Informes de la Construcción Vol. 10, nº 96
Diciembre de 1957

562 - 38

puente nueva república
Caracas

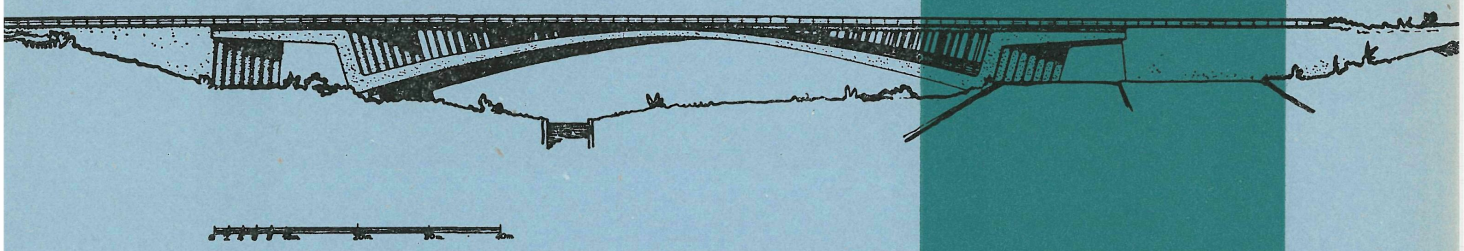
RICCARDO MORANDI, ingeniero

Generalidades

El puente Nueva República, de Caracas (Venezuela), construído dentro del casco urbano de la ciudad, es una obra de gran importancia que emprendió y terminó el floreciente país venezolano.

El puente salva una rambla que colecta las aguas pluviales y, además, ha de dejar un paso inferior para una avenida; también se ha previsto un segundo paso inferior.

El puente es de hormigón armado y pretensado en parte, constituído por tres tramos, dos laterales en pórtico y uno central principal, en arco muy rebajado, de 90 m



de luz y 7.65 m de flecha. El eje del puente está en esviaje respecto al de la avenida del paso inferior, entre los cuales se forma un ángulo de 61°. El arco central está formado por nervios individuales, de sección celular, los cuales se extienden más allá de los estribos para tomar una forma particular.

El tablero del puente, de 26 m de anchura, se ha subdividido en dos bandas de circulación, de 9.25 m de anchura cada una, entre las cuales se ha dejado un macizo de 1.50 m. Los andenes para peatones tienen 3 m de ancho, y la pendiente de las calzadas es de 1.5 %. Los accesos al puente se han protegido con muros de acompañamiento, de hormigón armado.

Cimientos

Es evidente que un arco tan rebajado como el del puente ha necesitado un detallado estudio para absorber en cimientos un gran empuje.

La solución del problema de cimientos se complicó, debido a que existían dos tipos diferentes de suelo para soportar los estribos.

De los sondeos practicados para el reconocimiento del terreno se dedujo, que a unos 15 m de profundidad la capacidad de sustentación era muy similar en los dos estribos.

INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (CC-by)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Teniendo en cuenta este estudio se decidió apoyarse sobre pilotes, pero dispuestos en cada estribo de manera diferente. Así, en el estribo norte se utilizaron 397 pilotes, unos verticales y otros siguiendo las direcciones más favorables. Estos pilotes, de unos 8 m de longitud media, se hormigonaron partiendo de una perforación suficientemente profunda para llegar a la zona sana del terreno, y calculándolos para resistir a los esfuerzos de tracción y cortantes que la acción del arco en esviaje transmite a los cimientos.

Los pocillos de los pilotes son de 0,40 m de diámetro. El hormigón para llenar los pocillos se compactó enérgicamente.

El estribo sur, que motivó grandes preocupaciones, se apoya sobre 486 pilotes metálicos, de sección en doble T, de 34,8 × 29,7 cm y de 112,62 kg/m.

Estos pilotes se hincaron llegando a un rechazo de 2,50 cm en los cinco últimos golpes y a una profundidad media de 12 m. La hinca se ha realizado siguiendo una dirección de 30° con la vertical, es decir, paralelamente a la resultante de las acciones de las estructuras superiores, lo que ha permitido transmitirlas paralelamente a dicha dirección y a la profundidad conveniente.

Sobre los pilotes de cada estribo se han construído las soleras, y sobre ellas los tabiques o prolongaciones de las paredes que forman los nervios celulares del arco. Entre las paredes de estos tabiques se ha rellenado con 4.500 m³ de tierra, cuyo peso ha servido para acercar más a la vertical la resultante de la acción combinada del empuje y peso del escombro.

Estos nervios de cimientos se hallan sometidos a fuertes momentos de flexión y esfuerzos cortantes, razón que ha motivado que se pretensen con 96 cables de acero de alta resistencia, compuestos de 18 cordones y con 5 mm de diámetro. Las armaduras se han tesado a 8.900 kg/cm².

Tramos laterales

Cada tramo lateral se compone de diez semicerchas o pórticos, en los que un montante va empotrado en la parte de arranque del arco y apoyándose el cabezal sobre el muro transversal que retiene el relleno del acceso.

Las cerchas de los pórticos, que constituyen el soporte del tablero en los pasos inferiores, son de hormigón armado, de 0,40 m de espesor y canto variable, de 2,20 a 1,10 metros.

Los muros sobre los que se apoyan los cabezales de las cerchas de los pórticos son de hormigón armado, de 0,40 m de espesor, y se han reforzado con tabiques acartelados de 4,30 a 1,15 m de ala. Estos nervios de refuerzo se han empotrado formando cuerpo con la estructura de cimientos.

El arco del tramo central

Muy rebajado, en esviaje, se compone de diez elementos celulares de sección rectangular. Debido a los efectos de la propia oblicuidad de la obra, el arco se ha dividido en dos partes independientes, pero los elementos celulares de cada una de estas dos partes se han arriostrado convenientemente entre ellos. Cada una de estas partes independientes del arco se compone de dos tipos de elementos celulares. Las paredes de estos elementos, correspondientes al intradós y extradós, tienen 50 cm de espesor en arranques y van en disminución hasta llegar a tener 25 cm en la clave. Los tabiques verticales, de 50 cm de espesor, tienen 2,50 m de canto en arranques, para llegar a la clave con 1 metro.

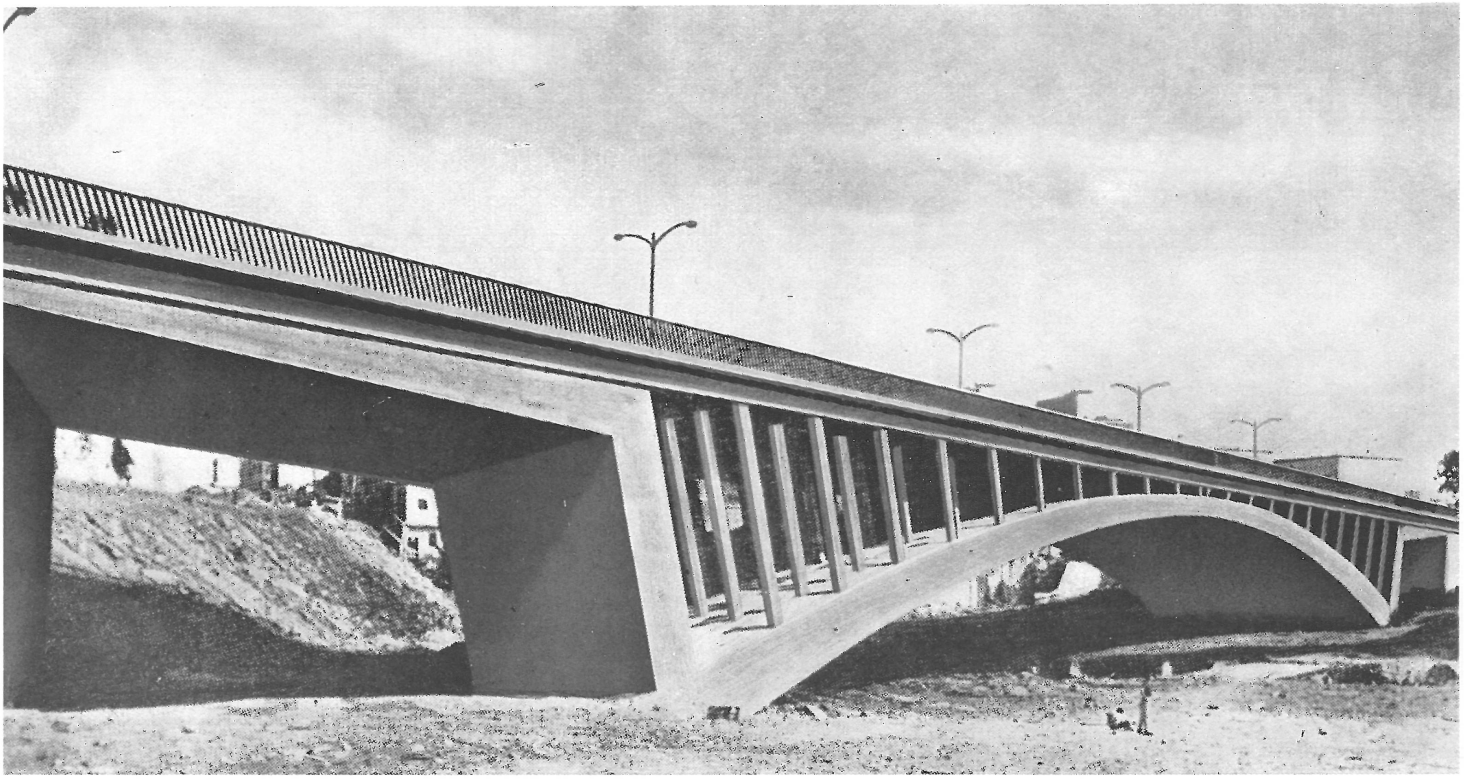
Las zonas de arranques se han pretensado con 144 cables, compuestos de 18 cordones y con 5 mm de diámetro, tesados a 9.000 kg/cm². El anclaje de estos cables se ha hecho en los arranques por medio de lazos de, por lo menos, 1 m de diámetro y prolongándolos hasta cimientos. Se han tesado por series de tres cables, evitándose las pérdidas iniciales de tensión por reajuste posterior—a los tres meses de terminada la obra—, en el que se recuperarán las referidas pérdidas. Estas operaciones se ejecutaron siguiendo los procedimientos Morandi, cuyas características son bien conocidas.

El alambre de los cables del pretensado, de 5 mm de diámetro, es de fabricación italiana y tiene una carga de ruptura de 180 kg/mm² y 155 de límite elástico.

Tablero

La losa del tablero, de 16 cm de espesor, descansa sobre un reticulado de vigas, de 30 × 60 cm de sección las 10 longitudinales y de 25 × 60 cm las 24 transversales, cuya dirección es paralela a la del eje de la avenida del paso inferior. Su pendiente es del 1,50 %, apoyándose sobre una serie de soportes oblicuos respecto a la vertical y articulados en sus dos extremidades. El tablero descansa en sus dos extremidades sobre rodillos de acero inoxidable. Los dos soportes utilizados en la clave son viguetas metálicas, revestidas de hormigón para protegerlas contra la oxidación.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (CC-by) http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es



Como el arco, el tablero se ha subdividido en dos partes iguales e independientes; esta forma de operar permite que las acciones de torsión de cargas accidentales colocadas en la dirección normal al eje del puente no resulten intolerables.

La calzada se ha revestido con una capa asfáltica de 5 cm de espesor; los parapetos son de tipo metálico, en los que la iluminación del andén se ha colocado parte próxima al pasamanos. Las aceras y el macizo central se han revestido con una capa asfáltica de 3 cm de espesor.

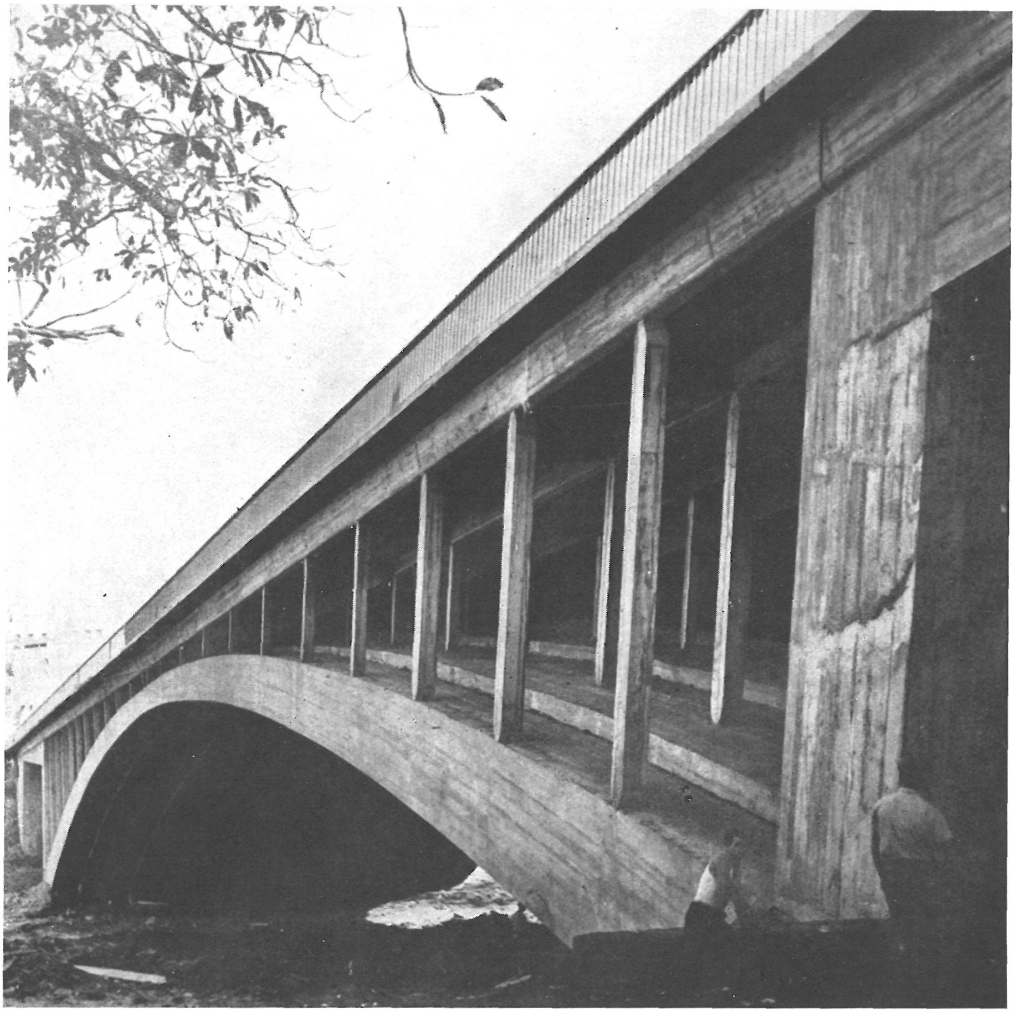
Estabilidad de la obra

El forjado nervado que constituye el tablero se apoya con gran libertad sobre sus extremidades y sobre el arco, en las extremidades, sobre rodillos, y sobre el arco por medio de montantes articulados en el tablero y extradós del arco. La oblicuidad de 17° respecto a la vertical de estos soportes, permite inducir empujes secundarios horizontales al arco en la zona próxima a la clave, tratándose de cargas simétricas respecto a ésta, lo que constituye prácticamente una mejora estática.

Tanto para el caso de sobrecarga accidental disimétrica respecto a la clave como al efecto debido a la pendiente del puente, se confió a los dos montantes metálicos de la clave la transmisión de los esfuerzos horizontales resultantes de estas dos causas.

Las vigas longitudinales del tablero se hallan sometidas a tres esfuerzos distintos: uno de flexión y otro cortante, ambos debidos al peso propio, sobrecarga accidental más desfavorable y efecto de la circulación, y un tercero, de tracción, que se deriva de cambios de temperatura de $\pm 10^{o}$ y del empuje que proviene de la componente horizontal de las reacciones debidas a la pendiente del tablero y oblicuidad de los soportes. Esto supone que el tablero está rígidamente unido con el arco por la acción de los soportes próximos a la clave, así como unido articuladamente y sin

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (CC-by)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es



rozamiento a los demás soportes. Los soportes metálicos a uno y otro lado de la clave trabajan a flexión y están sometidos a esfuerzos cortantes, pero su carga no rebasa en ningún caso los 1.000 kg/cm².

Tramos laterales aporticados

Las cerchas que forman el pórtico tienen una articulación fija sobre el muro transversal que constituye el segundo montante o apoyo. El conjunto de cerchas y losa del tablero transmite un esfuerzo horizontal máximo de 592 t al muro transversal.

Las sobrecargas reglamentarias exigidas fueron de 9.425 kg de peso concentrado en el centro de las luces del tablero. La carga de cada viga longitudinal fué de 1.300 kg/m, y la concentrada correspondiente era de 10.650, teniendo en cuenta las cargas dinámicas.

Muros transversales de los tramos aporticados

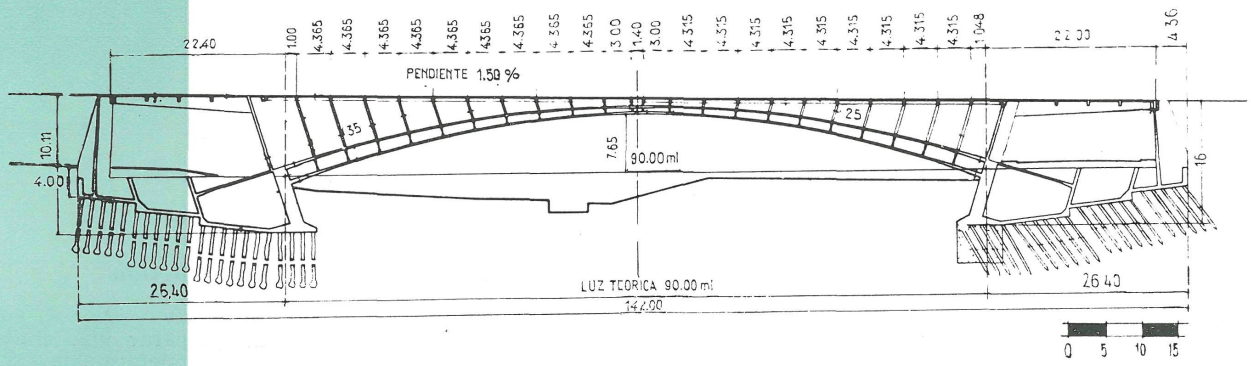
De hormigón armado, reforzados por tabiques verticales, se han calculado suponiendo un peso de 1.600 kg/m³ para el relleno y un ángulo de rozamiento de 35°, admitiendo que la componente horizontal de este peso se opone en dirección al empuje.

Arco

Para la estabilidad de este arco no tienen gran importancia los esfuerzos de torsión o secundarios debidos al esviaje; por el contrario, su forma muy rebajada y la relación de rigidez entre la clave y arranques fueron causa de detenido estudio, ya que se temía pudiera discrepar de la concepción teórica.

El momento de inercia varía mucho de una sección en la clave a otra en arranques, por lo que, teniendo en cuenta la gran anchura del arco y las posibilidades de cargas disimétricas, se temió una desviación con el estado teórico de cálculo.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (CC-by)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es



sección longitudinal

Esto dió lugar a disponer, en forma independiente, los elementos celulares del arco, pero arriostrándolos transversalmente y a igual distancia de arranques, para obligarlos a deformarse lo más idénticamente posible. Por ello, las deformaciones elásticas de los diferentes elementos debían desarrollarse de acuerdo con las previsiones del cálculo.

Las determinaciones de carácter geométrico y elástico del sólido se han realizado haciendo coincidir el eje de cada elemento del arco con el funicular correspondiente de las cargas permanentes.

En lo que respecta al estado hiperestático se adoptó el método de la elipse central de elasticidad, determinando la línea de influencia para el estudio de ciertas secciones particulares influenciadas por el efecto de las cargas verticales.

Los efectos térmicos con cambios de temperatura de $\pm$ 10° C fueron objeto de estudio, calculándose el de retracción suponiendo una variación térmica de — 10° C y admitiendo un módulo elástico del hormigón de 150.000 kg/cm². También se estudiaron los efectos de cargas disimétricas.

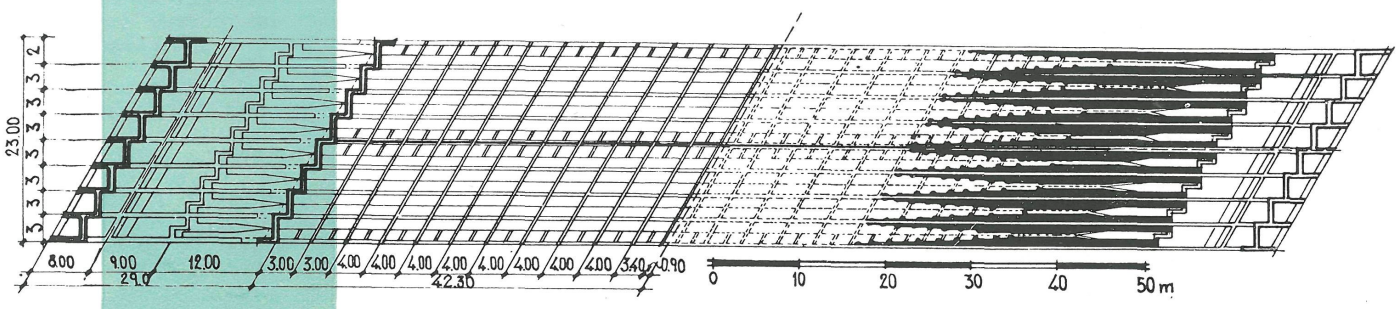
Después de analizar las distintas combinaciones de los diferentes esfuerzos, se determinaron las excentricidades, máxima y mínima, del polígono funicular resultante en las secciones de la clave y arranques.

En las regiones próximas a los arranques se aplicó un esfuerzo de pretensado de posición e intensidad tal, que la excentricidad del esfuerzo normal resultante no rebase las tolerancias admisibles dentro del cuadro de esta obra.

Finalmente, se introdujeron las correcciones pertinentes del cálculo para tener en cuenta las acciones del pretensado y estado hiperestático que pueda resentir el arco por efecto de pérdida de empuje debida a una nueva contracción del eje como consecuencia del pretensado.

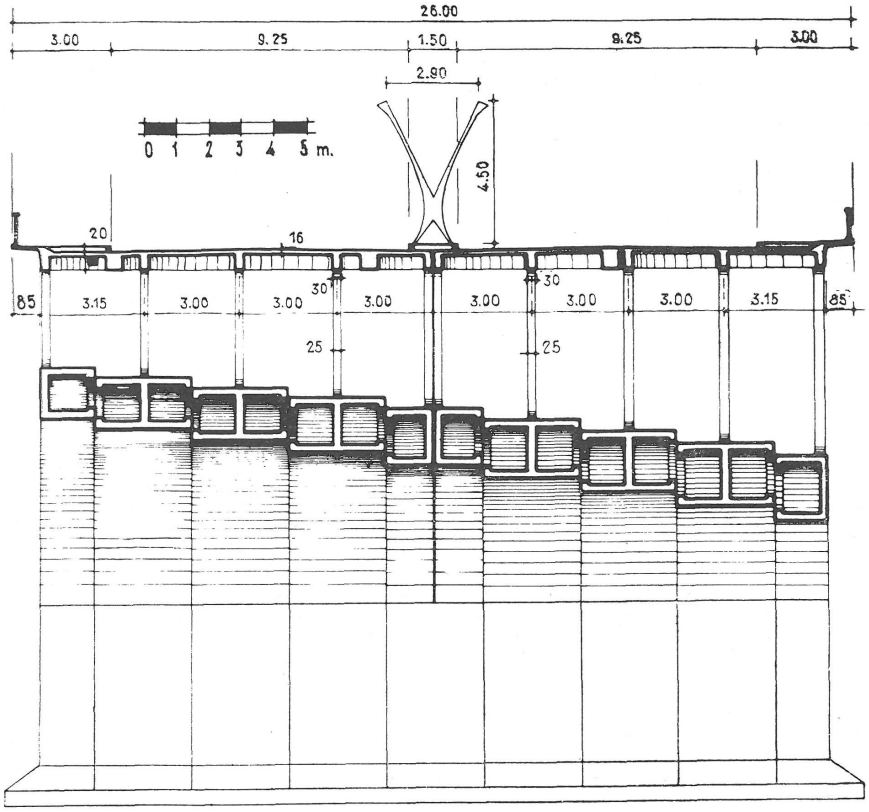
El estado hiperestático creado por el pretensado tiene su origen en que la resultante de las acciones de los distintos cables no se halla en el plano de simetría de la zona de arranques.

planta

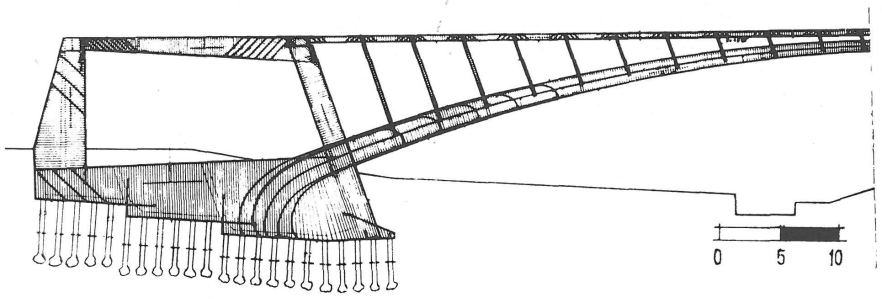


© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (CC-by)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

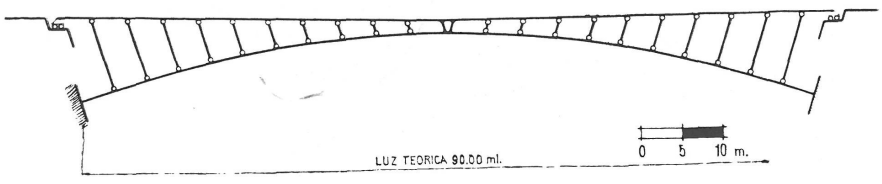
sección transversal



detalle sección longitudinal



esquema de apoyos



Construcción

Se tuvo especial cuidado de preparar una cimbra lo más indeformable posible. Como la obra se realizó con gran rapidez, la empresa constructora—una colaboración italo-venezolana—puso en juego un material auxiliar moderno y muy mecanizado.

Antes de descimbrar se cargaron con relleno los huecos de la tabiquería de estribos; se procedió seguidamente a inducir la mitad del esfuerzo del pretensado; se dejó la otra mitad para tesarla después de descimbrar, y se operó por fases sucesivas.

El tablero se construyó repartiendo su carga simétricamente sobre el arco para evitar deformaciones, que, una vez terminada la obra, fueron de 47 mm de flecha en la clave y unos 2 mm de deslizamiento horizontal en cada uno de los estribos; estos resultados han confirmado las hipótesis de cálculo con un módulo medio de elasticidad para el hormigón de 450.000 kg/cm^2.

El puente Nueva República, de construcción reciente, fué estudiado por el autor de este trabajo, y con trazo tan característico, que es fácil descubrir a su proyectista con la simple inspección de sus líneas generales. Esta obra, como otras por Morandi proyectadas, se distingue por su flexibilidad, armonizada con la finalidad utilitaria de su explotación. En ella fructifican las nuevas tendencias hacia el pretensado e interdependencia contributiva de órganos estructurales que, trabajando con cierta independencia, no sólo coadyuvan al problema estético del conjunto, sino que en sus movimientos relativos no crean estados coercitivos que pudieran agravar la función individual de cada uno de ellos.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (CC-by)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es