

PUENTE EN LA REPRESA HOOVER, EE.UU.

DESAFÍO EN ALTURA

FABIOLA GARCÍA S.
PERIODISTA REVISTA BIT

CERCA DE LAS VEGAS, EE.UU., entre los estados de Nevada y Arizona, sobre el Río Colorado se encuentra el Puente de la Represa Hoover, obra estrenada a fines de 2010 que se une a una de las estructuras de ingeniería civil más famosas del mundo, la Represa Hoover, construida entre 1931 y 1936.

Desde la década de los 60' el gobierno federal norteamericano ya había identificado la necesidad de una nueva ruta no solo debido al creciente tráfico por la zona, sino que a la inseguridad del camino. La carretera U.S. 93 de dos pistas, que va a través de la represa, se tornó inadecuada para cubrir la demanda de 14.000 vehículos y camiones que día a día se trasladan por allí, tráfico que se habría duplicado en los últimos 15 años. Cerca del embalse, la ruta preexistente se tornaba estrecha, sinuosa y empinada, por lo que se consideró un tramo inadecuado y peligroso para el volumen de tráfico. De ahí la necesidad de una nueva ruta. Por otro lado, la U.S. 93 es una ruta comercial entre México y Canadá suscrita a un tratado de libre comercio (NAFTA) que no querían se expusiese a retrasos y potenciales cierres por accidentes, ya que ello significaría pérdidas de tiempo y dinero en la entrega de bienes y servicios para la industria del país.

- Una obra monumental que se posiciona como primer puente arco híbrido de hormigón-acero en Estados Unidos, el más alto y largo de un solo arco de hormigón en el hemisferio oeste y el cuarto más largo del mundo, afirma la compañía encargada del diseño e ingeniería de la estructura.
- Entre los retos que sorteó destacan el estrecho acceso a la obra, las fundaciones, el transporte de los materiales, el control del proceso de hormigonado y su fórmula para reforzarlo.





FICHA TÉCNICA

U.S. 93 HOOVER DAM BYPASS PROJECT

UBICACIÓN: Ruta U.S. 93 entre los estados de Nevada y Arizona, EEUU, sobre el Río Colorado (cerca de Las Vegas)

MANDANTE: Administración Federal de Carreteras (cliente), Oficina de Reclamación, perteneciente al Departamento del Interior de EEUU (propietario)

DISEÑO E INGENIERÍA: T. Y. Lin International, HDR Engineering.

CONSTRUCTORA: Obayashi Corp., PSM Construction USA, Inc.

INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN: Construction Technologies & Engineering, Inc., McNary Bergeron & Associates, Scott McNary.

ESTUDIOS AERODINÁMICOS: West Wind Laboratories

INGENIERÍA DE ALZAMIENTO: OPAC Consulting Engineers, Mark Ketchum (ingeniero de alzamiento)

EQUIPO DE ALZAMIENTO: McNary Bergeron & Associates

POSTENSADO: Schwager Davis Inc.

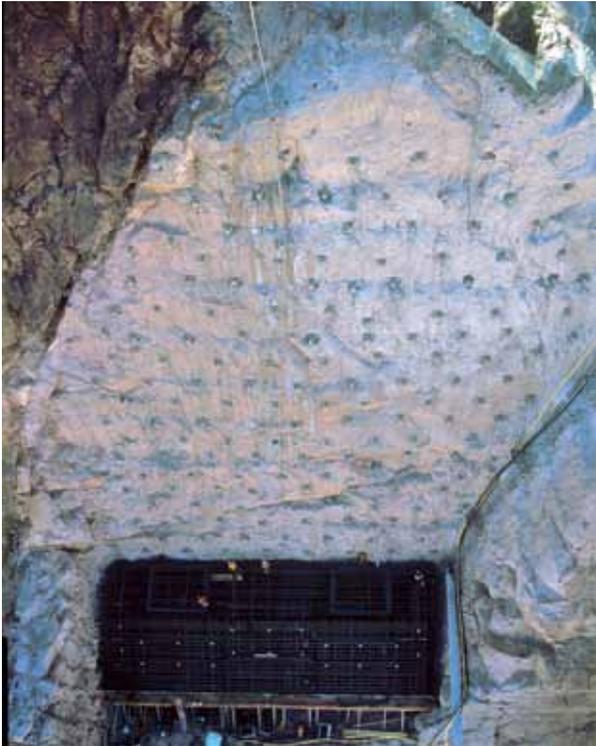
SUBCONTRATISTAS: Ladd Construction, Olson Beale Construction

GESTIÓN DEL PROYECTO: HDR Inc., AMEC, William Dowd (gerente de proyecto)

INSPECCIÓN Y SOPORTE: PB Americas, PBS&J Construction Services

PRESUPUESTO: US\$ 240 millones

AÑO DE CONSTRUCCIÓN: 2005 - 2010



El plan de voladuras y excavaciones del contratista fue ejecutado hábilmente por voladuras de secciones de alivio detrás de la cara del barranco y voladura de material de la superficie puesta de vuelta en los orificios de alivio.



Se construyó un teleférico a medida con capacidad de 50 toneladas el cual fue usado en todo el levantamiento. Además fue dimensionado para manejar todas las piezas de elevación, desde la entrega de cargas de barras de acero de las secciones del arco hasta los segmentos de las columnas prefabricadas y el levantamiento de las secciones de cubierta de vigas de acero.



El Puente de la Represa Hoover, llamado formalmente Mike O'Callaghan-Pat Tillman Memorial Bridge, es el primer puente arco híbrido de hormigón-acero en Estados Unidos y el más alto y largo de un solo arco de hormigón en el hemisferio oeste y el cuarto más largo del mundo, afirman desde T.Y. Lin International Group (TYLI), compañía encargada del diseño e ingeniería del puente.

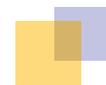
Una vez definidas las metas del proyecto inicial de seguridad para la Represa Hoover, luego del atentado que experimentó EE.UU. en 2001 y de la creciente congestión de tráfico, el equipo de Goodyear dirigió criterios clave que incluyeron la capacidad de resistir terremotos de alta intensidad; velocidades de viento de 25% en exceso de los requerimientos del código general debido a la topografía local; estética acorde al sitio histórico de la represa Hoover; logística de la mayor construcción de un arco con un solo acceso por la orilla y la limitada disponibilidad de fondos para el proyecto.

Después de revisar una serie de tipos de plataformas de arco, el comité de selección eligió el diseño de este arco de concreto debido a la eficacia de los costos del diseño propuesto y la compatibilidad con el sitio histórico de la Represa Hoover. Con todo, su meta fue construir una instalación de clase mundial de este sitio, como complemento de la presa Hoover donde la forma sigue a la función.

La construcción del puente comenzó en 2005 y se encuentra operativo desde el 19 de octubre de 2010, fecha en que se abrió al tránsito. Mientras, el camino antiguo que



Los desplazamientos del arco fueron diseñados para auto-avanzar sobre la inclinación de 45° frente a la instalación dentro de los límites de capacidad de flexión del arco convencionalmente reforzado.



pasa por la parte alta de la represa, fue cerrado al tráfico y se mantiene como zona turística, donde se puede observar la Represa Hoover junto al nuevo puente bypass.

El costo total de esta nueva obra fue de US\$ 240 millones que fue cubierto con US\$ 100 millones de fondos federales, US\$ 100 de anticipos de fondos de bonos de Arizona y Nevada, US\$ 20 millones de los fondos de Arizona y otros US\$ 20 millones de los fondos de Nevada. T.Y. Lin International Group (TYLI), fue seleccionada por la División Central Federal de Carreteras (Central Federal Lands Highway Division, CFLHD) de la Administración Federal de Carreteras (Federal Highway Administration, FHWA), en consulta con los Departamentos de Transporte de Ari-

zona y Nevada para proveer un servicio de soporte de diseño y construcción para el proyecto. TYLI junto con su vicepresidente sénior e ingeniero jefe de puentes a cargo del proyecto, David Goodyear, compartieron con Revista BIT este hito constructivo.

PRINCIPALES DESAFÍOS

Construir un arco del tamaño del Puente de la Represa Hoover representó un número importante de desafíos, explican en TYLI. El acceso a la construcción del puente era solo posible desde el borde del barranco (Black Canyon), con la extensión a través de las laderas superiores alcanzando casi 610 metros. Las fundaciones para el arco implicaron un acceso peligroso por los acantilados para las



GENTILEZA FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, CENTRAL FEDERAL LANDS HIGHWAY DIVISION (FHWA/CLHD)

Se sincronizaron 88 cables. El contratista desarrolló un sistema de elevación con cables controlado desde la parte alta de torres de soporte temporales, y monitoreó todos los cables contra los objetivos establecidos por medio de un programa detallado de análisis de levantamiento. El perfil resultante del arco tuvo una precisión de 2,5 centímetros al final de la construcción.

PASOS QUE COMPLEMENTARON LA CONSTRUCCIÓN DEL BYPASS (2001-2010):

- ▶ Diseño inicial.
- ▶ Diseño preliminar.
- ▶ Diseño final.
- ▶ Reubicación de las porciones del sistema de transmisión y patio de alta tensión de la Administración de Energía del Área Oeste (WAPA, por sus siglas en inglés) fase uno.
- ▶ Construcción de la carretera de acercamiento en Arizona (3,22 kilómetros de circunvalación).
- ▶ Reubicación de las porciones del sistema de transmisión y patio de alta tensión de la WAPA fase dos.
- ▶ Construcción de la carretera de acercamiento en Nevada (4,83 kilómetros de circunvalación).
- ▶ Construcción del Puente.
- ▶ Pavimentación del bypass.
- ▶ Puesta en funcionamiento.



LAS CIFRAS DEL PUENTE DE LA REPRESA HOOVER: DIMENSIONES Y MATERIALES

- ▶ Longitud del puente: 581 metros
- ▶ Ancho del puente: 27 metros
- ▶ Altura del camino sobre el río: 268 metros
- ▶ Atura del camino sobre la represa: 85 metros
- ▶ Longitud del arco: 323 metros
- ▶ Dimensión del hueco de los arcos: 6 metros de ancho con 4 metros de alto con paredes gruesas de 35,56 centímetros
- ▶ Altura máxima de las columnas: 87 metros
- ▶ Hormigón: 22.937 metros cúbicos
- ▶ Acero: 7.257 toneladas
- ▶ Cables: 610 kilómetros

El diseño de las columnas se basó en segmentos de columnas de hormigón prefabricado hechas de secciones de 3,05 metros de alto, reforzadas con barras postensadas. El segmento de columnas más alto construido previo al Puente en la Represa Hoover fue menor a la mitad del alto necesario para este puente.



excavaciones, todo lo cual estaba situado sobre la parte alta de las históricas estructuras de desagüe de la Represa Hoover. El acceso al trabajo al frente del arco era solo posible por un transporte de cable de alta línea, que hizo todo el trabajo lineal, y limitó el tiempo cíclico de todas las operaciones de construcción.

En tanto, el diseño utilizó hormigón de alta resistencia que debió ser repartido en tandas a temperaturas cercanas a los 49° Celsius. Por su parte, el control del alzamiento de las cuatro secciones del arco tuvo que cumplir en su conjunto con 800 metros sobre el río Colorado dentro de 19,05 milímetros de tolerancia.

El diseño fue desarrollado con todos estos contrastes en mente, comentan desde TYLI. Los arcos, por su parte, fueron diseñados a pequeña escala y duplicados para lograr el comportamiento estructural deseado y también para facilitar la construcción. El proyecto se basó en un método de elevación de cable atirantado calibrado para controlar las fuerzas del arco durante la construcción y la condición final. De acuerdo a sus desarrolladores, la superestructura diseñada proveyó la mayor flexibilidad para acomodar la geometría incorporada del arco para la terminación de la estructura.

En términos básicos, los principales desafíos se pueden englobar en las siguientes partidas:

Fundaciones: En la excavación se extrajeron aproximadamente 30.582 metros cúbicos de roca de la muralla del cañón. El plan de voladuras y excavaciones del contratista fue ejecutado mediante voladuras de secciones de alivio, detrás de la cara del

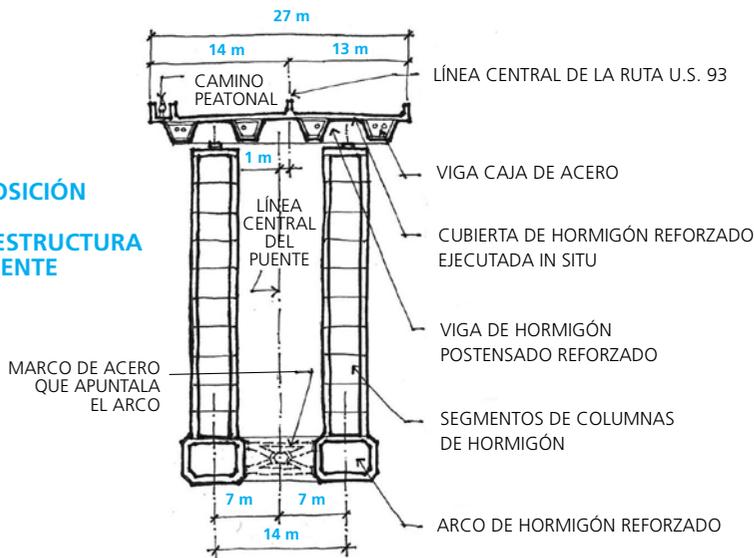
barranco y voladura de material de la superficie puesta de vuelta en los orificios de alivio.

Hormigonado: distribución del hormigón de alta resistencia se realizó a más de 76 metros bajo el muro del barranco, a 49° Celsius de temperatura. Para ello, el contratista desarrolló un sistema de bombeo y remix para trabajar a lo largo del sitio de la planta de proceso por lotes, con un sistema de enfriamiento de nitrógeno líquido para transportar hormigón desde el barranco hasta el lugar de colocación. En total, se emplearon 19.114 metros cúbicos de hormigón colocado para el arco, columnas y cubiertas. Ni una sola carga falló los requisitos de resistencia, indican en la compañía.

Cables: El soporte y control del levantamiento se ejecutó a través de la sincronización de 88 cables. La forma del arco, grado y el momento de la curva de nivel fue controlado mediante la sincronización de los cables de soporte en el levantamiento del arco. El contratista desarrolló un sistema de elevación con cables controlado desde la parte alta de torres de soporte temporales y monitoreó todos los cables contra los objetivos establecidos por medio de un programa detallado de análisis de levantamiento. El perfil resultante del arco tuvo una precisión entre 2,5 centímetros al final de la construcción.

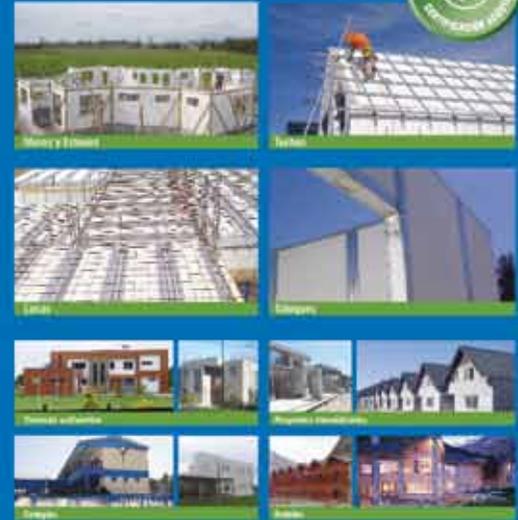
Movilización: Un teleférico construido a la medida fue usado en todo el levantamiento. La capacidad de 50 toneladas del teleférico fue dimensionada para manejar todas las piezas de elevación, desde la entrega de cargas de barras de acero de las secciones del arco hasta los segmentos de

COMPOSICIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE



Cuando construyes sustentable el ahorro es concreto.

EXACTA® la solución constructiva integral que te permite ahorrar dinero, tiempo y energía durante y después de la obra, asegurando economía y confort duradero.



- **Ahorra energía:** desde un 70% en consumo energético.
- **Ahorra tiempo:** plazos de construcción obra gruesa entre 50% y 70% más rápido.
- **Ahorra dinero:** reduce los costos de administración de obra y de personal.
- **Ahorra preocupaciones:** reduce los riesgos de obra.
- **NO ahorres imaginación:** el potencial de diseño es ilimitado.

EXACTA

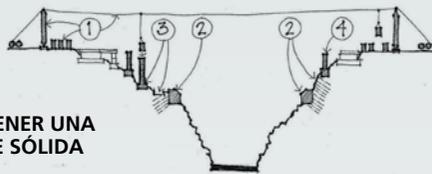
La forma sustentable de construir

Descubre los testimoniales EXACTA®

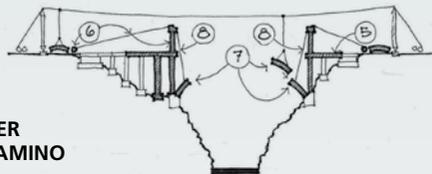


www.exacta.cl

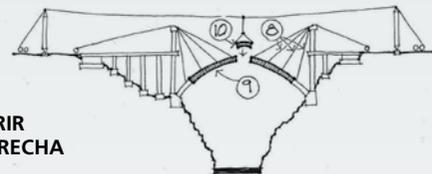
EXACTA Ltda.
Av. Del Valle 945, Of. 3610 - Tel. (56 2) 2246 2888
Ciudad Empresarial - Huechuraba, Santiago
Info@exacta.cl - www.exacta.cl



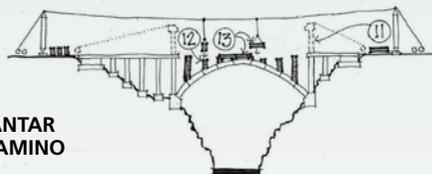
OBTENER UNA BASE SÓLIDA



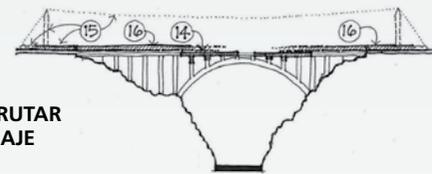
PONER EL CAMINO



CUBRIR LA BRECHA



LEVANTAR EL CAMINO



DISFRUTAR EL VIAJE



CONSTRUCCIÓN DE UN PUENTE EN ARCO

1. Instalar torres, cables, cabestrantes y áreas de estacionamiento.
2. Estabilizar el acantilado y establecer las fundaciones del arco.
3. Colocar los cimientos de hormigón para las columnas.
4. Construir las columnas prefabricadas sobre las fundaciones.
5. Instalar las columnas y las cubiertas de la carretera de acercamiento al puente.
6. Erguir torres temporales y cables atirantados.
7. Instalar las barras de refuerzo del arco y los segmentos de hormigón fundido.
8. Instalar los cables atirantados temporales en los segmentos del arco.
9. Instalar los marcos de acero que apuntalan entre los arcos gemelos en las columnas.
10. Poner hormigón para el cierre final del arco.
11. Remover las torres y los cables atirantados del arco.
12. Construir columnas de hormigón prefabricado y vigas limitantes.
13. Instalar las vigas de acero del tramo principal del puente.
14. Construir las cubiertas del camino del tramo principal del puente.
15. Remover torres, cables y áreas de estacionamiento.
16. Construir barreras y barandillas en el camino peatonal y cubierta.

Las vigas de acero trapezoidales integradas en la superestructura con capas de hormigón postensado permitieron que la cubierta del camino también sirviera de arriostamiento lateral para las columnas altas de hormigón prefabricado.

las columnas prefabricadas y el levantamiento de las secciones de cubierta de vigas de acero. Los desplazamientos del arco fueron diseñados para auto-avanzar sobre la inclinación de 45 grados frente a la instalación dentro de los límites de capacidad de flexión del arco convencionalmente reforzado.

Producción del hormigón reforzado: esto se logró gracias a una sola planta que dosificó el material usando una turbina mezcladora que produce 6.116 metros cúbicos de 69 MPa (10.000 psi) de hormigón sin ningún lote incompatible.

Según TYLI, las columnas de concreto prefabricado serían las columnas prefabricadas más altas en el mundo. Su diseño se basó en segmentos de columnas de hormigón prefabricado de secciones de 3,05 metros de alto, reforzadas con barras postensadas. El segmento de columnas más alto construido previo al Puente de la Represa Hoover fue menor a la mitad del alto necesario para este puente. Mientras que el control de la geometría fue una preocupación en el inicio de la construcción, todas las columnas se levantaron dentro de 24 milímetros de ubicación sobre el

plano; esto se entiende como la precisión en la posición para el desplazamiento en el nudo superior de la columna con respecto a la ubicación teórica para el nodo superior de la columna, precisa Goodyear.

La forma y perspectiva natural de las secciones de las columnas altas se beneficiaron de su estrechamiento, no solo para calzar con la demanda de flexión en la base de la columna, sino que a su vez para su apariencia visual. Las columnas fueron todas estrechadas para que coincidieran con la columna principal sobre el arranque del arco.

La dimensión de la curvatura de la columna es naturalmente más grande para establecer el límite del marco de la columna. Esta también fue sometida a las mayores cargas durante el levantamiento del arco. En virtud de los cables temporales y de la torre que soportó el arco durante la construcción, todo el peso fluyó a través de esta columna a la fundación por debajo hasta que se completó el arco.

Para combatir el potencial movimiento de lado a lado de un terremoto o altos vientos, los dos arcos de hormigón del puente fueron conectados con puntales de metal para pro-

veer mayor fuerza lateral y ductilidad del sistema, mientras que una superestructura de acero —compuesta para la cubierta de la carretera— dirigió la capacidad de carga y, a la vez, permitió una mayor eficiencia de tiempos y costes. Por otra parte, las vigas de acero trapezoidales integradas en la superestructura con capas de hormigón postensado permitieron que la cubierta del camino también sirviera de arriostamiento lateral para las columnas altas de hormigón prefabricado.

En tanto, el hormigón de alto rendimiento fue usado por su rigidez y cualidades de compresión mientras que el acero fue usado por sus propiedades de tensión y capacidad de ensamblarse rápidamente al arco y a los elementos de cubierta durante la construcción. Debido a que la superestructura es una viga compuesta de acero, esto permitió un rápido levantamiento y bajó la demanda de carga muerta al arco, en consecuencia haciendo un diseño más eficiente.

Son lo de talles del Puente de la Represa Hoover, una obra con retos logísticos, técnicos y constructivos. Desafíos en altura. ■

www.hooverdambypass.org



FERRARA

PROYECTOS ESPECIALES

+56 2 22041010 

jc@ferrara.cl 

www.ferrara.cl 

ANCLAJES MICROPILOTES MURO BERLINES MEJORAMIENTOS DE SUELO



MICROPILOTES AUTOPERFORANTES
Edificio Costanera Concepción



ANCLAJES POSTENSADOS TEMPORALES
Edificio Juan XXIII Vitacura



MICROPILOTES PERMANENTES FUNDACIÓN
Tolva calcina - Fundación Chuquicamata