

MÉTODOS EMPLEADOS DE UN ARCO DE CONCRETO DE 233 PIES DE LUZ (70 METROS)

(Informaciones tomadas del *Engineering Record*, Agosto de 1907, por L. Lira)

En Mayo de 1906 el Ministerio de Obras Públicas de Philadelphia celebró un contrato para la construcción de un gran puente de concreto armado en el camino de Walnut Lane sobre la quebrada de Wissahickon.

Características generales.—El puente consta de un arco central de 70 m de luz i 21,00 m de flecha i cinco arcos de 15,90 de luz. El largo total del puente es 176,00 i lleva una calzada de 12 m de ancho con dos veredas de 3,09 m cada una o sea un ancho entre barandas de 18 m.

Condiciones de cálculo.—El puente ha sido calculado para una carga uniforme de 500 kg. por metro cuadrado i una carga concentrada de 40 toneladas sobre dos ejes espaciados de 6,00 m i ruedas a 1,80 m una de otra. La presión del viento se tomó de 250 kg. por metro cuadrado de superficie vertical.

Con estas condiciones la forma del arco central se buscó de manera a dejar siempre la curva de presiones dentro del tercio central.

Resultados del cálculo.—El arco central resultó formado por tres segmentos de círculo i consta de dos bóvedas con un ancho de 6,45 m i un espesor de 2,85 m en los nacimientos i un ancho de 5,40 m i un espesor de 1,65 m en la clave. Las dos bóvedas quedan separadas en la clave por un espacio de 4,80 m. El trabajo máximo a compresión en las fibras extremas del arco en las secciones de mayor excentricidad de la curva de presiones resultó ser de 35 kg. cm.² incluso el trabajo debido a las variaciones de temperatura. La reacción máxima en el nacimiento alcanza a 16 500 toneladas.

Estructura del tramo central.—Cada uno de los dos arcos de 70 m lleva 10 muros verticales transversales que se elevan hasta el nivel de la clave. Estos muros terminan lateralmente en dos pilas que también descansan sobre los arcos, las que llevan los arcos de los riñones que a su vez soportan muros longitudinales que sostienen la calzada. El espesor de los muros verticales varía ligeramente i es de 60 cm. mas o menos. Las pilas tienen una sección superior de 1,29 m × 1,05 con paramentos inclinados de $\frac{1}{4}$. Los arcos de los riñones son de medio punto con una lei de 6 00 m con un espesor de 60 cm

en el nacimiento el que va decreciendo hasta ser de 48 cm en la clave donde tienen un ancho de 1,05 m. Los muros longitudinales son 4, dos en cada arco i tienen un espesor de 0,75 m.

Estructura de la calzada.—La calzada descansa sobre los 4 muros longitudinales por medio de un sistema de vigas transversales I de fierro. Las vigas que descansan sobre los dos muros longitudinales de un mismo arco son de 380 mm. de alto i pesan 19 kg. i tienen 5,48 m de largo i están espaciadas de 1,80 m de centro a centro. Las vigas que cubren el espacio de 4,80 m que queda entre los dos arcos son de 600 mm de altura pesan 30 kg i están espaciadas de 1,80 m de centro a centro. Cada extremo de una de estas vigas está unida a los extremos interiores de las anteriores por cantoneras remachadas. Los espacios de 1,80 m que quedan entre las vigas están cubiertos con pequeños arcos de concreto. Se ha unido las vigas entre sí por medio de alambres de $\frac{3}{8}$ pulgadas que atraviesan el alma llevando dos tuercas en cada interseccion una a cada lado del alma.

Armaduras.—Los arcos principales no tienen armadura de fierro: sólo llevan tres barras cuadradas de 25 mm colocadas bajo cada muro transversal cerca del trasdós i paralelamente al muro. Los muros transversales llevan por cada 0,90 m de altura una barra cuadrada de 25 mm i de 5,25 m de largo. Los muros longitudinales no llevan armadura. De las pilas sólo las que están cerca de los nacimientos tienen seis barras cuadradas de 25 mm.

Pavimento.—La chapa va colocada sobre el concreto de los arcos 1,80 m i está formada por una capa de alquitran de 6,5 mm de espesor. Sobre ella va una capa de escoria de 30 cm i sobre la escoria el pavimento formado por una base de concreto de 0,15 m i una capa de asfalto de 9 cm.

Especificacion de materiales.—El concreto consultado para los dos arcos principales, para los arcos laterales i los arcos de los riñones es una mezcla de uno de cemento por dos de arena gruesa i cinco de piedra chancada de 7 a 20 mm.

Ademas se embeberán en el concreto piedras planas del tamaño de un bolon a lo ménos i que se colocarán radialmente tan juntas una de otra como sea posible. En el resto de la estructura se consulta un concreto a la dosis de 1 : 3 : 6.

Condiciones de construccion.—Cada arco principal debe construirse simultáneamente por pares de secciones transversales opuestas para cargar simétricamente las cimbras. Estas secciones deben estar calculadas de modo que se las pueda concluir en un dia de trabajo i quedarán separadas por espacios de 66 cm que constituirán las llaves del arco. Estos espacios sólo se podrán llenar dos semanas despues de la colocacion del último par de secciones.

Cada uno de los cuatro espacios mas bajos deberán tener tres prismas concreto de 0,30 m por 0,45 m contruidos al mismo tiempo que las secciones con el objeto de mantener la separacion entre éstas i evitar posibles deslizamientos. Estos prismas serán rodeados con el concreto de la llave.

Construccion.—Las fundaciones de todas las pilas fueron llenadas en escavacion abierta hasta la roca sólida que se encontró a una profundidad de m 1,50 a 6,00. Los pozos de fundacion se hicieron a mano i sólo en pocos casos necesitaron entivacion. En

las pilas de los arcos principales se usaron baldosas que se colocaron normales al empuje del arco. En todas las otras pilas se colocaron las piedras horizontalmente teniendo cuidado de dejar las piedras colocadas al terminar un día de trabajo con la mitad de su altura encima del concreto para así formar una buena traba con el concreto que debía colocarse al día siguiente. Ya encima de la superficie la construcción de las pilas se continuo por medio de moldes hechos con tablas de 18 x 2 pulgadas con sus caras interiores acepilladas i aseguradas exteriormente por postes verticales amarrados entre sí por barras en sus extremos superiores. Se colocaban diariamente capas de concreto de 4 tablas de profundidad, entónces se desatornillaban las tuercas de los pernos que amarraban las tablas de los moldes, se retiraban éstas, se construía el molde mas arriba i los hoyos que quedaban en el concreto se tapaban con yeso. Para simular juntas se clavaron por el lado de adentro de las tablas listones triangulares horizontales de $2\frac{1}{2}$ pulgadas cada 52 cm. Al día siguiente de colocado el concreto en el molde se sacaban las tablas, se raspaba la superficie i se la mojaba con agua con el objeto de quitar las huellas de las tablas del molde i producir un color uniforme.

Cimbras.—Cada arco principal con sus muros transversales contiene cerca de 2 000 m³ de concreto i carga sobre la enmaderacion con un peso de 6 000 Ts. Se comprende que el andamiaje se hiciese bien robusto si se toma en cuenta lo enorme del peso i las variaciones que deberá sufrir al fraguar el mortero la resistencia de traccion. La parte superior del andamiaje se armó separadamente de la parte inferior de la cual quedó separada por un espacio destinado a los aparatos de descimbramiento.

La infraestructura del andamiaje descansa sobre pilas de concreto de cerca de 26 m de largo con un ancho de 0,60 m en la parte superior. Todas tienen sus fundaciones llevadas hasta roca sólida i sus paramentos tienen una inclinacion de $\frac{1}{2}$. Las pilas que caen en las laderas de la quebrada tienen una altura variable de 0,60 m a 2,40 m. Las 4 pilas que quedan en el centro de la quebrada tienen cerca de 3,60 m de alto i tuvieron que hacerse con ataguías calafuteadas por dentro. Sobre las pilas van 50 rodillos de acero de 6 pulgadas de diámetro i 0,45 m de largo paralelos al eje del puente; colocados entre dos planchas de 0,49 m de ancho por $\frac{3}{4}$ pulgadas de espesor. Cada una de las 4 pilas lleva una cepa de fierro de 15 m de largo i 6 de alto formada con 10 vigas I verticales de fierro de 30 cm i 47,5 kg de peso apenadas arriba i abajo a cepos horizontales formados con fierros [Ademas estas 10 vigas están amarradas por dos cruces de San Andres formadas con cantoneras de

$$\frac{150 \times 85}{9}$$

Sobre los cepos horizontales superiores i a plomo de las vigas verticales van diez filas de vigas I longitudinales de 610 mm de alto i 121 kg de peso. El largo total de los 5 paños encerrados por las 6 pilas de concreto es de 39 50. Encima de esta infraestructura de pilas de concreto i cepas de fierro viene el primer piso del andamiaje formado por 21 cepas transversales, este piso tiene 70 m de largo i 12,60 m de alto. Escepto en los

estremos las cepas de este primer piso se componen de dos pisos i están formados por 10 piés derechos i dos juegos de amarras en cruz de San Andres.

El 2.º piso del andamiaje tiene 9,00 m de ancho i está formado por 15 cepas que se encuentran verticalmente sobre las cepas del piso inferior. Cada cepa consta de 6 piés derechos i tiene uno, dos o tres pisos cada uno con sus amarra en cruz de San Andres. Los extremos de la solera superior de este segundo piso están unidos por medio de tornapuntas a los extremos de la solera superior del primer piso con lo que se consigue tener una buena estabilidad transversal. En el sentido longitudinal las cepas están unidas unas o otras por 6 filas de cruces de San Andres. En el primer piso estas filas son 8.

Todas las diagonales que forman las cruces son tablones de 2×9 las soleras superiores o inferiores de cada piso son de 4×12 , las intermedias son de 3×12 i todo el demás maderámen es de 10×10 excepto los pares de los pisos superiores que son de 10×16 i que llevan travesaños de 6×16 sobre los cuales descansa la cubierta formada por un entablado ensamblado a ranura i lengüeta. En este enorme andamiaje han entrado cerca de 370 000 piés cúbicos de madera. Para prevenir un incendio se ha colocado una cañería de $1\frac{1}{2}$ bajo una presión de 75 libras que corre de un lado al otro del puente i que está provista cada 15 00 de \perp con pistones. Antes de llenar las llaves de los arcos se empapó la enmaderacion por medio de esta cañería durante 48 horas. Como el tiempo que hizo durante la construcción fué seco i cálido, la enmaderacion se secó tanto que sufrió una considerable contraccion que no alcanzó sin embargo a descargar por completo las cimbras pero que fué transmitiendo paulatinamente una gran parte del peso que gravitaba sobre las cimbras al arco.

Los moldes de las dovelas se hicieron con tablas 2". Las caras radiales inclinadas de estos moldes se apoyaban por medio de tornapuntas a soleras bien apernadas a la cubierta del andamiaje.

A pesar de los 3 prismas de concreto para sujetar las dovelas de que se ha hablado en página 25 como algunas de las dovelas pesaban 170 T los trabajadores manifestaron temor de que las dovelas resbalasen i para que trabajasen hubo que colocar 3 tirantes de fierro de $1\frac{1}{4}$ encorvados paralelamente al intrados embebidos en el concreto a los cuales se sujetaron las dovelas por medio de tuercas i placas radiales de fierro.

El concreto para los arcos se llevó a los moldes de las dovelas por medio de un cable en capachos de $\frac{3}{4}$ m³ de capacidad los que se abrian por el fondo vaciando el concreto en los moldes donde era esparcido i apisonado por cuadrillas de 10 hombres los que colocaban tambien bolones planos en conformidad a las especificaciones técnicas, bolones que forman el 40% del volúmen del arco. El trabajo se mantuvo de una manera continua i se demoró tres semanas en hacer todas las dovelas del primer arco. Al ejecutar este trabajo se notó que el andamiaje se levantó un poco separándose las dovelas de los nacimientos mas o ménos 1,5 mm. Por medio de postes verticales de madera apoyados en la enmaderacion i descansando sobre estacas clavadas en el suelo se notó al centro un descenso de 2 cm al colocar el primer par de dovelas en la clave. Diariamente se ob-

servaban las flechas i la deflección total cuando estuvieron colocadas todas las dovelas fué de 5 cm.

Cuando hacia 14 días que la última dovela del primer arco habia sido concluida, las dovelas habian sufrido toda su contracción. Entonces se llenaron con concreto las 17 llaves procurando hacer este trabajo simultáneamente. Treinta días despues se descimbró el arco comenzando por destruir las cuñas del centro i avanzando hácia los lados. Ocho hombres trabajaron 6 horas en esta operacion. Terminada ella se notó un sentamiento insignificante de 3 mm en la clave.

En seguida se soltaron los pernos de anclaje de las cepas metálicas que descansan en las pilas de concreto i por medio de gatas maniobradas por dos hombres cada una se empujó todo el andamiaje sobre los rodillos demorándose en esto 3 días hasta tener el andamiaje en la posición que ocupa el segundo arco. En seguida se anclaron las cepas i se colocaron las cuñas.

La faena comprende oficinas de administración, taller de reparaciones, carpintería, herrería, almacén, depósito de carbon, cancha para el concreto, establos, grúas i cables.

La piedra chancada que pasa por el tamiz de $\frac{3}{4}$ " i queda en el $\frac{1}{4}$ " fué transportada por 7 yuntas de bueyes que hacian cada una 7 viajes diarios desde el ferrocarril que dista $1\frac{1}{2}$ millas del puente hasta una plataforma al nivel del camino de donde se vacia la piedra a una tolva de 200 T por medio de una compuerta practicada en el piso. De un modo análogo se trae la arena a un depósito de 100 T adyacentes al anterior i de allí la piedra chancada i la arena son elevados en un cubo levantado por un motor de 5 caballos. Estos cubos elevadores descansan su material en dos compartimentos de un recipiente situado en un piso alto i dividido por un tabique. Los dos compartimentos descargan su contenido por puertas horizontales de $10'' \times 12''$ a tolvas gemelas que tienen una graduación en la cara interior que permite medir las diferentes dosis.

El cemento Portland almacenado en una casa con capacidad para 1 500 barriles es acarreado a un elevador de 18" provisto de travesaños de madera de 8" separados de 24" sobre los que van colocados los sacos. Esta correa da vueltas i deposita los sacos en la plataforma de que se ha hablado ántes desde donde son vaciados a mano a la tolva en que se hace la mezcla. Cuando la tolva está llena de cemento un peon manobra las palancas que abren las puertas de la tolva i descarga el contenido en una betonera McKelvey de 1 yarda cúbica donde se añade la cantidad necesaria de agua almacenada en un barril. El concreto es trasportado en cubos de acero de 1 yarda cúbica sobre carros planos que corren en una trocha de 50 cm. i que tiene mas o ménos 6 m de largo. El extremo queda como a 5 m de la betonera de modo que los cubos pueden ser pescados por el cable sin peligro de que en sus oscilaciones vayan a golpear la betonera.

El cable de 236 m de largo está anclado en sus extremos por medio de muertos que están asegurados por una plataforma de reaccion cargada con un peso de 40 T.

Todo es movido a vapor el que es suministrado por la faena principal en la que hai instalados un caldero de 30 caballos i 3 de 20 para la betonera, los elevadores i el cable. Hai ademias 4 grúas de 10 T con brazos de 18 m movidas por tres motores Lidgerwood de 20 caballos i un motor Mundy cada uno con caldero propio.

Para terminar queremos dar algunas cifras que dan idea de la magnitud de la obra: se han ocupado en la construcción 16 000 m³ de concreto i 7 400 kg. de acero para los refuerzos; las excavaciones llegaron a 5 000 m³. En el andamiaje entraron 8 700 m³ de pino i 125 000 kg. de acero i 670 m³ de concreto.

El cemento Portland usado fué de la marca Whitehall. El precio total de la obra es \$ 253 551 i el plazo para construirla de 18 meses. Las excavaciones se comenzaron el 1.º de Agosto de 1906 i el primer metro cúbico de concreto se colocó el 20 de Septiembre del mismo año.

La construcción del andamiaje se empezó el 1.º de Enero del presente año i se terminó el 1.º de Abril.

El relleno de concreto del primer año se comenzó el 29 del mismo mes i se terminó el 7 de Junio; el descimbramiento se hizo el 22 de Julio i las cimbras se quitaron del segundo arco el 3 de Agosto. Se emplearon término medio en la faena 125 hombres.

La inspección de la obra ha sido esmerada. Un inspector ha vijilado constantemente la mezcla en la betonera i se ha dotado a cada cuadrilla con un inspector. Todo el cemento ha sido sometido a ensaye i no se ha usado sino hasta que había dado pruebas satisfactorias a los 7 dias. Con este objeto cada dia se enviaban muestras del concreto al laboratorio de ensayes.

L. LIRA.

