

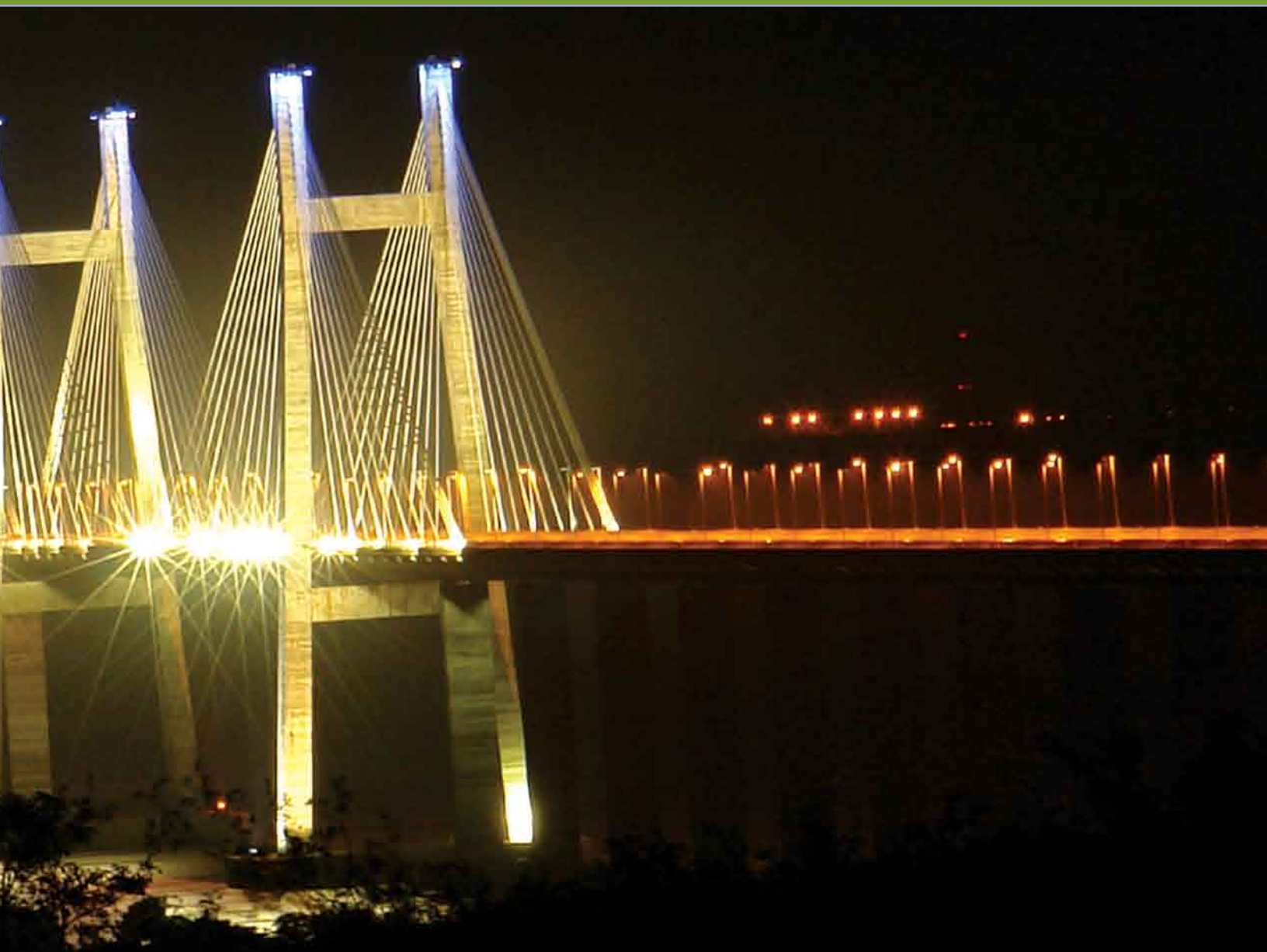


Un puente

Marissa Sánchez

El Puente Orinoquia –el segundo sobre el río Orinoco– es una impresionante obra de ingeniería civil. Con una inversión aproximada de 1000 mdd, conecta a los estados de Bolívar y Anzoátegui, en Venezuela.

Fue en el año 2001 cuando se autorizó la construcción del Puente Orinoquia. El diseño corrió a cargo del ing. Paul Lustgarten, en tanto que fue la constructora Norberto Odebrecht la encargada de dirigir la edificación. Por tratarse de un proyecto con una extensión



sobre un gran río

de 3,156 metros, cuatro torres principales de 120 m de altura, 39 pilas, dos estribos, 388 pilotes, una altura libre sobre el nivel de aguas máxima de 40 m y un ancho total del tablero de 24.7 m, con cuatro canales de circulación más una trocha ferroviaria, las características del concreto fueron vigiladas cuidadosamente.

Al respecto, Estevao Timponi, quien fuera director del proyecto, comentó a *Construcción y Tecnología*: "Por tratarse de una obra muy especial y debido a la magnitud de las solicitudes de cargamento y sísmicas, fueron utilizadas resistencias y características de concreto peculiares para la región". Por ejemplo, las resistencias

de proyecto utilizadas a 28 días, fueron: 210, 250, 280, 300, 380, 470 kg/cm².

Basados en los requerimientos del puente y en las normas venezolanas para determinar la resistencia mayorada o de diseño de la mezcla, se utilizó una desviación estándar de 35 kg/cm² y un coeficiente de variación de 10% Asimismo, se

“LOS CONCRETOS FUERON DISEÑADOS PARA ATENDER LAS DIVERSAS CONDICIONES DE VACIADO, EL CUAL DEPENDÍA DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL, SITIO DE VACIADO Y TIEMPO REQUERIDO PARA LA COLOCACIÓN”.



implementó la microsílíce, para mayor durabilidad del elemento, (12% usado por sustitución).

Por otro lado, en materia de aditivos se incorporaron retardadores, superplastificantes e incorporadores de aire –éste último para concretos sometidos a condiciones de vaciado bombeables (cabezales)–. Al respecto, Timponi señaló: “Los concretos fueron diseñados para atender las diversas condiciones de vaciado, el cual dependía del elemento estructural, sitio de vaciado y tiempo requerido para la colocación”. En este sentido, entre la gama de concretos utilizados destacan:

- Concreto f'_c 470 kg/cm², utilizado en la losa del tablero del puente (en los tramos atirantados), cuyo desarrollo de resistencia alcanzaba los 200 kg/cm² a 24 horas, necesario para permitir el avance del izaje de piezas metálicas. Debido a condiciones ambientales (exposición al sol y viento), el elemento a concretar (estructura metálica de extensión de área aproximada de 21 x 6 m, con espesores entre 25 y 35 cm) y metodologías de vaciado particulares (con tolvas y bombas estacionarias), el diseño se realizó con contenido de hielo y fibra de polipropileno para contrarrestar las condiciones ambientales y reducir los riesgos a grietas y fisuras en el concreto. Tiene consistencia controlada de 6" máxima de asentamiento. También se usaron concretos con resistencia f'_c 300 y 380 kg/cm² para las losas de los tramos intermedios y de aproximación del tablero del puente con contenido de hielo y fibra de polipropileno, con fraguados iniciales entre 18 y 30 horas.

- Concretos f'_c 210 kg/cm² para obras de drenaje, con 12 y 18 horas de fraguado inicial aproximadamente.

Las torres

Las torres del Puente Orinoquia están conformadas por dos columnas y dos vigas, todas de concreto armado, tienen una forma semejante a una doble H, en sentido transversal. Las columnas tienen un perímetro rectangular, con la cara transversal de 4 metros fijo, y la cara longitudinal de tamaño variable (de 7.5 a 4 m) decreciendo en altura, hasta el nivel de la viga superior, a partir de la cual mantiene fija la dimensión de 4 metros. La sección de las columnas es hueca, con paredes de espesores de 65 cm en el sentido longitudinal y de 1 m en el sentido transversal hasta la altura de la viga superior, y a partir de esta viga, el espesor de las paredes es de 1.004 m en el sentido longitudinal y de 55 cm en el sentido transversal.

Fuente: *La construcción de un hito de ingeniería sudamericana.*



Foto: Cortesía del libro "La construcción de un hito de ingeniería sudamericana".

- Concretos f'_c 250 kg/cm², de consistencia normal, tremie y bombeables, en obras de drenaje-viaductos, pilotes y cabezales respectivamente, con 18, 30 y 36 horas de fraguado inicial. Esto debido a la distancia existente entre la planta proveedora de concreto y el sitio de vaciado.

- Concretos f'_c 300 kg/cm², con consistencia normal, tremie y bombeable, en las pilas del viaducto del estado Anzoátegui, y en pilotes y cabezales de las torres principales del puente. El tiempo de fraguado para el concreto utilizado en las pilas del viaducto fue de fraguado inicial rápido y controlado para 12 horas debido al uso de encofrados deslizantes. Para los concretos tremie y bomba el fraguado inicial fue de 24, 30 y 36 horas aproximadamente

- Concreto f'_c 380 kg/cm², con consistencia normal y autonivelantes, fraguados iniciales en un rango de 7 a 18 horas. Fue utilizado en las torres principales y pilas del

Una obra reconocida

En el 2007, CEMEX reconoció al Puente Mixto sobre el Río Orinoco, o Puente Orinoquia, como obra finalista internacional en el rubro de Infraestructura, dentro de sus Premios Obras CEMEX. Sobre este trabajo, CEMEX señala: "Esta importante obra, que integra una importante parte de la geografía de Venezuela a una vasta red de comunicación vehicular, tiene su culminación en el Puente Orinoquia, cuya belleza y monumentalidad son un digno homenaje a la majestuosidad del río Orinoco que atraviesa.

Fuente: libro XVI Premio Obras CEMEX.

puente (en total son 42) cuyo método constructivo fue el encofrado deslizante.

Estándares mundiales de construcción

Conviene señalar que los criterios para la dosificación o determinación de las proporciones de los concretos utilizados en este portentoso proyecto venezolano se basaron en las normas ACI 211.1 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete; COVENIN

1976 Concreto, Evaluación y Métodos de Ensayo, y COVENIN 1753 Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural". En cuanto a los agregados gruesos, éstos tenían características geológicas de gneis granítico, tamaño máximo 1" y en algunos casos ¾" (si utilizaban mortero). Mientras que los finos (arena) provenían del río Orinoco, con un módulo de finura de 2.70. Adicionalmente, se utilizó microsilíceo y el agua la tomaron del río Orinoco.

En materia de aditivos, Odebrecht recurrió a los fabricantes



Master Buildings Tecnología (MBT), actualmente BASF, con el retardador de fraguado Pozzolith 2237R, el superplastificante Rheobuild 1000 y el incorporador de aire Micro Air. El volumen de aditivo Pozzolith 2237R dependió del tiempo de fraguado inicial deseado para las condiciones de vaciado; para fraguados de 18 horas iniciales, el promedio de aditivo retardador fue de 1200 cc por metro cúbico. En promedio, se agregaron 3000 cc por metro cúbico de aditivo superplastificante. El contenido de aire promedio utilizado para los concretos bombeables fue de aproximadamente 150 cc por metro cúbico para obtener máximo un 5% de contenido de aire.

“Se realizaron pruebas al concreto para determinar estado fresco y endurecido. Entre ellas se pueden mencionar: determinación de asentamiento, fraguado, exudación, contenido de aire, temperatura, compresión, reactividad potencial, módulo de elasticidad, entre otros”, explica Estevao Timponi. Y es que, por tratarse de un puente atirantado, si falla el concreto podría sufrir un colapso a nivel de estructura. Por otra parte, el agrietamiento fue controlado con una cura constante y efectiva en el concreto, principalmente mediante el uso de curadores químicos, riego de agua y protección con manta o tela húmeda.

A prueba de todo

El control de la calidad del concreto en la obra estuvo basado en métodos de prevención y corrección, desde la materia prima para la fabricación de la mezcla, diseño y evaluación de los diseños en laboratorio, procesos de producción la planta mezcladora de concreto, colocación y curado en sitio de vaciado, hasta una evaluación es-

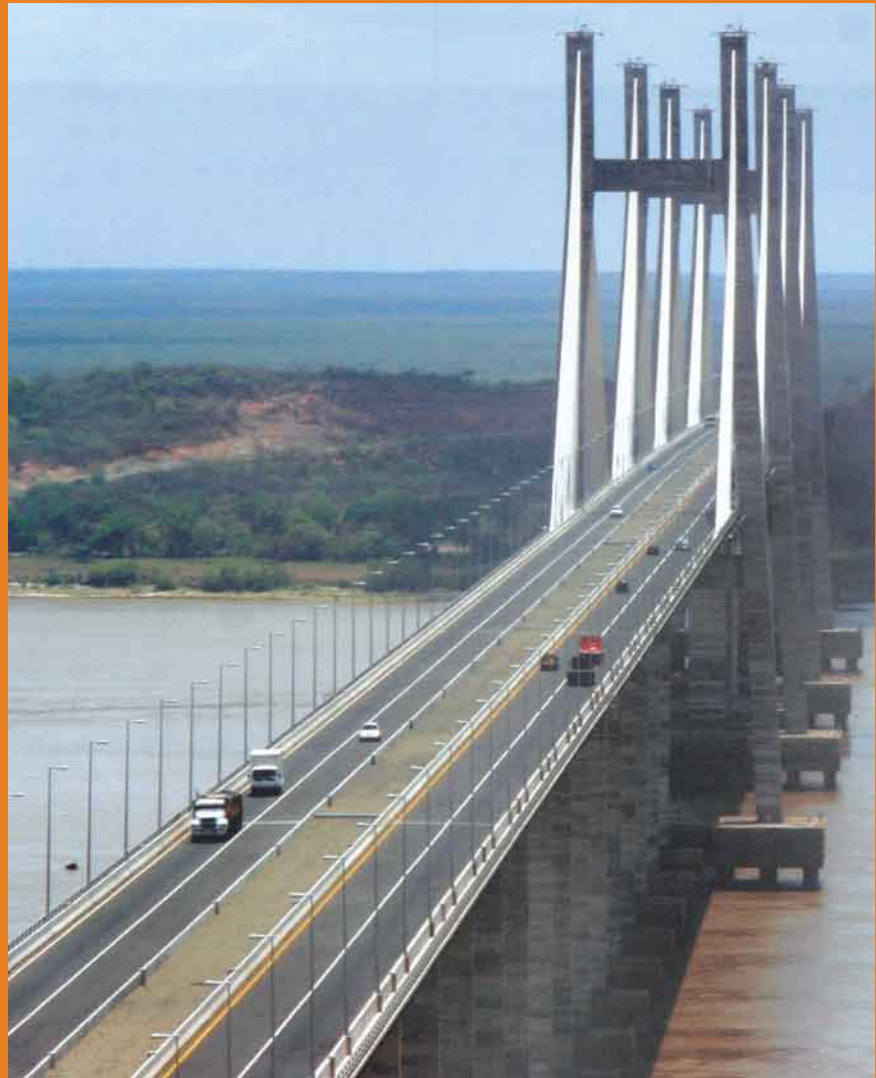


Foto: Cortesía del libro “La construcción de un hito de ingeniería sudamericana”

tadística y posibles desviaciones arrojadas en los resultados de los ensayos en concreto endurecido. “Esto con la finalidad de atender los requisitos del proyecto y ajustarnos a las condiciones reales de la obra”, señaló Timponi.

Asimismo, las actividades del laboratorio consistieron en la recepción de muestras de agregados y materiales para el concreto típicos de la producción diaria en planta. Todo con la finalidad de garantizar la estabilidad de los mismos y evitar desvíos en las mezclas de concreto. Adicionalmente, el laboratorio se encargó de recibir muestras

de concreto a ser ensayadas, de acuerdo a las normas y edades correspondientes y de acuerdo a las necesidades del proyecto, por cada elemento concretado en el proyecto durante las jornadas diarias. “Las inspecciones antes, durante y posterior al vaciado, que abarcan la revisión de encofrados, colocación de acero, verificación de recubrimientos, método de vaciado adecuado (convencional, bomba, tremie) y verificación de las condiciones de curado, forman parte de las actividades del control de la calidad en el área de concreto”, concluye el entrevistado. **C**