

N° 5:

Uso de Concretos de Alto Desempeño en Puentes *Puentes sobre el río Babahoyo y río Daule, Guayaquil, Ecuador*

Ing. Guillermo Di Pace

Ing. Cesar Ramirez Velazquez

ANTECEDENTES

El gran desarrollo urbanístico registrado en las áreas sub-urbanas de la ciudad de Guayaquil y la necesidad de asegurar su comunicación terrestre con las zonas serranas del Ecuador motivaron la necesidad del refuerzo y adaptación de los puentes existentes sobre los ríos Daule y Babahoyo, y la construcción de nuevos puentes sobre el río Daule.



Fig.1: Ubicación geográfica de los puentes

Pero ya en 1966 en Guayaquil y su zona de influencia, se decidió la construcción de puentes con tecnologías más modernas y eficientes disponibles en ese momento; esa idea precursora se mantiene inalterada hasta nuestros días. En lo que sigue se hará un breve relato de los hitos más importantes.

1967/70 PUENTE DE LA UNIDAD NACIONAL

Los puentes originales sobre los ríos Daule y Babahoyo fueron diseñados por el Profesor Riccardo Morandi y fueron construidos entre agosto de 1968 y julio de 1970 (ESPOL, 2008) (El Universo, 2015).

Los puentes tienen un ancho transversal de 20,80 m. con dos vías carrozables; longitudinalmente tienen un esquema isostático con un conjunto de vigas Gerber con pilas y vigas en volado de 15 m. por lado de cada una de las pilas, y vigas intermedias las cuales son simplemente apoyadas de 45 m. luz.

El puente sobre el río Daule tiene un desarrollo total de 870 m. con dos tramos a cada extremo de 60 m y 10 tramos intermedios de 75 m; forma un ángulo de 80° con el eje del río y por lo tanto los tableros tienen una planta oblicua. El puente sobre el río Babahoyo tiene un desarrollo total de 1995 m. con dos tramos a cada extremo de 60 m. y 25 tramos intermedios de 75m; forma un ángulo de 90° con el eje del



TECNOLOGÍA PARA
EL CONCRETO

río y por lo tanto los tableros tienen una planta rectangular.



Fig.2: Puente sobre el río Babahoyo.

Las vigas de 45 m. tienen una sección variable con una altura al centro de 2.20 m. y una altura de 1.80 m. en la proximidad de los apoyos. Para cada una de las vías se utilizaron 3 vigas prefabricadas en concreto armado post-tensado; las 3 vigas han sido primero colocadas en obra y luego fundidas monolíticamente con el complemento de una losa superior y las vigas transversales. El post-tensado ha sido realizado en dos fases: la primera antes del desencofrado y la segunda después de la fundición de la losa y de las vigas transversales. Las pilas y las vigas en volado son también hechas de concreto armado.

Para la cimentación se adoptó el uso de pilotes de 1.80 m. de diámetro con pilas de 12, 10 y 8 pilotes; para los muros de estribos se han adoptado pilotes de diámetro igual a 1.00 m. La

longitud de los pilotes y la altura de las pilas son variables en función de la profundidad del lecho del río y del gálibo para permitir la navegación. Todas las cargas permanentes han sido incrementadas en un 10% para tener en cuenta las acciones sismo-vibratorias. Para la carga accidental se ha hecho referencia a las normas del código norteamericano AASHTO tipo H 20-S 16, también llamadas HS 20-44. Las acciones sísmicas han sido tomadas en cuenta adoptando una aceleración de diseño igual a 0.07 g.

A principios del 2000, se decide la ampliación, adaptación y mejoras para alargar la vida útil de los puentes y cumplir con el gran aumento de requisitos sísmicos. Esta tarea, de gran envergadura y alta complejidad dado que no resultaba factible interrumpir el tránsito vehicular por sobre los puentes, fue acometida por el MOP de Ecuador con la activa participación de los municipios de Guayaquil, Samborondón y Durán, unidos precisamente por estos puentes.

2003/5 ADAPTACIÓN DEL PUENTE DE LA UNIDAD NACIONAL

Las obras de adaptación dieron comienzo en el 2003 (ConsulSísmica, 2004). El trabajo de adaptación (Retrofit) de los puentes existentes comprendió las siguientes actividades (Di Pace, 2005).



- a. Construcción e instalación de pilotes nuevos de 2500 mm de diámetro con una longitud aproximada de $L=45.0$ m, estos pilotes tienen como función principal tomar las solicitaciones horizontales de la estructura cuando estas se produzcan por un sismo.
- b. Alrededor de la zapata de cada pila existente y separado por una junta de neopreno, se construyó un anillo estructural de concreto armado que conjuntamente con los cuatro pilotes limitan los desplazamientos horizontales de las pilas y que por su mayor rigidez resistirán en mayor proporción el cortante sísmico.
- c. Adaptación de los asientos de los aparatos de apoyo a fin de evitar la caída del tramo isostático de 45.0m por efecto del sismo severo.
- d. Adaptación de la losa del tablero para soportar cargas de tráfico tanto en el sector del voladizo ubicado hacia el lado norte como en su parte longitudinal central, incluyendo la prolongación de los diafragmas intermedios, esto último como consecuencia de eliminarse el jardín central e incorporar este espacio a una nueva vía de tráfico vehicular (quinto carril).

- e. Tratamiento de la Losa del Tablero. En particular se destaca la tarea de reconstrucción de los labios de juntas, para evitar su mantenimiento y reconstrucción permanentes.

En la ejecución de estas obras de adaptación, se introdujeron algunas innovaciones tecnológicas para el medio. Entre ellas se destacan:

Concreto Fast-Track

La necesidad de adaptar la losa central de tablero del Puente existente sin interrumpir el tránsito llevó al diseño de un concreto tipo fast-track, o sea de apertura rápida al tránsito.



Fig.3: Concreto Fast-Track.

Requerimientos:

- $f'c$ 350 kg/cm²
- $f'c > 20$ MPa a 12 horas
- Concreto antivibratorio
- Fácil colocación



TECNOLOGÍA PARA
EL CONCRETO

Soluciones tecnológicas:

- Uso de fibras de polipropileno
- Adición de superplastificante y acelerante de resistencia en obra
- Curado térmico con 5 cm de poliestireno expandido en planchas
- Curado hidráulico con tela de yute
- Control estricto de temperatura, asentamiento, resistencia a 12 horas, fraguado y madurez

Concreto de Alto Desempeño para Juntas

Para evitar el mantenimiento y la reconstrucción permanentes de las juntas de tablero, se decidió la reconstrucción de los labios de juntas mediante el uso de concreto de alto desempeño. Para no interrumpir el tránsito, todas las tareas fueron realizadas en horario nocturno, cerrando carriles alternados.



Fig.4: Concreto para Juntas.

Requerimientos:

- $f'c$ 450 kg/cm²
- Alta resistencia inicial
- Vida útil 100 años
- Fácil colocación
- Resistente a choque e impacto

Soluciones tecnológicas:

- Uso de microsílíce
- Resistencia 45 Mpa a 90 días
- Concreto autocompactante
- Control estricto de calidad

2005/9 DUPLICACIÓN DE PUENTES EXISTENTES

Por motivos presupuestarios, esta obra se dividió en dos fases:

- a. Construcción del nuevo Puente sobre el Rio Daule (2005-2006)
- b. Construcción del nuevo Puente sobre el Rio Babahoyo (2009-2010)

Puente sobre el río Daule

El nuevo puente se ubica hacia el norte y de manera paralela al puente original y a una distancia libre entre ellos de 10.0 metros. Su ancho total de 20.80m proporciona capacidad para 5 carriles, un espaldón de 2.85 m hacia el lado norte y otro de 0.35 m al sur y una vía para ciclistas y peatones (Del Carril, Di Pace y Ramírez, 2006).



TECNOLOGÍA PARA
EL CONCRETO

La longitud total del puente es de 1031.76 m, la misma que se descompone en una estructura de puente segmental central de 850.0 m y dos estructuras de accesos, una en cada extremo (lado Guayaquil y lado Samborondón) de 90.88 m cada una.

La superestructura (tablero) está formada por una viga cajón unicelular que longitudinalmente trabaja como viga continua. El proceso constructivo de esta estructura es conocido por el nombre de voladizos sucesivos, también llamado Puente Segmental. Para este puente se optó por la prefabricación de los diferentes segmentos, también conocidos como dovelas, en obrador, su tesado transversal inicial y su posterior traslado a obra donde fueron izadas y se las aseguró mediante pretensado longitudinal.



Fig. 5: Montaje de segmentos premoldeados.

La superestructura de cada acceso consta de 3 tramos y cada uno está compuesto por 9 vigas postensadas (TIPO BULB-T) de 30.0m de longitud nominal, simplemente apoyadas sobre las vigas cabezales de las pilas; además posee una losa colaborante de 19.0 cm de espesor. La losa es continua para reducir en lo posible el número de juntas de expansión, juntas que han demostrado ser difíciles de mantener en buen estado durante la vida útil de la estructura.

La Subestructura del Puente Segmental está constituida básicamente por 11 pilas de concreto armado y cada una de ellas está formada por una columna con su correspondiente cabezal (zapatas) apoyado sobre cuatro pilotes. La columna presenta en planta una sección transversal de cono piramidal truncado, uno de cuyos lados (2.50 m) se mantiene constante a lo largo de la altura de la pila y el otro varía desde 6.0 m en la base hasta 7.80 m en el extremo superior.



Fig. 6: Construcción de cabezal de pilotes y pila.



TECNOLOGÍA PARA
EL CONCRETO

El cabezal sobre pilotes tiene en planta de espesor variable entre 3.00 m en el filo o extremo de la zapata a 3.45 m en el interior de la misma. El espesor proporcionado al cabezal se debe a la necesidad de absorber valores altos de cortante y de flexión como consecuencia de las fuerzas axiales y momentos plásticos que se presentarían en la cabeza de los pilotes generados por el sismo de diseño.

El cabezal transmite los esfuerzos a 4 pilotes barrenados de 2.5 m de diámetro y profundidades de entre 45 y aproximadamente 80 m.

Puente sobre el río Babahoyo

Se optó por la misma tipología estructural. La única diferencia es que, al tener una longitud de casi 2000 m, se incluyeron dos llaves de corte intermedias para tomar esfuerzos sísmicos. Asimismo, para facilitar la construcción y no obstaculizar el tránsito, se decidió construir un puente de servicio paralelo, desde donde se realizaron todas las actividades, sin afectar el puente existente (Figura 7).

En la construcción de estos puentes, se utilizó una tecnología de punta a nivel mundial, similar a la utilizada en la construcción de los Puentes Benicia Martínez y nuevo puente San Francisco – Oakland, ambos en la bahía de San Francisco, USA y construidos en la misma

época. En particular, se destaca el desarrollo de dos mezclas de concreto de alto desempeño, las que se reseñan a continuación (Di Pace, 2005):



Fig.7: Nuevo puente sobre el río Babahoyo.

Concreto de Dovelas

Requerimientos:

- $f'c$: 450 kg/cm² a 28 d.
- Alta resistencia inicial: 25 MPa a 24 horas
- Secciones masivas
- Temperatura máxima < 65 °C
- Módulo de elasticidad > 35,6 GPa a 28 días
ASTM C 469
- Fluencia lenta específica < $75 \cdot 10^{-6}$ / MPa a 365 d, ASTM C 512, ensayos a 28, 56 y 90 días, extrapolados según Código CEB-FIP 1990
- Contracción < $450 \cdot 10^{-6}$ a 180 días, ASTM C 157



TECNOLOGÍA PARA
EL CONCRETO

Soluciones tecnológicas:

- Modelación numérica de temperaturas y tensiones
- Concreto Autocompactante
- Planta de producción en el obrador
- Colocación de aditivos en planta y ajuste final en obra
- Pre-enfriamiento del concreto fresco (23 °C) y post-enfriamiento de las zonas masivas

Concreto de Pilotes de Gran Diámetro

Requerimientos:

- $f'c$: 350 kg/cm² a 28 días
- Resistencia final 60 MPa a 20 años
- Concreto masivo
- Temperatura de curado < a 65 °C
- Colocación bajo agua con tubo Tremie
- Contacto con Agua salobre
- Vida útil 100 años

Soluciones tecnológicas:

- Modelación numérica de temperaturas y tensiones y modelo físico para ajustar el modelo teórico
- Colocación por bombeo desde el puente anexo o Puente de servicio.
- Concreto Autocompactante
- Cemento ASTM C 150 tipo II o ASTM C 595 tipo 1P
- Preenfriamiento a 23 °C
- Postenfriamiento con agua de río a aprox. 27 °C

2017/18 PUENTE ENLACE 780

Para resolver el enorme incremento de tránsito local entre los municipios de Guayaquil y Samborondón se resolvió ejecutar una obra bi-municipal, con el criterio de bajo costo y rapidez de construcción. La metodología de diseño resulta novedosa y única en su concepción para el medio (GUASAMMDA 2016): la estructura del puente principal es de acero relleno con concreto fluido de alto desempeño.

La solución vial para conectar Guayaquil con Samborondón está constituida principalmente por un puente metálico de 780 metros de longitud sobre el Río Daule, con trece luces de 60 metros y los accesos al mismo, tanto del lado de Guayaquil como de Samborondón.

El sector Puente principal consta de 5 estructuras claramente diferenciadas:

a. Pilotes.

Consisten en planchas de acero ASTM A588-A50, roladas y soldadas con soldaduras transversales y longitudinales de manera tal que se forman tubos de diámetro interior de 1.50 m y un espesor de 38 mm. Las puntas inferiores de los pilotes, en una longitud de 3 metros son de 76 mm de espesor. La longitud



de cada pilote es de aproximadamente 30 metros.



Fig. 8: Pilotes.

Una vez hincados, se coloca una mezcla fluida de concreto de alto desempeño en la parte superior de la cabeza de cada pilote en sus últimos 5.50 metros, mediante el uso de mixers y bombas de concreto.

Además de la pintura anticorrosiva, los pilotes son protegidos mediante protección catódica.

b. Cabezales – Vigas Transversales

Los cabezales metálicos son fabricados en taller mediante la unión con soldadura de las planchas de iguales características a los pilotes. La longitud de cada viga es de 26.60 metros y su peso de 71.70 toneladas.

Las 14 vigas cabezales son izadas con grúas adecuadas sobre barcaza y transportadas a cada una de las pilas del puente. Los cinco pilotes de cada pila entran en los huecos que la viga cabezal tiene en su parte inferior.

Seguidamente se procede a soldar planchas previamente preparadas para formar cámaras herméticas en cada cabeza de pilote, cámaras que terminado de colocar los pernos de ajuste para las vigas longitudinales son rellenas de concreto fluido de alto desempeño.



Fig. 9: Llenado de cabezales / vigas transversales.

c. Vigas longitudinales

Las vigas longitudinales son metálicas en su totalidad. Una vez armadas en su longitud completa son izadas en la orilla del río mediante grúa montada en una barcaza. Por la longitud de las vigas (60 metros) se usan puntales horizontales, preparados con inercia suficiente para impedir que las componentes horizontales de las fuerzas de los cables inclinados de izaje puedan doblarlos. En cada vano del puente se colocan las nueve vigas y sus correspondientes arriostramientos.



Fig.10: Vigas longitudinales.

d. Losetas prefabricadas

Por sobre las vigas longitudinales se disponen losetas prefabricadas pretensadas, fabricadas en taller por un subcontratista. Las losetas prefabricadas, con un espesor de 80 mm, largo de 2.61 m y ancho de 1 m se apoyan y anclan a las vigas.

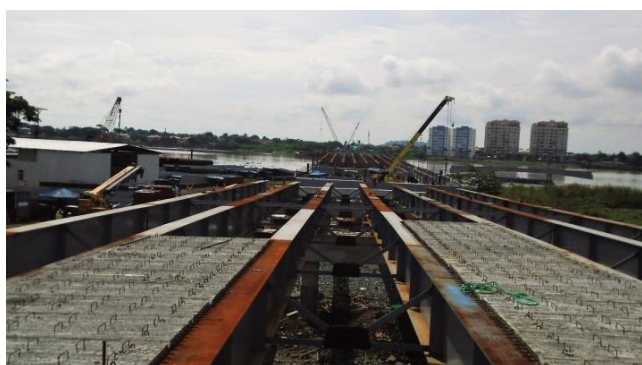


Fig.11: Losetas prefabricadas.

e. Tablero

Sobre las losetas prefabricadas se instala el acero de refuerzo de la losa de concreto del tablero del puente con un espesor de sólo 130 mm. En la losa se dejan chicotes de varillas para el anclaje del muro New Jersey y de los muros laterales de concreto armado, así como también los pernos de anclaje para asegurar las barandas metálicas para ciclovía y peatonal.

El tablero se construyó mediante el uso de concreto premezclado colocado con bomba, con distancias de bombeo de hasta 400 m. La Figura 12 muestra el puente terminado.



Fig.12: Puente Enlace 780 terminado
(Junio 2018).



TECNOLOGÍA PARA
EL CONCRETO

2019/20 PUENTE DAULE – GUAYAQUIL

Con idéntica tecnología, a principios de 2019 comenzó la construcción de un nuevo puente sobre el río Daule: el nuevo puente Daule-Guayaquil.



Fig.13: Puente Daule – Guayaquil, en construcción (Setiembre 2019).

CONCLUSIONES

Se considera que el uso de técnicas avanzadas para el medio y la época fue un aliado eficaz para construir puentes eficientes y económicos en la zona de influencia de la Ciudad de Guayaquil, Ecuador.

La implementación de técnicas novedosas trajo aparejada la necesidad de desarrollar mezclas de concreto de características inusuales, cuya correcta ejecución permitió y permite actualmente el éxito de las modernas tecnologías implementadas.

Por último, se desea destacar el excelente desempeño de los puentes nuevos y adaptados

durante el terremoto de magnitud 7.9 (Richter) registrado el 16 de abril de 2016, en la zona de influencia de Guayaquil.

