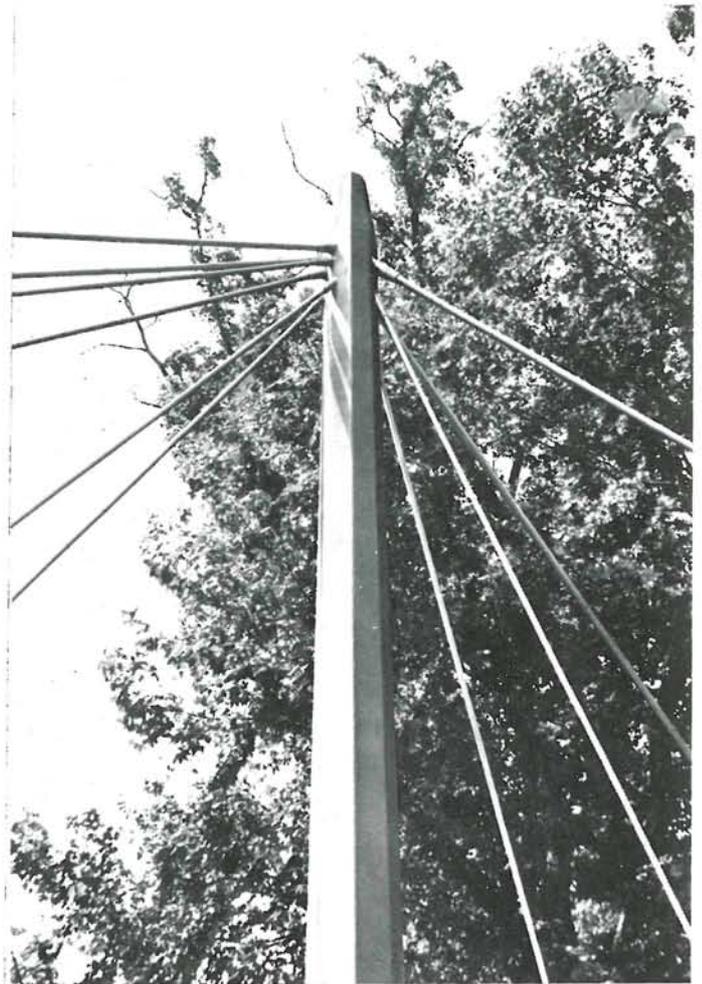
Protección contra los cables del tranvía.  
Vista inferior de la pasarela.  
Vista próxima de la torre de suspensión.

peatones, ambas garantizadas en este caso. Otro aspecto consiste en considerar, además, el efecto psíquico que producen las oscilaciones en los usuarios de la pasarela. En este campo se carece de medida y valoración de métodos y criterios empleados para su determinación. ¿Cuál es el factor influyente en la fisiología humana para que la vibración sea tolerable o desagradable? ¿Se trata de la aceleración o de la variación de aceleración (sacudida)? Se sabe positivamente que la aceleración debe mantenerse hasta cierto límite para que no se produzca efecto desagradable, pero por otra parte no puede admitirse una frecuencia cualquiera, pues en el equilibrio orgánico humano se produce un fenómeno análogo al de la resonancia, que fisiológicamente se traduce en una impresión de angustia.

Algunos peatones experimentaron estas impresiones de angustia a consecuencia de la vibración y, en algún caso, se llegó hasta la sensación de vértigo. Observaciones análogas se han realizado en otros puentes.

A juzgar por los datos que actualmente se disponen, las frecuencias de 1 a 5 Hz producen efectos desagradables, de los que las normas actuales sobre estas obras no aclaran nada; sin embargo, el constructor debe preocuparse de estos procesos, además de garantizar la seguridad física, es decir, ha de contar con los efectos psíquicos, tema que ha sido tratado en una revista de arquitectura al referirme a esta pasarela. Sería de desear que a la instrucción 1.072 se añadiese algo tendente a evitar las frecuencias que dan lugar a vibraciones de impresión desagradable. En el caso de esta pasarela se hubiese podido rebajar la frecuencia reduciendo el número de puntos de suspensión o aumentando, convenientemente, las masas hasta eliminar todo efecto desagradable.

Fotos: WERSUNG HAARFELD



Cabeza superior de la torre de suspensión.



Efecto luminoso de la barandilla.

### **Passerelle suspendue à Stuttgart**

Fritz Leonhardt et Wolfhart Andra, ingénieurs.

Comme conséquence de l'exposition de jardinage qui a eu lieu à Stuttgart en 1961, les jardins et les parcs qui s'étendent vers le Neckar ont subi une profonde modification et, comme dans cette zone le trafic de piétons est considérable, on a jugé nécessaire la construction d'une passerelle qui enjambe une avenue de grande circulation automobile.

Ce passage supérieur se divise, d'un côté, en deux directions distinctes dont les rampes sont orientées: l'une vers la gare et l'autre vers la zone du Conseil Général et des Théâtres.

La structure a été adoptée à la suite d'un concours public, auquel ont participé diverses entreprises. Le projet qui a été choisi consiste en une structure suspendue, métallique, en arc surbaissé d'une chaussée de faible épaisseur. L'ouvrage se compose d'un tronçon en arc de 90 m de portée et de rampes d'accès. Etant donné la grande circulation de piétons, l'adoption d'escaliers ne paraissait pas indiquée.

Le côté de la poutre caisson, en arc, mesure 0,50 m sur 5,50 de largeur. La poutre est continue longitudinalement et est suspendue à des câbles qui, partant d'une tour métallique, s'ancrent à la passerelle en 5 points de suspension différents, séparés de 18, 17, 17 et 18 m respectivement.

Pour assurer la tour de suspension de câbles, on a procédé au battage de pieux sur lesquels a été préparé le dé de fondations. Bien que le terrain n'ait pas une capacité suffisante de sustentation pour éviter des tassements d'importance relative, l'ouvrage étant suspendu, les tassements différentiels, même de quelques centimètres, ne peuvent modifier la stabilité ni la résistance de l'ouvrage.

### **Suspension Footbridge at Stuttgart**

Fritz Leonhardt and Wolfhart Andra, engineers.

Following the gardening exhibition held in Stuttgart in 1961, the parks and gardens along the river Neckar have been greatly improved and modified, and as there is a considerable pedestrian traffic in this zone, it became necessary to build a footbridge to cross one of the main roadways.

This footbridge leads on one side towards the station and on the other in the direction of the Theatre Palace. A public competition was organised to find the best design for this structure, and various firms submitted projects. The chosen one consists of a suspended, metal, flattened arch structure, and a thin walking deck. The arch has 90 m span, and approach ramps, since the large number of pedestrians precluded the use of steps.

The arched box girder is 0.5 m deep and 5.50 m wide. The beam is continuous, and hangs from cables which are attached at five points of the bridge, at points separated from each other 18, 17, 17 and 18 m. These cables run over a metal pillar.

To give the pillar greater stability, a number of piles were driven into the ground, and the foundation block for the pillar was placed on these piles. Although the soil is not sufficiently stable to avoid small settlements of the foundations, this is not too important, since the structure is suspended, and small settlements, of even a few centimetres, would not modify the strength and stability of the project.

### **Hänge - Brückensteg in Stuttgart**

Fritz Leonhardt und Wolfhart Andra, Ingenieure.

Als Folgeerscheinung der Gartenausstellung 1961 in Stuttgart haben die Gärten und Parkanlagen, die sich zum Neckar hin erstrecken, eine durchgreifende Umwandlung erfahren. Da in dieser Zone der Fussgängerverkehr bedeutend ist, hat man die Erbauung eines Brückensteiges für notwendig erachtet, um eine Strasse mit grossem Verkehr zu überbrücken.

Dieser obere Uebergang gabelt sich auf einer Seite in zwei verschiedene Richtungen, deren Rampen sich richten: eine nach dem Bahnhof hin und die andere zum Rathaus und Theater.

Die Struktur schrieb man in einem öffentlichen Wettbewerb aus, an welchem verschiedene Unternehmungen mit unterschiedlichen Plänen teilnahmen. Der unter ihnen ausgewählte besteht aus einer Hänge - Stahlstruktur mit erniedrigtem Bogen und einem Belage von geringer Dicke. Das Werk besteht aus einem Bogenabschnitt von 90 m Weite und Zugangsrampen, denn wegen des grossen Fussgängerverkehrs waren Treppenanlagen nicht angezeigt.

Die Höhe des gebogenen Hohlbalkens beträgt 0,50 m und seine Breite 5,50 m. In der Längsrichtung ist der Balken durchlaufend und befindet sich an Kabeln aufgehängt; sie gehen von einem Stahlurm aus und verbinden sich mit dem Brückensteige an fünf verschiedenen Aufhängepunkten, im jeweiligen Abstand von 18, 17, 17 und 18 m.

Für die Sicherung des Turmes der Hängekabel schritt man zur Einrammung von Pfählen, über welchen der Fundierungswürfel bereitet wurde. Obwohl das Gelände keine genügende Tragkraft aufweist, um Setzungen von relativer Bedeutung zu verhindern, verändern sie nicht die Stabilität und den Widerstand des Werkes, selbst nicht bei einigen Zentimetern, da es aufgehängt ist.