

06-021

### **RECONSTRUCTION OF THE BRIDGE OVER THE SAN ANTONIO RIVER (EL SALVADOR)**

Sastre Jurado, Carlos <sup>1</sup>; Candela Garcia, Guillermo <sup>2</sup>; Garrido Manrique, Jesus <sup>1</sup>;  
Jadraque Gago, Eulalia <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Granada, <sup>2</sup> Civing, S.A. de CV. San Salvador

The Ida tropical storm destroyed the bridge over San Antonio river during 2009, leaving some coastal villages of El Salvador incommunicated. The international cooperation aid drove the bridge reconstruction. Due to location of the bridge, vulnerable to floods, the first performance carried out was a comprehensive hydraulic study. The segment under consideration was modeled. The maximum flood level for rainfall with return period of 100 and 500 years was calculated. The local scour at abutments was also calculated. The lowest level of the bottom of the deck was established, in order to respect the safety level and the position of foundations. The characteristics of the bridge are : - Bridge of bow string typology with a span of 36 m. and 13,8 m. wide. - Deck of pre-stressed concrete girders and a compression slab at the top of the girders of 20 cm. - Two arches of reinforced concrete. - The bottom of the arches are linked by a reinforced concrete tie. The bridge was inaugurated on 16 July of 2014.

**Keywords:** *El Salvador;IDA Storm;Bow-string*

### **RECONSTRUCCIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO SAN ANTONIO (EL SALVADOR)**

En el año 2009, la tormenta tropical Ida destruyó el puente sobre el río San Antonio, situado en la carretera Litoral, dejando incomunicadas algunas poblaciones costeras de El Salvador. Un proyecto de Cooperación Internacional impulsó su reconstrucción. A consecuencia del complejo emplazamiento del puente, la primera actuación llevada a cabo fue un exhaustivo estudio hidráulico. Para ello, se modelizó el tramo de estudio calculando el nivel de avenida máximo para las lluvias con periodo de retorno de 100 y 500 años, así como la socavación local en estribos, fijando la cota mínima de tablero, con el fin de respetar el galíbo de seguridad y la cota teórica de las cimentaciones. Se diseñó un puente tipo bow-string, con 36 m de luz y 13,8 m de ancho. El aprovechamiento de su tipología y el diseño hidráulico, evitaron levantar la rasante 3 m., lo cual habría encarecido el diseño y generado problemas de tráfico y de acceso a las propiedades colindantes. Además, permitió reducir el canto estructural en 1.12 m., consiguiéndose a su vez una reducción del nivel de aguas máximas, aunque dicha diferencia se incrementaba según aumentaba el caudal.

**Palabras clave:** *El Salvador;Tormenta IDA;Bow-string*

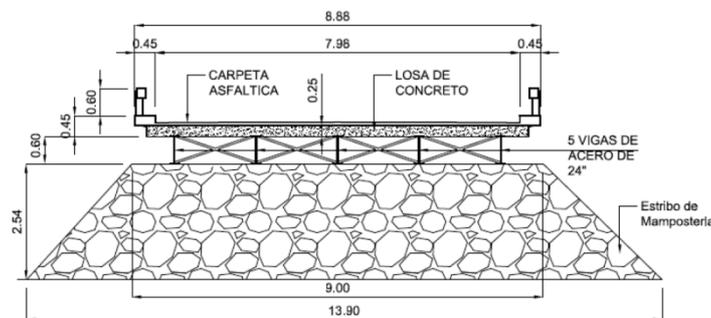
Correspondencia: Carlos Sastre Jurado [sastre.jurado@gmail.com](mailto:sastre.jurado@gmail.com)

## 1. Introducción

A principios de noviembre de 2009 la tormenta tropical IDA dejó incomunicadas numerosas poblaciones del litoral de El Salvador. A raíz de los graves daños causados por dicha tormenta en las infraestructuras del país, el Ministerio de Obras Públicas (MOP) de El Salvador inició una serie de acciones encaminadas a la reconstrucción de las obras de paso y los puentes dañados o colapsados, entre los que se encontraba el puente sobre el río San Antonio, cuya sección transversal se muestra en la figura 1. Provisionalmente se colocaron unas tuberías sobre el cauce para que pasara el agua, junto con un primer puente bailey de un carril, apoyado sobre el vano que no colapsó y que permitió el acceso del puente. Meses después se instaló un nuevo puente bailey de unos 36m. y dos carriles apoyado en los accesos, que se mantuvo hasta el inicio del proyecto.

Dicho puente formaba parte de la ruta de la caña de azúcar, uno de los principales productos de exportación del país. El puente se encuentra en el kilómetro 36+580 de la carretera del Litoral CA-02, en el municipio de La Libertad, la segunda vía más importante del país, por lo que las infraestructuras de esta vía son de gran importancia para la comunicación y transporte del país. La USAID (Agencia de los Estados Unidos para el desarrollo internacional) financió la reconstrucción de un nuevo puente sobre el río San Antonio, que beneficiaría a más de 36,000 habitantes, además de potenciar el turismo y la economía de la zona costera. Para la ejecución del nuevo puente, fue preciso realizar un desvío provisional con otro puente bailey de 33m. y doble carril que permitió retirar el previo.

Figura 1: Sección transversal del antiguo puente



La empresa encargada de realizar el proyecto fue Civing, S.A. La Universidad de Granada colaboró con dicha empresa a través de un Proyecto de Cooperación al Desarrollo Internacional.

## 2. Objetivos

El principal objetivo fue diseñar un puente funcional de bajo coste, dadas las limitaciones económicas del país, ofreciendo, al mismo tiempo, una solución de calidad, definitiva y duradera, que garantizara el tráfico de vehículos en el tramo afectado.

## 3. Metodología

### 3.1. Estudio hidráulico

Para el modelado hidráulico del cauce se utilizó el programa HEC-RAS. Los periodos de retorno de cálculo fueron de 100 y 500 años, con unos caudales de 149.60 m<sup>3</sup>/s y 194.30 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. Se estudiaron dos modelos con coeficientes de Manning distintos:

- Modelo A: 0,04 para el cauce principal y 0,045 para la llanura de inundación.
- Modelo B: 0,04 para el cauce principal y 0,06 en la llanura de inundación.

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para los dos modelos propuestos.

**Tabla 1: Coeficientes según el modelo estudiado**

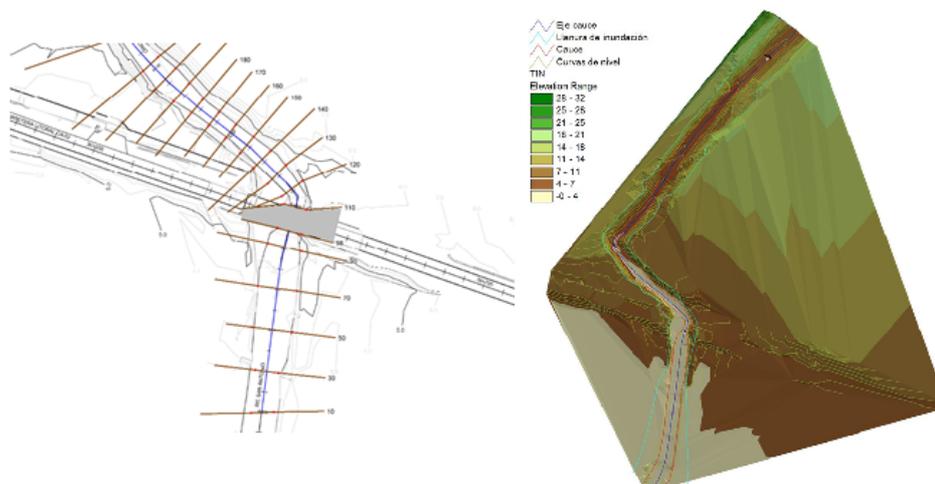
	Modelo A			Modelo B		
	LL.I.	Canal	LL.D.	LL.I.	Canal	LL.D.
Número de Manning	0.045	0.04	0.045	0.06	0.04	0.06
Cota Nivel de agua T=100		4.69 m			4.68 m	
Cota Nivel de agua T=500		5.04 m			5.09 m	
Cota línea de energía T=100		5.10 m			5.26 m	
Resguardo para T=100		1.54 m			1.55 m	
Cota línea de energía T=500		5.68 m			5.79 m	
Resguardo para T=500		1.13 m			1.14 m	
Velocidad agua T=100 años		2.92 m/s			2.94 m/s	
Velocidad agua T=500 años		3.24 m/s			3.27 m/s	

Se utilizaron los coeficientes del modelo B, aunque los del modelo A, se utilizaron como referencia.

El MOP exige un gálibo igual o superior a 1.50 m. para el caudal de diseño asociado a un periodo de retorno de 100 años. Por ello, se dejó un resguardo o gálibo desde la cota inferior del tablero que permitiera el paso de posibles objetos flotantes, como troncos (tabla 1), teniendo en cuenta que la cota inferior del antiguo tablero se encontraba a 6.23 m.

Se elaboró un modelo digital del terreno (DTM), a partir del cual se generó una red de triángulos irregulares (TIN) (ver figura 2).

**Figura 2: Red de triángulos irregulares**



Para las condiciones de contorno se optó por una configuración consistente en seleccionar un calado crítico aguas arriba y un calado normal aguas abajo. El cauce así modelado tuvo una cota de 8,55 metros aguas arriba y de 1 metro aguas abajo, siendo la distancia entre ambos de 694 metros, obteniéndose una pendiente media de 1%.

Al ser la seguridad hidráulica del proyecto un factor determinante, se analizó la sensibilidad de la sección (de un 25%) ante una posible obstrucción del estribo poniente, tal y como sucedió durante la tormenta IDA, con el fin de evaluar su respuesta ante situaciones desfavorables.

## 2.2. Análisis de la socavación

Para el cálculo de la socavación (tabla 2), se utilizó el programa HEC-RAS, la ecuación de Froehlich y como caudal el asociado al periodo de retorno de 500 años fijado por la norma.

**Tabla 2: Análisis de la socavación**

<b>Socavación lecho</b>		
Ys (m)		0.64
Vc (m/s)		1.11
Ecuación		Lechi vivo
<b>Socavación local en estribos</b>		
	Estribo poniente	Estribo de oriente
Ys (m)	3.44	4.45
Vc (m/s)	2.35	4.06
Número de Froude	0.46	0.71
Ecuación	Froehlich	Froehlich
<b>Socavación total</b>		
	Estribo poniente	Estribo de oriente
Ys (m)	4.07	5.09

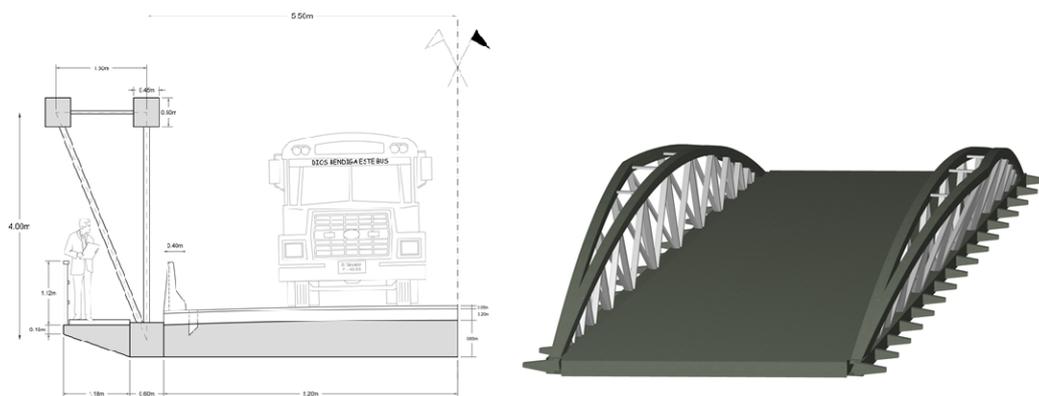
### 3.3. Estructura

Como material resistente se empleó el hormigón, debido a la baja competitividad de los puentes de acero para nuestro caso.

Se realizó un estudio previo con tres alternativas: un puente de vigas pretensadas de 32 m, y dos bow-string (arco-tirante) con distinto diseño.

La figura 3 muestra una imagen extraída del programa de cálculo estructural utilizado.

**Figura 3: Calculo estructural del nuevo puente diseñado**



La gran intensidad y frecuencia de los eventos sísmicos en El Salvador hizo necesario descartar soluciones tradicionales de bow-string.

La directriz planteada era parabólica antifunicular de las cargas permanentes con un valor de flecha de 4 metros, que se obtuvo después de diversos tanteos, manteniéndose la flexión del arco con valores muy inferiores a los axiles del 8 al 9%.

Respecto a la sección del arco, se introduce una doble sección rectangular de 50 cm de canto y 45 cm de ancho, ligera pero con un área suficiente para aguantar las compresiones que sufre el arco. La principal peculiaridad del modelo es que cada arco lateral, se desdobra en dos, dándole una ligera inclinación hacia el exterior (21°) a uno de ellos, por lo que en la clave sus directrices tienen una separación de 1.6 m.

Se concibieron perfiles tubulares de acero para conformar el sistema de tirantes del arco. El riesgo de pandeo lateral fue minimizado arriostrando con perfiles tubulares los arcos.

### 3. Resultados

USAID proporcionó un diseño de referencia con la rasante elevada 3 m. respecto a la del puente original, con el fin de aumentar la capacidad hidráulica. Esta elevación era problemática por costo, visibilidad y afecciones en los laterales, por lo cual se buscó otra alternativa que resolviendo el problema hidráulico redujese la sobre elevación, que finalmente fue de sólo 50cm.

La estructura propuesta consistió en un puente arco con tablero inferior tipo bow-string de 35 m de luz libre, un 54% más que el puente original, con los estribos esviados  $11^\circ$ . De esta forma, el estribo oriental queda retrasado 9 m con referencia al puente antiguo.

Consta de dos arcos, uno a cada lado de la calzada, atirantados por su respectiva viga inferior postesada, a la que se une en sus extremos, estando unidas además por diagonales de hormigón armado en celosía. Entre las vigas inferiores de los arcos (tirantes) se dispone una losa de hormigón armado de 20cm. de espesor, rigidizada por vigas prefabricadas pretensadas de 55 cm de canto en los extremos (figura 4). La estructura tenía solo 80cm. de espesor estructural.

El arco o cordón comprimido se diseñó de sección cuadrada de 70cm. de lado y directriz de arco circular, siendo la cuerda (separación máxima entre eje de arco y tirante) de 3.825m, por lo que la relación vano-cuerda es 9.4.

El tirante es de sección cuadrada de 75cm. de lado; en su interior se ubican los cuatro tendones postesados de 7x0.6", que al ser casi rectos presentan unas pérdidas por rozamiento reducidas.

Todas las diagonales se plantean a  $60^\circ$  con el tirante, y tienen una sección de 50cm. en sentido transversal al puente y 20cm. en el longitudinal.

La unión entre el arco y la viga tirante se llevó a cabo mediante una pantalla de hormigón armado de 20 cm. de espesor.

**Figura 4: Montaje de prelosas prefabricadas**



Para los estribos se optó por una estructura a base de pantallas de hormigón reforzado de 40cm. de espesor (figura 5).

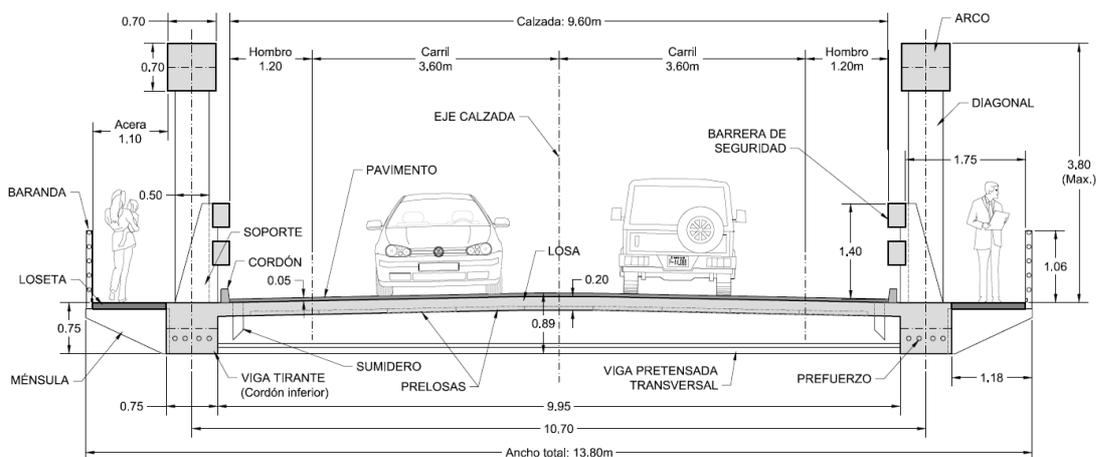
**Figura 5: Estribo**



Para la sección transversal, a la anchura inicial de 12.60m. se suman el ancho necesario para alojar los arcos, las diagonales y las barandas peatonales, totalizando 13.80m. La disposición de los distintos elementos queda reflejada en la figura 6.

La calzada se plantea con rasante sensiblemente horizontal (la pendiente longitudinal es de apenas el 0.44%), con bombeo del 2% a ambos lados.

**Figura 6: Sección transversal del nuevo puente**



Se dispusieron un total de cuatro apoyos de neopreno zunchado, dos apoyos por cada arco. Los topes antisísmicos están conformados por láminas de neopreno de 3.0cm. de espesor, y se dejan separados de la superficie de contacto con el puente, 10 mm. en sentido transversal y 35 mm en el longitudinal, de forma que permitan los movimientos térmicos y reológicos del tablero.

Se dispuso una junta de dilatación a todo lo ancho de la calzada conformada por neopreno y láminas de acero,

Para la protección de las márgenes en la zona del puente, se construyó una escollera de tres metros y en la parte interna se dispusieron muros de mampostería de cinco metros de altura. Como parte de la obra, se construyeron obras de protección tales como un emplantillado con mampostería de piedra en el lecho del río bajo el puente y muros de 9.18 metros de altura para protección del cauce aguas arriba y abajo.

Para mejorar la protección de la estructura frente a la corrosión marina, se pintó la estructura de las diagonales con pintura impermeabilizante elastomérica tipo Aqualock, que sella el hormigón.

La figura 7 ofrece una vista del nuevo puente.

**Figura 7: Nuevo puente sobre río San Antonio**



#### **4. Conclusiones**

El proyectista ha de adaptarse a las necesidades y condiciones específicas del problema, establecer prioridades y saber con qué medios tecnológicos se puede contar. El objetivo principal es plantear el proyecto y el proceso constructivo de tal forma que con los medios disponibles se obtenga el máximo beneficio generalizado considerando todos los aspectos; esto implica el uso de “*Tecnología Apropriada*”.

Para resolver un problema de obra pública se pueden dar múltiples soluciones. En el proyecto objeto de estudio se realizó un estudio previo que constó de tres soluciones, además de la propuesta por USAID de vigas de 28m de luz:

- Un puente de vigas pretensadas de 32 m.
- Dos bow-string.

Si bien la tipología de vigas era la más económica, esta fue rechazada al inducir forzosamente la sobreelevación de la rasante para cumplir el gálibo mínimo de 1.5 m, lo que afectaba la seguridad vial e impactaba a las propiedades colindantes. Por otro lado, la sección hidráulica óptima exigía una longitud de 36 m mientras que esta opción solo podía alcanzar 32 m.

La gran intensidad de los eventos sísmicos en El Salvador y su elevada frecuencia hacían necesario adaptar las soluciones tradicionales del tipo bow-string a base de péndolas con cables o barras, ya que no proporcionan arriostramiento transversal al arco, que por ello tendría problemas de pandeo para resistir esfuerzos provocados por el sismo; además es importante considerar la experiencia local y la capacidad empresarial. Es por ello que en este caso resulta obvio que no se puede plantear un puente de la misma forma que en Europa: los medios existentes, la tecnología y el estado de la técnica, así como el presupuesto disponible no son equiparables. De hecho, el bow-string planteado es el último ejemplo de una familia de puentes desarrollados de forma específica para esta región, contando ya con cinco estructuras similares, cuatro en El Salvador y otra en Nicaragua.

Por último, señalar que para plantear soluciones es necesario ver el conjunto del proyecto, máxime en casos en los cuales se trabaja sobre una infraestructura existente que introduce condicionantes, siendo las normativas una guía de referencia fundamental. En definitiva, se debe buscar el equilibrio entre todos los condicionantes (funcionalidad, resistencia y economía) que afectan al diseño, de manera que se optimice el resultado.

## Referencias

- Normativa de diseño estructural general: “*AASHTO LRFD SI 2004 Bridge Design Specifications*”
- Norma diseño rip-rap: “*Engineer Manual No. 1110-2-1601: Hydraulic Design of Flood Control Channels*”; U.S. Army Corps of Engineers.
- Diseño Hidráulico: “*HEC-RAS River Analysis System 4.1: User’s Manual, Reference Manual, Applications Guide*”; U.S. Army Corps of Engineers.
- Para Estudio de Impacto Ambiental: “*Plan de Manejo de la Cuenca Estero San Diego*”; Fondo de la Iniciativa para las Américas-FIAES / ACUA.
- Descripción puente *bow-string* similar: “*Puente “Don José Entrecanales” sobre el río Torola*”, Guillermo Candela García. *Revista de Obras Públicas / Abril 2008 / N°3.487*
- “*Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito*”; Secretaría de Integración Económica Centroamericana – SIECA, Diciembre 2000
- “*Manual Centroamericano de Gestión de Riesgos en Puentes*”; Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central –

CEPREDENAC / Secretaría de Integración Económica Centroamericana – SIECA,  
2010

- “Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de El Salvador”; Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales – MARN; República de El Salvador, 2000.