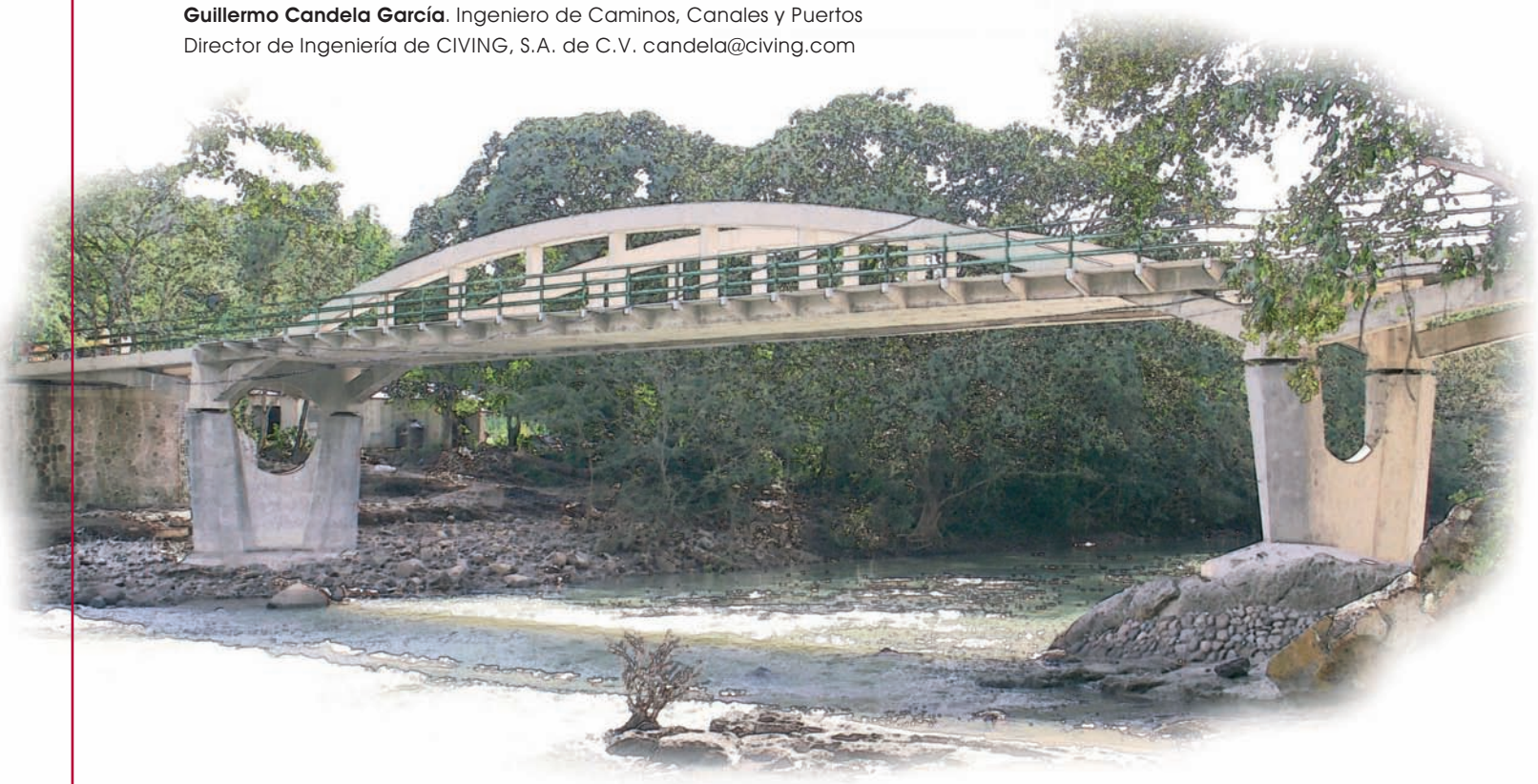


Puente “D. José Entrecanales” sobre el río Torola

«D. José Entrecanales» bridge over the river Torola

Guillermo Candela García. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director de Ingeniería de CIVING, S.A. de C.V. candela@civing.com



Resumen: El Puente «D. José Entrecanales» sobre el Río Torola, ubicado en el norte del Departamento de Morazán, El Salvador, es la materialización del Premio de Cooperación al Desarrollo otorgado por la Fundación José Entrecanales Ibarra a la propuesta presentada por una asociación de desarrollo local. Se trata de un puente vehicular de un solo carril, emplazado en una zona de difícil acceso, de tipo arco con tirante (bow string) continuo de tres vanos, contando el central con 35 m de luz. El presente artículo describe la génesis del proyecto, así como las consideraciones principales del diseño y del proceso constructivo, que tuvo que resolver los problemas derivados del hecho de solo contar con acceso por una margen del río y de tener que construirse durante la estación de lluvias..

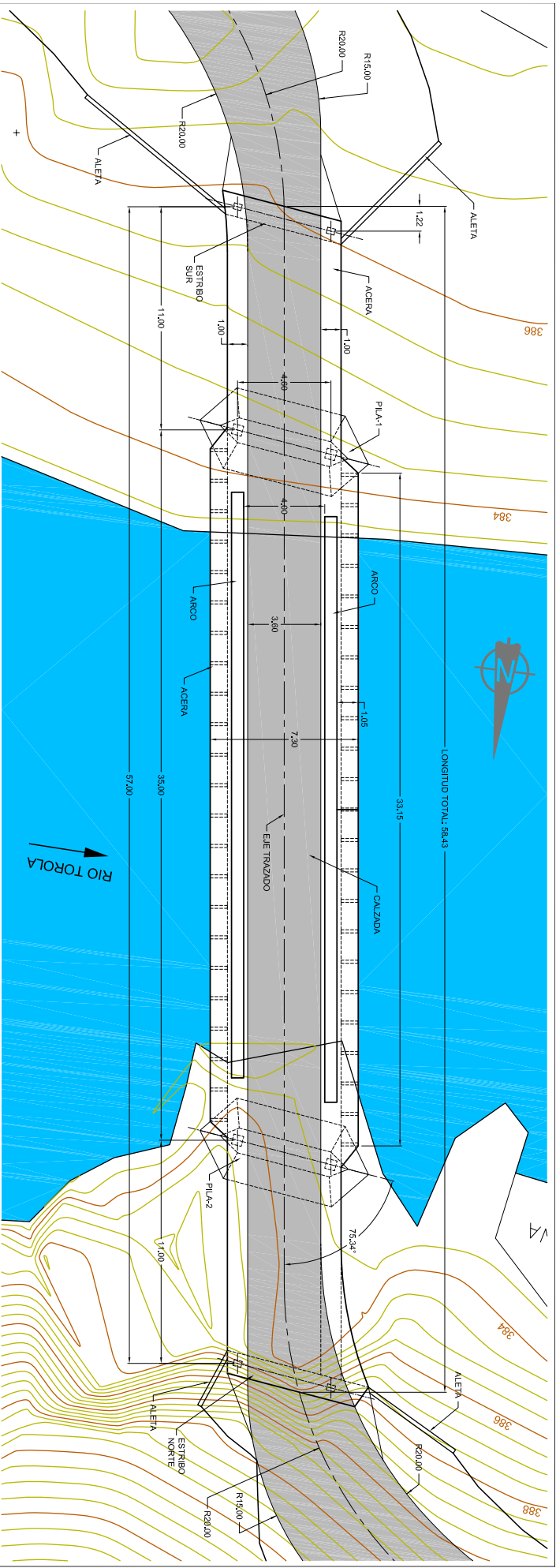
Palabras Clave: Cooperación al desarrollo; Puente vehicular; Vía de comunicación

Abstract: The «D. José Entrecanales» bridge is set over the River Torola to the north of the Morazán Department in El Salvador and is the materialization of the Development Co-operation Prize awarded by the Fundación José Entrecanales to a proposal presented by a local development association. The bridge is a single-lane traffic bridge located in an area of difficult access and is a continuous, three span bow string bridge with a 35 m central span. This article describes the groundwork behind the project together with the main design considerations and the construction process which had to overcome a series of obstacles raised by restricted access to only one of the river banks and the fact that the bridge had to be built during the rainy season.

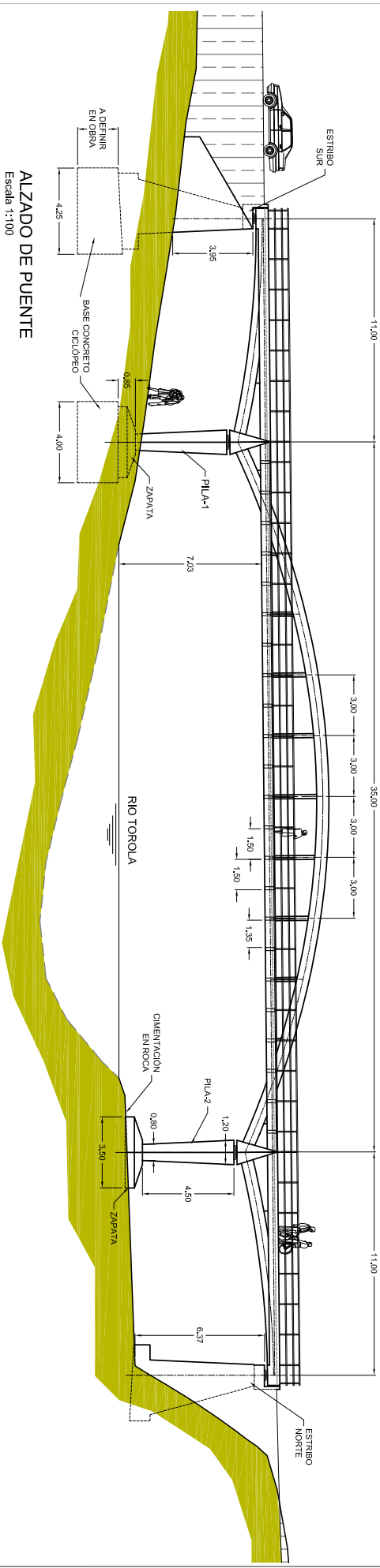
Keywords: Development co-operation; Traffic bridge; Means of communication

Se admiten comentarios a este artículo, que deberán ser remitidos a la Redacción de la ROP antes del 30 de junio de 2008.

Recibido: enero/2008. Aprobado: enero/2008



PLANTA DE PUENTE
Escala 1:100



ALZADO DE PUENTE
Escala 1:100

CDH - Asociación Campesina de Desarrollo Humano Cacaopera, Dept. de Morazán, El Salvador	PROYECTA CIVING	EL INGENIERO AUTORE DEL PROYECTO	SIGNATURE A SIGNADO POR	ESCALAS 1:100	GENERICOS	TITULO PROYECTO DE PUENTE VEHICULAR "DON JOSÉ" SOBRE EL RIO TOROLA CACAOPEERA - Dept. de MORAZÁN	CLAVE TECH SEPTIEMBRE 06	DESCRIPCION DEFINICIÓN GENERAL DEL PUENTE PLANTA - ALZADO	HOJA 1 DE 1
---	--------------------	-------------------------------------	----------------------------	------------------	-----------	---	--------------------------------	---	-------------



Puente sobre el Río Chiquito, entre Cacaopera y Corinto.

Introducción

El pasado 16 de enero de 2008, en un solemne acto celebrado en el Teatro Real de Madrid presidido por S.M.D. Juan Carlos I, fueron entregados los Premios José Entrecanales Ibarra en su primera convocatoria, otorgados por la Fundación del mismo nombre. El profesor e ingeniero alemán Jörg Schlaich fue el ganador del primero de ellos, denominado Premio de Ingeniería Civil, que reconoce su trayectoria profesional y docente, mientras que el segundo, Premio de Cooperación al Desarrollo, fue para la propuesta presentada por la Asociación Campesinos para el Desarrollo Humano (CDH) de El Salvador, consistente en un puente vehicular sobre el Río Torola. Dicho premio consiste en el financiamiento de la obra incluida en la propuesta ganadora, cuyo diseño y construcción fue encargado por la Fundación a la empresa CIVING, S.A. de C.V., que colaboró con la asociación CDH en la elaboración de dicha propuesta.

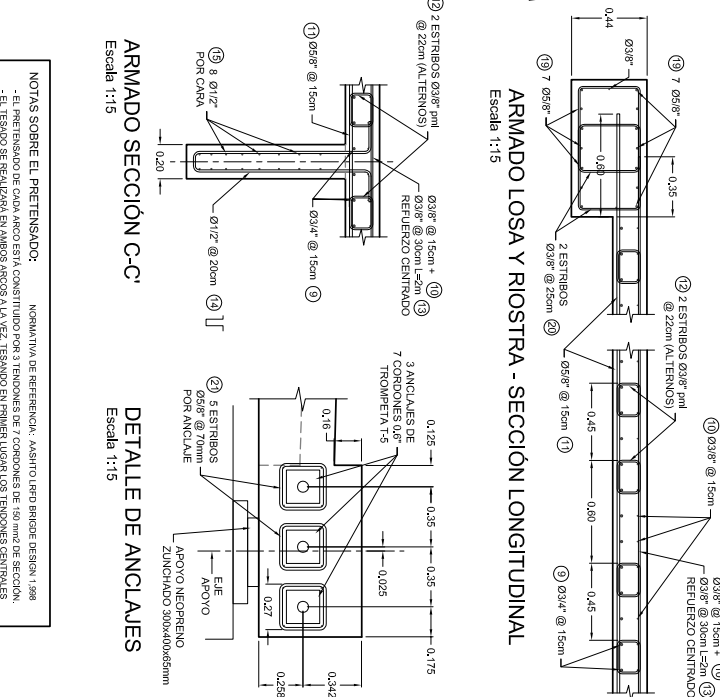
El sábado 1 de Diciembre de 2007 fue inaugurada la obra, que abre una nueva vía de comunicación entre ambos márgenes, superando la principal barrera física del histórico aislamiento de esta remota zona rural

del norte del Departamento de Morazán. El proyecto beneficia directamente a cerca de 2,500 pobladores distribuidos en los cantones de La Estancia, Guachipilín y Agua Blanca, en el Municipio de Cacaopera.

Antecedentes del Proyecto

La asociación CDH fue conformada por las ADESCO (Asociaciones de Desarrollo Comunitario) de la zona norte del municipio de Cacaopera con el fin de canalizar proyectos de desarrollo, habiendo conseguido hasta la fecha ayuda en las áreas de salud y educación, amén de apoyo en infraestructuras. La primera actuación importante fue precisamente un puente vehicular de 40 m sobre el río Chiquito⁽¹⁾, que posibilitó el acceso al cantón Estancia desde la cabecera municipal, y que posteriormente se aprovechó para unir los municipios de Cacaopera y Corinto por medio de una vía pavimentada, estando previsto en el futuro que forme parte de la carretera Longitudinal

(1) En la ROP número 3.411 de junio de 2001 está publicado el artículo "Un puente de esperanza" donde se describe el diseño y construcción de esta obra.



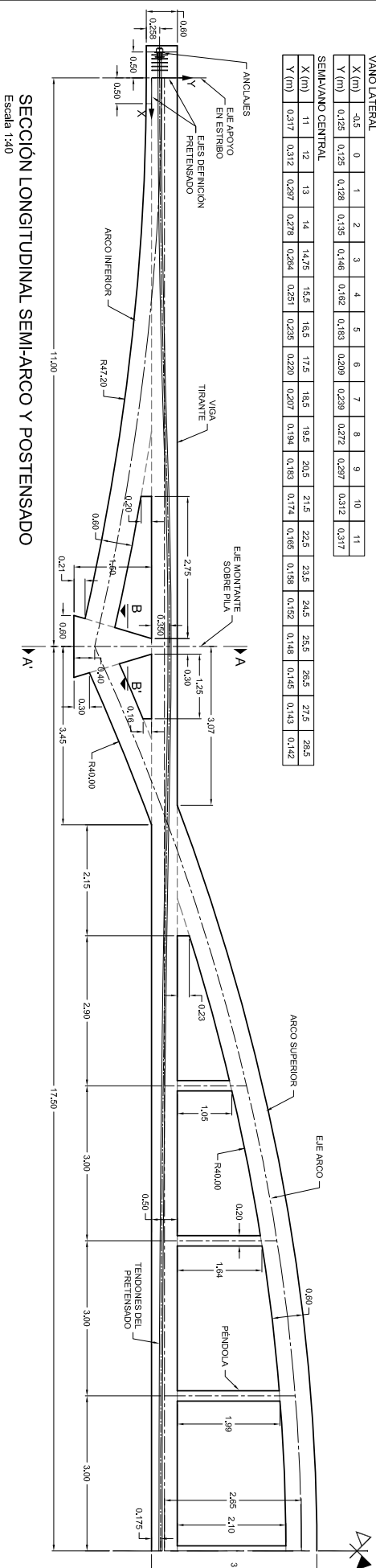
ARMADO SECCIÓN B-B"

Escala 1:20

X (m)	-0.5	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Y (m)	0.125	0.125	0.128	0.135	0.146	0.162	0.183	0.209	0.239	0.272	0.297	0.312	0.317

SEMIWIND CENTRAL

X (m)	11	12	13	14	14.75	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	22.5	23.5	24.5	25.5	26.5	27.5	28.5
Y (m)	0.317	0.312	0.297	0.278	0.264	0.251	0.235	0.220	0.207	0.194	0.183	0.174	0.165	0.158	0.152	0.148	0.145	0.143	0.142



SECCIÓN LONGITUDINAL SEMI-ARCO Y POSTENSADO

Escala 1:40



Puente sobre el Río Ashuquema (Tacuba) en construcción.

del Norte, que vertebrará la franja septentrional del país. Dicho puente fue realizado en 1995 por la ONG francesa **Medicines du Monde**, y supuso la primera colaboración entre los hoy representantes de CDH y Guillermo Candela, autor de ambos proyectos.

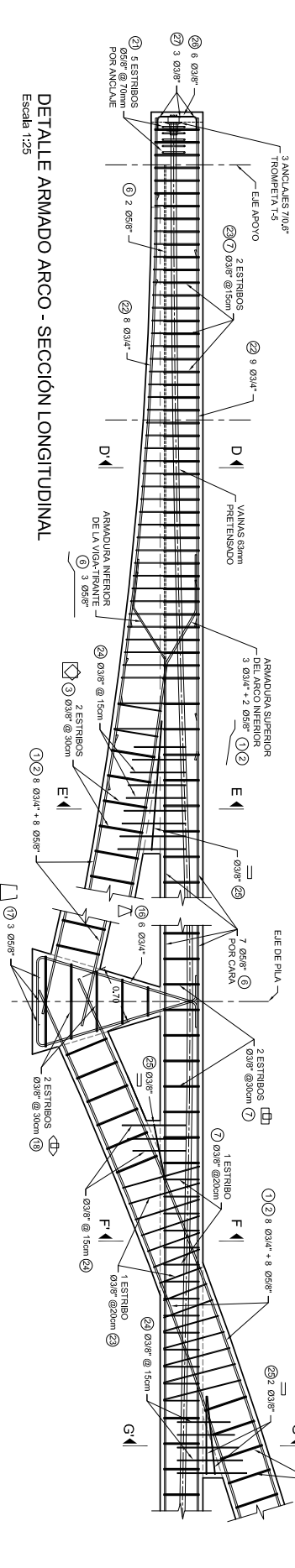
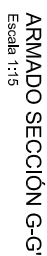
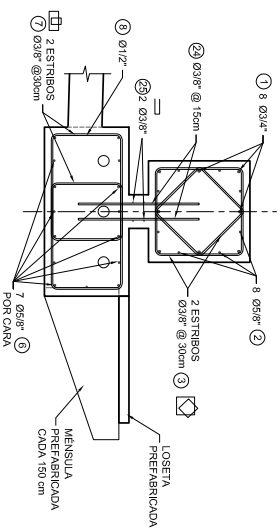
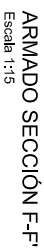
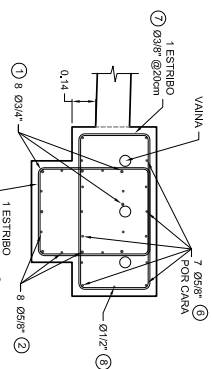
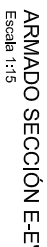
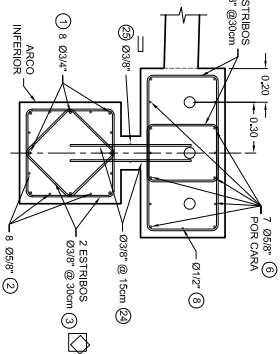
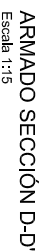
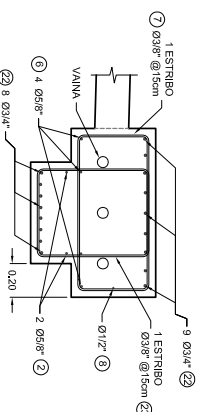
A través del nuevo acceso se pudo llevar el material para ejecutar una clínica, guarderías y otros proyectos menores, aliviando de forma importante la necesidad de acceso de los pobladores, que aún así seguían padeciendo la mucho mayor barrera del río Torola. Dada la falta de financiamiento, la idea de ejecución de un paso estable sobre dicho río llevaba años engavetada, hasta que la invitación a optar por este premio permitió soñar con un puente apto para vehículos livianos, que tras la consecución del mismo, y gracias a la disponibilidad presupuestaria, se pudo diseñar para vehículos pesados según la normativa de la AASHTO 2004.

Justificación del Diseño

El diseño del puente obedece a una serie de limitantes que hace difícil un planteamiento típico de vi-

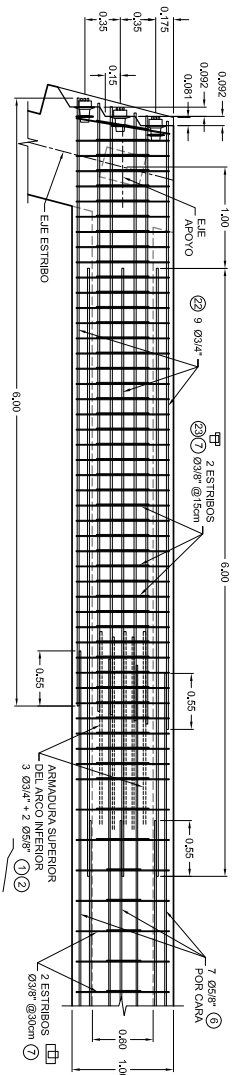
gas, tanto metálicas como de hormigón. El principal es el acceso: si bien hay carretera pavimentada hasta pasado Cacaopera, en los últimos 15 km tiene trazado de carretera de montaña, atraviesa poblaciones con quiebres a 90° y además es preciso tomar una pista de tierra en pésimas condiciones, empinadas pendientes y sin apenas mantenimiento a lo largo de poco más de 3 km para poder llegar al proyecto; todo ello limita el transporte de grandes piezas prefabricadas, así como el acceso de vehículos especiales, como son las grúas de gran capacidad. Por otro lado, tras el análisis del río, el prediseño arrojaba que para salvar el mismo se precisaba una luz libre de al menos 30 m, que al final se fijó en 35 m, quedando dos tramos adicionales a ambos lados. El puente quedaría levemente esviado (15°) para no forzar mucho el trazado, ya que las calles de acceso por ambos lados son sensiblemente paralelas al cauce.

En la ubicación elegida, el río se estrecha y profundiza, siendo muy difícil disponer soportes intermedios provisionales para apoyar la construcción de forma segura. Es por ello que, en base a la experiencia de la constructora y los medios técnicos disponibles, se planteó un diseño que ampliaba y corregía otro usa-



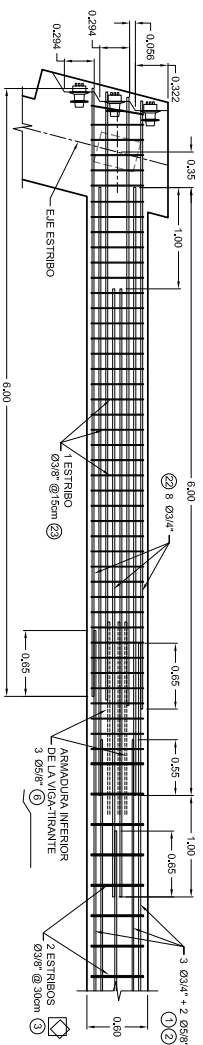
DETALLE ARMADO ARCO - SECCIÓN LONGITUDINAL
Escala 1:25

Escala 1:25



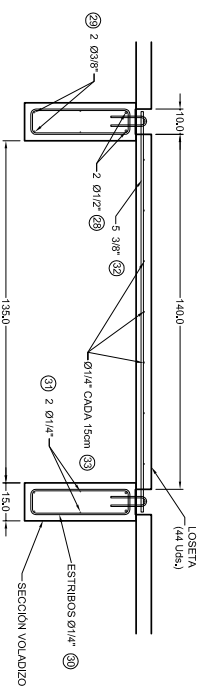
EXTREMO VIGA-ARCO: DETALLE DISTRIBUCIÓN ARMADO SUPERIOR

Escala 1:25



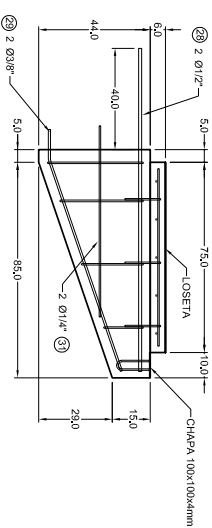
EXTREMO VIGA-ARCO: DETALLE DISTRIBUCIÓN ARMADO INFERIOR

Escala 1:25



SECCIÓN ACERA EN MÉNSULA

Escala 1:10 (cotas en cm)



ARMADO DE PREFABRICADO (46 Uds.)

Escala 1:10 (cotas en cm)

do previamente para realizar un puente en el extremo opuesto del país, en Tacuba, Ahuachapán: un arco de hormigón con tirante inferior (*bow-string*). El puente de Tacuba⁽²⁾ es una estructura vehicular de 30 m de luz y un solo vano, mientras que en este caso se precisaba resolver un puente con tres vanos de 11 + 35 + 11 m, que para optimizarse desde un punto de vista estructural se planteó continuo.

La estructura diseñada ofrece para cada sección una rigidez proporcional a los esfuerzos en la misma, contando por tanto con mayor inercia para mayores momentos; de hecho, su silueta reproduce la forma de la ley de momentos flectores para dichas luces considerándola como una viga continua biapoyada. Si bien esta forma complica la ejecución, consigue una gran economía de materiales, cuyo costo es especialmente elevado debido a la lejanía y dificultad de acceso. El resultado es una disposición atípica (*bow-string* continuo) pero de excelente resultado tanto estructural como estético, acorde con la belleza natural de la zona, que más que alterarse, se enmarca y realza.

La sección transversal es similar a la usada en Tacuba, quedando los arcos a ambos lados de una calzada de 3.60 m de rodadura, bien por encima de la misma, en el tramo central, bien por debajo, en los laterales y sobre las pilas. Las aceras se disponen de 1 m de ancho, siendo preciso aumentar la anchura del tablero en el tramo central desde 5.60 a 7.30 m para dar cabida a la acera en la parte exterior, soportada por ménsulas prefabricadas, quedando el arco superior como separación entre calzada y acera.

Los arcos son de sección cuadrada constante de 60 cm de lado, mientras que el "tirante" comprimido donde se aloja el pretensado es de 1 m de ancho y 50 cm de canto. Ambos tirantes están unidos por una losa de 20 cm de espesor y 3.60 m de ancho que constituye la calzada. La unión entre arco y tirante se realiza por medio de péndolas de hormigón armado, cuya sección cuenta con solo 20 cm en el sentido longitudinal para minimizar la aparición de momentos en el plano del arco, mientras que transversalmente tiene 50 cm, necesarios para arriostrar al arco transversalmente ante los posibles efectos sísmicos, de imprescindible consideración en El Salvador. El arco atraviesa li-



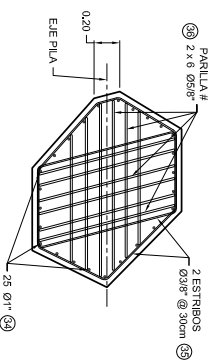
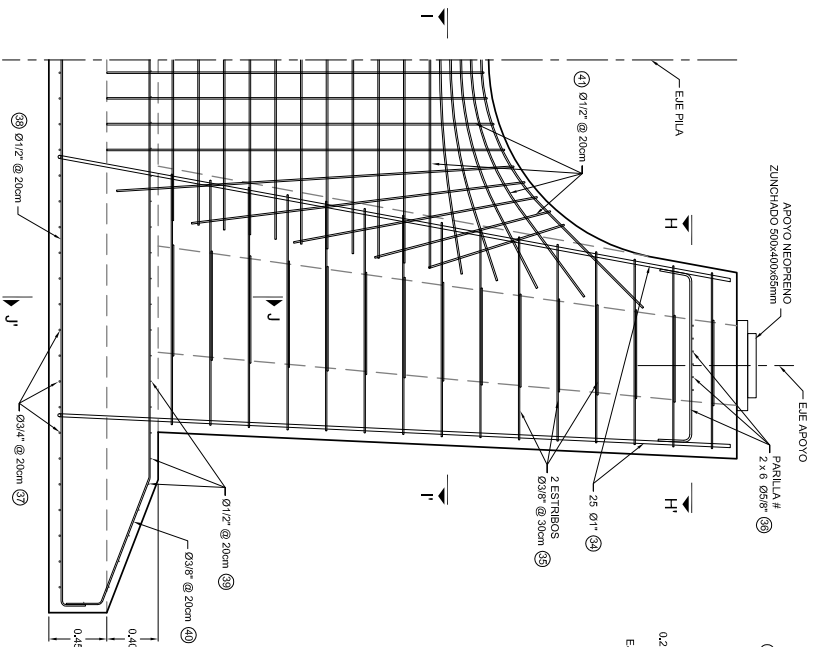
Fotomontaje del diseño previsto en la ubicación final.

teralmente los tirantes en el punto con menor inercia, que coincide con la sección de cambio de signo de momentos flectores, continuando hasta los montantes sobre las pilas, ataluzados para recibir a los arcos de forma sensiblemente ortogonal y a su vez para poder alojar el apoyo bajo los mismos, constituyendo la única unión aparente entre arco y tirante en la zona del arco inferior. Esto no es exactamente cierto, ya que hay unas casi imperceptibles pantallas de 20 cm de espesor que unen ambos en sus agudos ángulos de unión. El arco parte nuevamente del montante y se une tangencialmente al tirante en su extremo, conformando una sección en forma de "T". En el extremo norte se da una leve variación ya que, por necesidades de trazado, la calzada se curva en el extremo, quedando la acera desfasada con relación al eje del tirante, realizándose dicha transición en el lateral exterior por medio de una superficie reglada.

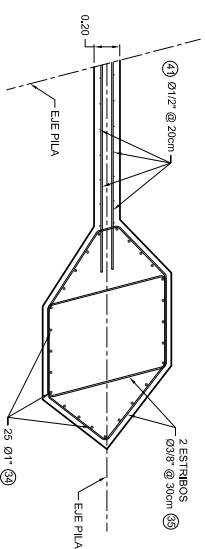
El pretensado de cada viga tirante se compone de tres tendones paralelos de 7x0.6" y 150 Ton de fuerza, con un suave trazado vertical para mejorar su eficacia. El sistema usado es el de Mekano4, del cual la constructora cuenta con licencia para la región. El hormigón para los tirantes se ha diseñado de 350 kg/cm², mientras que para los restantes elementos del tablero se ha previsto de 280 kg/cm².

El apoyo de la estructura se plantea sobre estribos de mampostería de piedra en sus extremos y esbeltas pilas de hormigón armado a ambos lado del cauce de estiaje, la Norte directamente sobre roca, mientras

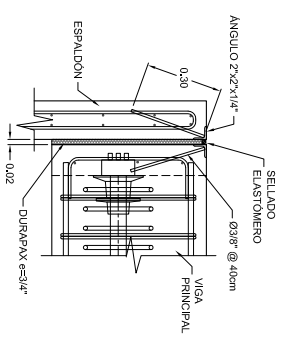
(2) En la ROP número 3.446 de julio-agosto de 2004 está publicado el artículo "Puente Extremadura sobre el río Ashuquema", disponible únicamente en la versión impresa, donde se describe el diseño y construcción de esta obra.



ARMADO SECCIÓN H-H'
Escala 1:20



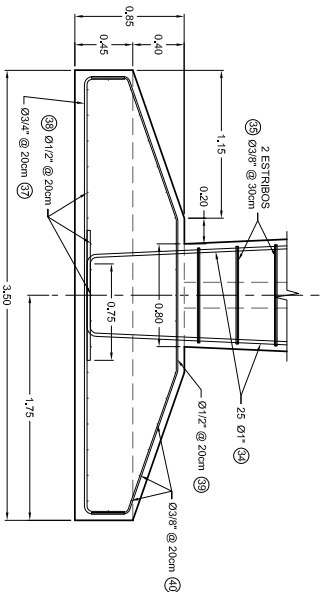
ARMADO SECCION I-I'



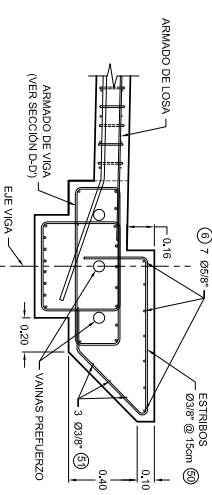
DETALLE JUNTA - MURETE
Escala 1:10

DETALLES DE REFUERZO

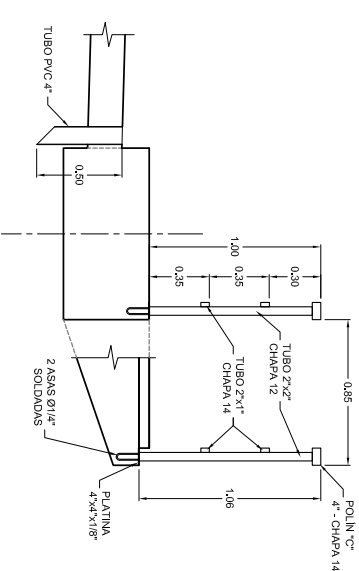
	F=680 kg/cm²	F=4200 kg/cm²	F=4200 kg/cm²
1	30	15	4
2	30	15	4
3	30	15	4
4	4	36	16
5	4	36	16
6	5	46	21
7	6	50	26
8	6	50	26
9	6	50	26
10	6	50	26



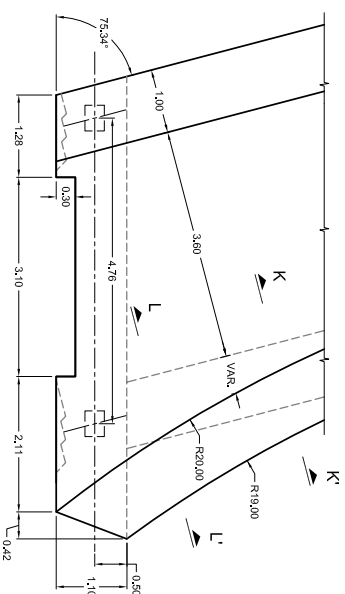
SECCIÓN ZAPATA J-J'
Escala 1:20



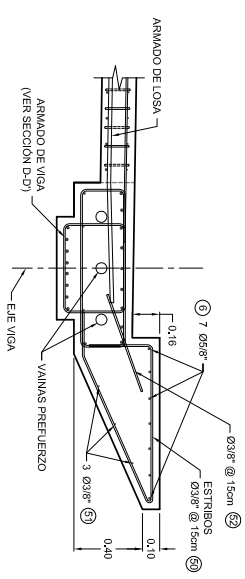
SECCIÓN VOLADIZO K-K'
Escala 1:15



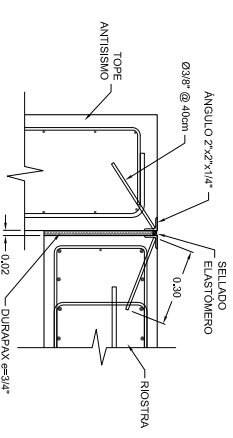
DETALLE DE BARANDA Y DESAGÜE
Escala 1:15



DETALLE FIN TABLERO NORTE
Escala 1:40



SECCIÓN VOLADIZO L-L'
Escala 1:15



DETALLE DE JUNTA - TOPE
Escala 1:10

que la Sur, que al estar en la parte interior de una curva del río ha de soportar una menor velocidad del agua y por tanto una menor erosión, se plantea apoyada sobre un macizo de 2 m de espesor de hormigón ciclópeo cimentado sobre los sedimentos aluviales conformados por piedra rodada en matriz arenosa. Las pilas cuentan con dos fustes levemente inclinados, de dimensiones variables en sus dos planos, ofreciendo ortogonalmente al río un espesor de solo 80 cm en la base, que aumenta linealmente hasta 1.20 m en la parte superior, necesarios para alojar los apoyos y dar continuidad a los montantes; están rematadas en sus extremos por tajamares conformados por superficies regladas en forma de quilla de barco, unidos por una pantalla de 20 cm de espesor que cuenta con un aligeramiento semicircular que tiene continuidad en la pantalla que arriostra los montantes donde arrancan los arcos, completando un hueco circular. Los muros de piedra de los estribos están rematados por una viga de coronación y reparto que se encuentra anclada al muro por medio de cercos; esto se debe a que en algunas hipótesis aparecen unas moderadas reacciones negativas (tracciones) en los apoyos sobre los cargaderos, siendo preciso unir tablero y estribo por medio de armadura pasante a través de los neoprenos, quedando garantizada la absorción de la reacción con dicho anclaje así como los movimientos longitudinales. La junta entre tablero y espaldón evidencia la llave de corte que asegura la transmisión de los esfuerzos sísmicos horizontales a los estribos, quedando las pilas relevadas de dicha responsabilidad.

Un gran reto constructivo

Si bien el puente se diseñó de forma que la cantidad de materiales necesarios fuese lo menor posible (y por ello resultase económicamente viable), la construcción del mismo, prevista originalmente en la época seca, se tuvo que llevar a cabo en su mayor parte en la estación lluviosa: el inicio de las obras fue a mediados de abril de 2007, quedando el puente terminado a finales de octubre, tras seis meses de obra.

Al contar con acceso únicamente por el margen sur, el propio río era el principal impedimento para las obras. En un primer momento y para aprovechar el suave inicio del invierno, se resolvió el problema del transporte de materiales y equipo por medio de un



Balsa en el Torola pasando una hormigonera.

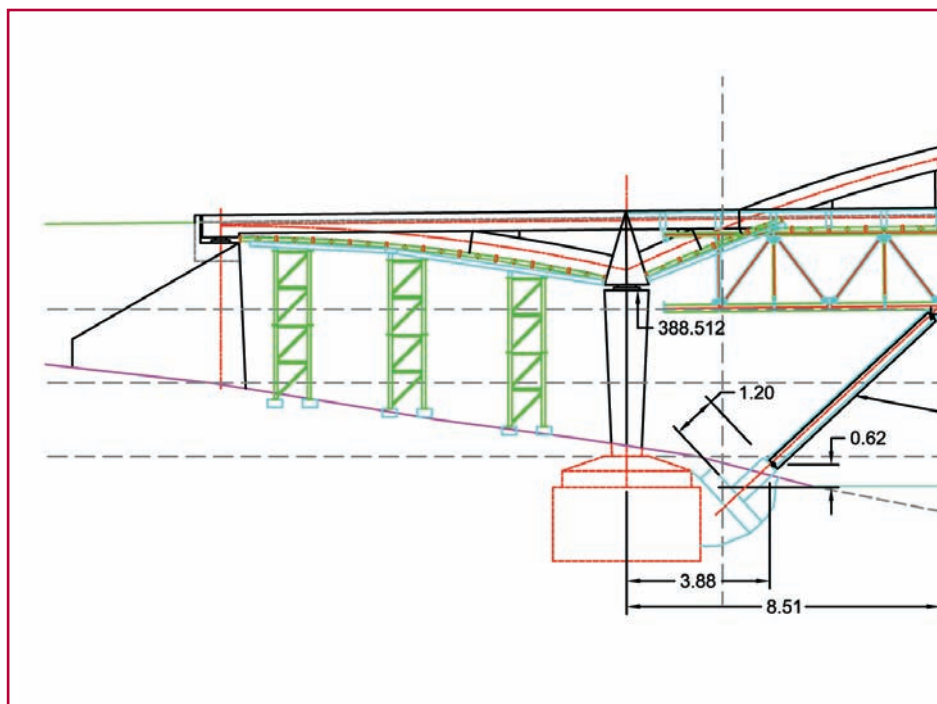
paso provisional a base de un relleno con dos tubos de 1 m de diámetro para permitir el paso del agua, sabiendo que las primeras lluvias fuertes de mayo lo dañarían de forma importante como así fue, y aunque se reconstruyó y reforzó un par de veces, tuvo que ser abandonado y retirado definitivamente a finales del mismo mes, cuando apenas se había realizado la zapata de la pila norte. Se improvisó entonces una pequeña balsa para permitir el acceso de personal, equipo y materiales, hasta que se terminó una balsa mayor, con 13 barriles y estructura metálica, con la que se movilizó la mayor parte material y equipo, sirviendo incluso para el paso de los pobladores de la zona, hasta que a mediados de agosto una fuerte crecida rompió las eslingas que la fijaban a la orilla y la despedazó aguas abajo. Afortunadamente, para aquel entonces ya se podía pasar por la cimbra, con lo que se prosiguió sin necesidad de reconstruirla.

Las pilas de hormigón se realizaron con moldes metálicos en sus caras planas y de madera en las variables; la información para elaborar los moldes se extrajo directamente del modelo 3D del puente en Autocad. Los estribos de mampostería se realizaron cuidando el acabado por medio del realce de las juntas entre las piedras. Todo ello se pudo terminar sin mayor problema que el arriba mencionado, teniendo que ejecutarse la pila y estribo norte de forma más artesanal, ya que en la balsa solo se pudo pasar equipo liviano, siendo lo más pesado las hormigoneras de 300 litros.

Si bien el soporte de los moldes de los vanos laterales era sobre tierra firme (aunque en las habituales crecidas el agua llegaba hasta los estribos), con lo que se podía contar con una buena base para cimbrar los arcos, el vano central estaba en su mayor parte sobre el cauce, que sobrepasa los de 6 m de profundidad en algunas zonas, teniendo además que soportar una fuerte corriente. Para ello se diseñó la cimbra aprovechando una pareja de vigas celosía metálicas modulares, de dos metros de canto, que conforman la estructura principal de la cimbra de lanzamiento de vigas con que cuenta la empresa. Debido al elevado peso que ésta debía soportar (los dos arcos completos), la máxima luz factible se estableció en 18 m que, en condiciones de estiaje (que es lo previsto en el proyecto original), permitía apoyo vertical en los laterales del cauce sin que fuese necesario un relleno importante. Este apoyo se diseñó por medio de columnas de hormigón armado de 50 cm de lado con sus respectivas zapatas. Sin embargo, el arranque de la obra se retrasó varios meses, por lo que cuando ésta de inicio ya se tenía la certeza de que la cimbra tendría que soportar los meses más lluviosos del invierno. En esas circunstancias, las pilas provisionales se verían sometidas a fuertes corrientes que, dado que se iba a cimentar sobre acarreo, generaban un elevado riesgo de falla por socavación.

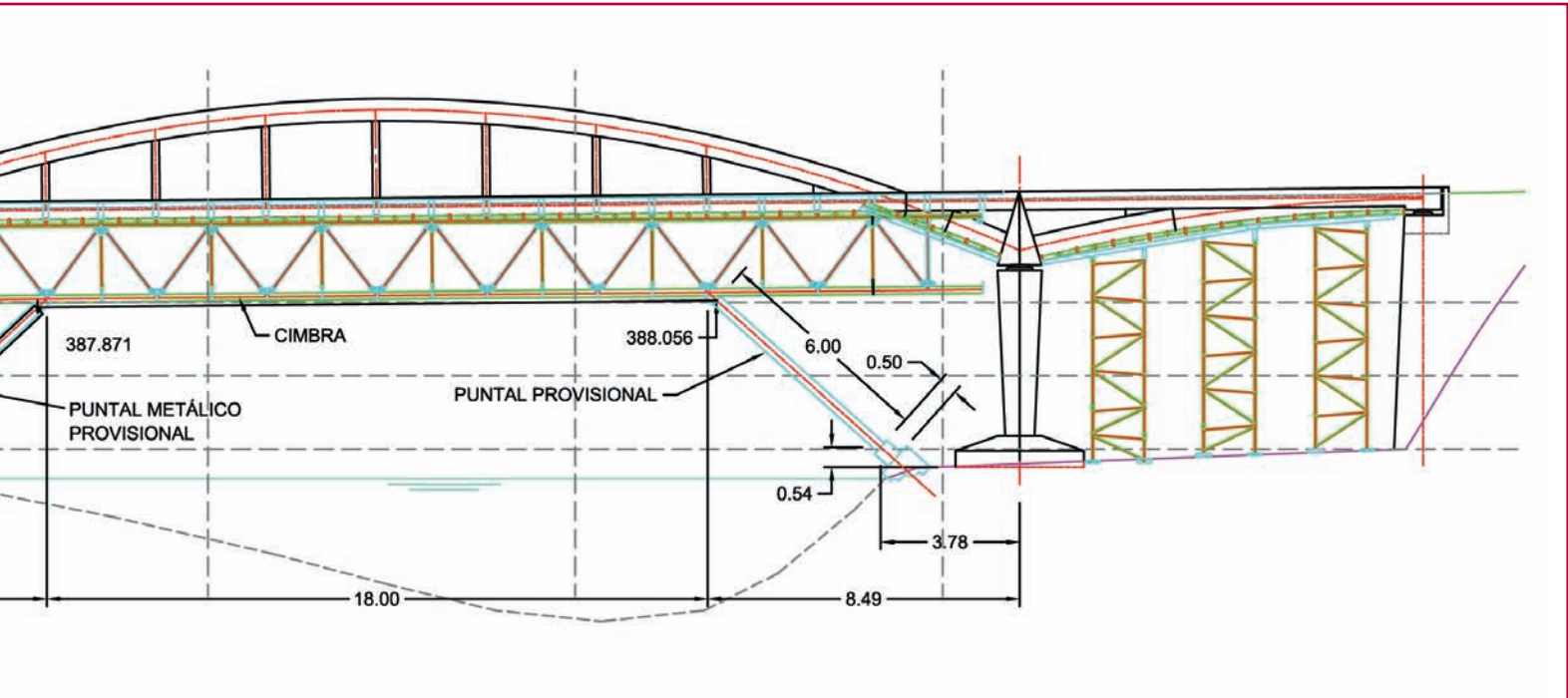
En este punto, se decidió revisar el sistema de cimbrado para compatibilizarlo con las crecidas del río. Se determinó que una separación entre pilas provisionales de 28 m era suficiente para garantizar la estabilidad de las mismas; sin embargo era inviable modificar las vigas de la cimbra de manera que la luz libre llegara a tal magnitud, debido al importantísimo sobrecosto que esto generaría, al tener que fabricar prácticamente una nueva estructura. La única manera de usar las vigas existentes respetando la luz libre entre pilas provisionales era inclinando éstas últimas del orden de 47°, y haciendo trabajar al conjunto puntal-viga como un pórtico espacial y esviado. Tras comprobar la viabilidad técnica de dicho planteamiento, se diseñó la cimentación provisional de forma que las reacciones inclinadas en la base de las puntales se transmitieran a la cimentación de las pilas principales (roca en el norte y hormigón ciclópeo en el sur), capaces de soportar los empujes horizontales sin problemas.

Ya resuelta la parte técnica de la construcción, quedaba una última prueba: el montaje de las dos grandes vigas en celosía, de 33 m de largo y más de 5



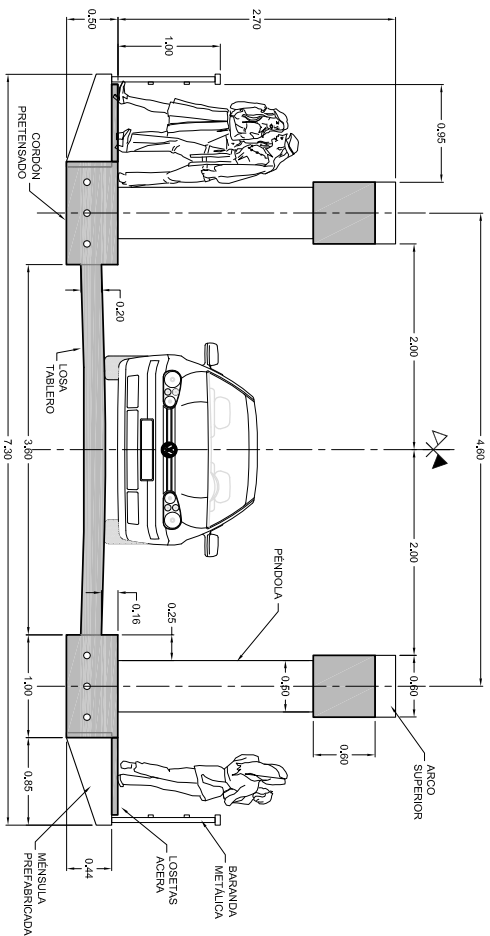
Esquema constructivo finalmente aprobado.

Ton cada una. Este peso se reducía a un mínimo de 3 Ton considerando únicamente el tramo de 21 m. entre los puntales, que ya se habían montado con bastante esfuerzo, sobre todo en la margen norte, donde se tuvieron que izar sin ayuda de grúa. Aún considerando montar únicamente estos tramos, se requería la presencia de una grúa de al menos 30 Ton, siendo más recomendable de 40 Ton. Se contactó a empresas de alquiler de equipo, que tras visitar la zona, vieron muy complicado el acceso de sus grúas todoterreno, debido a lo sinuoso del trazado pavimentado (para el transporte se precisaba una plataforma); la otra alternativa, que era llevar una grúa – camión de similar capacidad, la desecharon los responsables de la empresa debido al mal estado y las pendientes de la calle de tierra, ya que se podía dañar el equipo. Ante la imposibilidad de contar con grúas, se tuvo que desarrollar un procedimiento capaz de montar las vigas aprovechando su modularidad en base a voladizos sucesivos. Según este proceso, se montaban al menos dos módulos de tres metros cada uno sobre cada puntal inclinado (el módulo especial de apoyo y el anterior), amarrándose el nudo de unión puntal-viga con cables o cadenas a la parte superior de la pila, para evitar el vuelco del conjunto, mientras que la parte extrema del módulo anterior se amarraba a la base del puntal, para evitar el volteo de la viga sobre

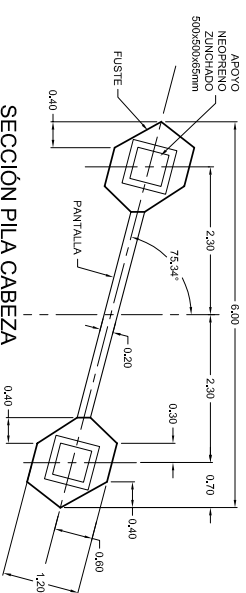


Montaje de la cimbra en voladizos sucesivos.





SECCIÓN TRANSVERSAL VANO CENTRAL
Escala 1:25

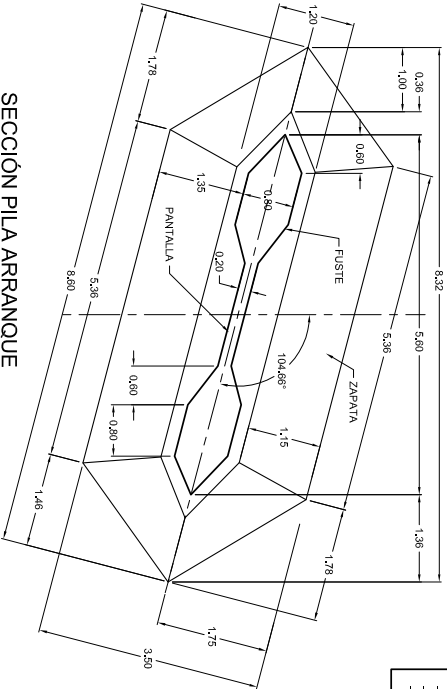


SECCIÓN PILA CABEZA
Escala 1:40

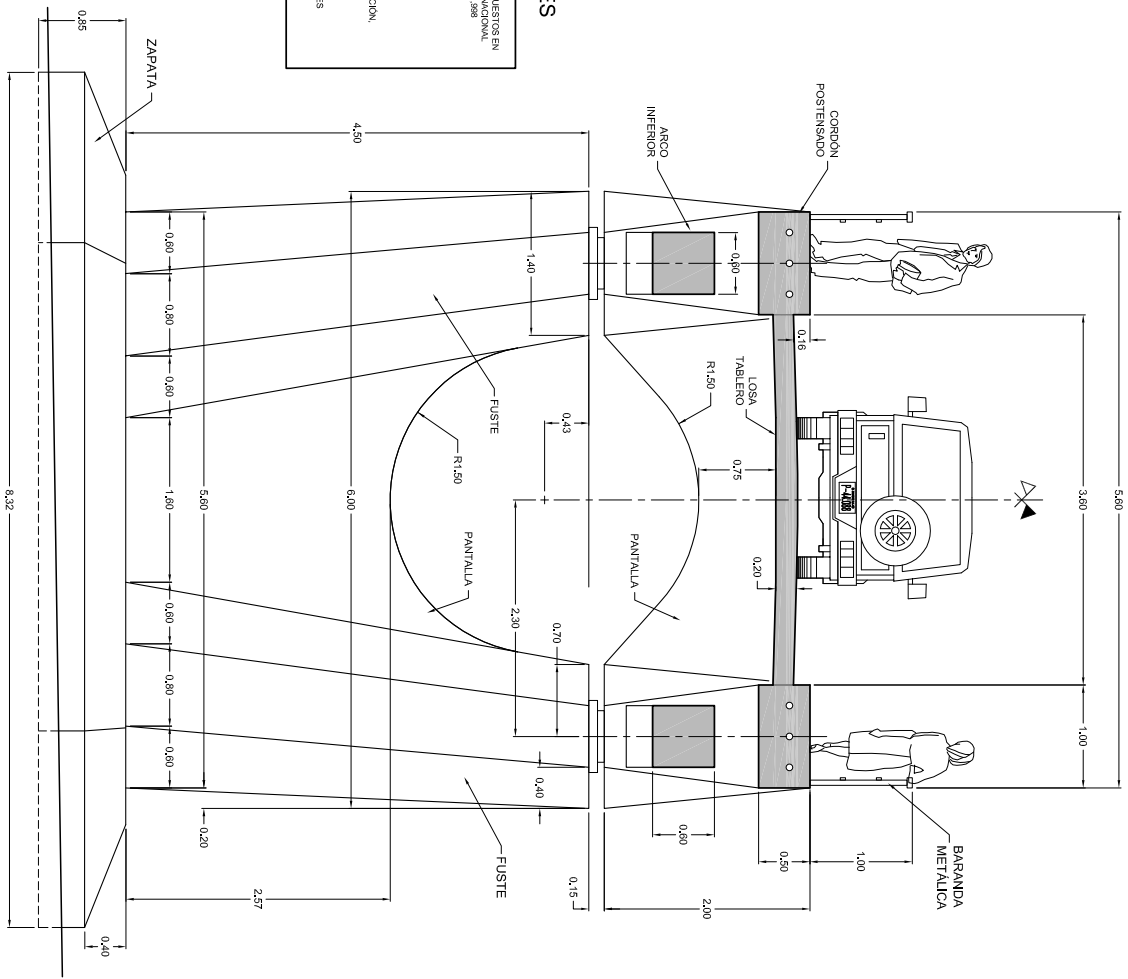
CUADRO DE MATERIALES

NOTA IMPORTANTE: TODAS LAS UNIDADES Y MATERIALES EXPUESTOS EN ESTE DISEÑO DEBEN SER VERIFICADOS EN EL MOMENTO DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO.

CONCRETO	- EN ARCOS Y TABLERO. $f_c = 28 \text{ MPa}$
ACERO	- EN PULS, CARGADEROS, ARCOS Y ACERAS. $f_y = 21 \text{ MPa}$
ACERO DE REFUERZO	- $A_1 = 102 \text{ MPa}$ (ASTM GRUPO 60)
ACERO DE PRESIÓN	- CORDONES UPT Y 150 mm DE SECCIÓN. ($f_u = 1860 \text{ MPa}$) (ASTM GRUPO 270)
DURABILIDAD	- ENTORNO NORMAL: HUMEDAD 75%
	- RECUBRIMIENTO GENERAL 4 cm 5 cm EN BARRAS PRINCIPALES
	- RECUBRIMIENTO EN PULS COMO 2.5 cm



SECCIÓN PILA ARRANQUE
Escala 1:40



SECCIÓN TRANSVERSAL VANO CENTRAL
Escala 1:25

éste. Una vez montados los dos módulos, apoyados provisionalmente sobre cimbra, se disponía sobre ellos un par de vigas metálicas livianas de 6 m de longitud arriostradas entre sí, en cuyo extremo en voladizo por delante de los módulos se dispuso un pequeño polipasto eléctrico, que permitía elevar desde la balsa y una a una las 8 piezas de hasta 163 kg de peso que empernadas entre sí conforman cada módulo. Concluido un módulo, se avanzaba 3 m la pareja de vigas hasta la siguiente posición, repitiéndose la operación en ambos lados hasta llegar al módulo central, que uniría los dos voladizos conformando la viga. Como es habitual en este procedimiento, el montaje de la clave siempre resulta complicado, usándose en este caso tecles de cadenas y de cables para mover ambos voladizos hasta poder encajar las piezas centrales. Esta operación se repitió completa en la viga paralela



Paso peatonal en la cimbra montada.

La cimbra soportó grandes crecidas sin sufrir apenas daños.



(una viga bajo cada arco), arriostrándose posteriormente éstas entre sí por medio de triangulación.

Ya con las vigas montadas se estableció una unión fija entre ambas orillas, disminuyendo la dependencia de la balsa en la medida que se colocaba el molde sobre las mismas y se instalaba un paso con escaleras y quitamiedos en una de ellas, que ya usaron de forma habitual los trabajadores y los propios habitantes de la zona.

Desde el momento que se perdió la balsa se trabajó usando el molde sobre las vigas como camino entre ambos lados, pudiéndose entonces agilizar los trabajos de ejecución de los vanos laterales, primero, y del tramo central del arco, después. La ejecución se planeó en función de la capacidad de hormigonado diario, la cual estaba muy limitada por el hecho de tener que hacer la mezcla en hormigoneras de 300 litros, lo cual, unido a la dificultad del transporte del hormigón, limitaba de forma importante el volumen a colocar. Al tener los dos arcos cimbrados, se trabajaba de forma alternada, reutilizando los moldes laterales de un lado para el otro. Las vigas – tirante se ejecutaron en tres fases, con la junta en la unión del arco y el tirante, mientras que para cada arco se precisaron cuatro fases, haciéndose en tramo central en dos partes.

Si bien las crecidas, de más de 2 m de altura, dieron algún problema para la ejecución de los vanos laterales, cuya cimbra soportó fuertes presiones agravadas por las ramas y troncos atrapados en las torres, lo que incluso provocó varios desplomes sin mayores consecuencias, en el tramo central no hubo daños, trabajándose con total seguridad y sin interrupciones hasta el momento del tesado.

Los tendones del tesado, de 58 m de longitud, no pudieron enfilarse hasta tener ya hormigonados los arcos y tirantes. Esa longitud, unida al hecho de no contar con enfiladora, dio lugar a que el montaje de los cordones diese problemas en algún caso, estableciéndose a su vez un procedimiento de enfilado con ayuda de tacles de cadenas para poder concluir el trabajo. El tesado en sí tuvo otra complicación adicional ya que con el primero de los seis tendones de 150 Ton se rompió un desclavador del gato multitorón, que por tanto ya no se podía recoger automáticamente, con lo que hubo que montar y desmontar la parte posterior del arrastre del mismo en diecinueve ocasiones (tres por cada tendón más otra por un retesado de comprobación), concluyendo la operación de madrugada. Los resultados del tesado fueron mejores de lo esperado, resultando un



El tesado se prolongó hasta la madrugada.

alargamiento levemente superior a lo previsto (hasta un 4.5%), lo cual, como se pudo comprobar con el retesado, se debió fundamentalmente a que el rozamiento fue menor a lo calculado, lo cual no se compensó con el aumento de la rigidez del hormigón, extremo que también se comprobó. En definitiva, quedó un pretensado más fuerte, y por tanto más eficaz.

Tras el tesado, se procedió al descenso de las vigas de la cimbra y a la retirada de los moldes, dejando las vigas colgadas de los arcos, ya que se necesitaban para el montaje de los moldes de la losa entre los mismos. Dicho molde también se colgó de los arcos por medio de parejas de vigas en la parte superior e inferior (éstas últimas soportando el encofrado), arriostradas entre sí por medio de barras roscadas y tuercas tipo Dywidag. Tras el hormigonado de la losa en cuatro fases, se retiró la cimbra elevándose por piezas desde el puente, quedando terminada de esta forma la estructura principal.

Con la colocación de los prefabricados de las aceras, la inyección de la lechada de cemento y el montaje de la baranda quedó concluida la parte principal de obra, que se retocó estéticamente sobre todo en las pilas para conseguir una geometría más limpia y precisa.

Sueño cumplido

En la presentación del premio de Cooperación al Desarrollo, Javier Manterola expuso sus impresiones de la obra: "en este puente todo es asombroso: su ubica-



Vista del puente terminado desde aguas arriba.

ción, su diseño, su construcción y su utilidad", "es conceptualmente complejo, formalmente muy simple y visualmente muy hermoso", "una formidable ejecución", y resume "esta relación total entre el pensar el puente y construirlo tiene algo de mágico, me maravilla, me emociona y me descubre la realidad más sustancial de nuestro oficio". El premio, que es el propio puente, ya estaba terminado en El Salvador, por lo que los representantes de la asociación salvadoreña recibieron de manos del Rey de España una escultura que lo representa, y que en definitiva simboliza que sin sueños no puede haber realidades.

Hoy en día los usuarios del puente no dejan de maravillarse por esta obra soñada, que fue conocido durante su construcción como "puente del diablo" (solo con un pacto con el siniestro cobrado en sangre -pensaban- se podía vencer a la naturaleza del Torola), y que se concluyó sin ningún accidente laboral que reseñar (el río les ha perdonado, decían al final). Ya llegan visitantes atraídos por la creciente fama de esta singular construcción sin precedentes en la Región (además del ya mencionado puente de Tacuba), que una vez en el lugar se quedan prendados de la belleza innegable de este río, en verano de aguas mansas y transparentes, y su entorno de altos cerros y gente amable y callada pero orgullosa de lucir su puente. ♦

Puente "D. José Entrecanales" en breve:

- Supone la materialización del Premio de Cooperación al Desarrollo 2006, otorgado por la Fundación José Entrecanales Ibarra a la propuesta presentada por la asociación "Campesinos para el Desarrollo Humano" (CDH).
- Ubicado sobre el río Torola, Municipio de Cacaopera, Departamento de Morazán, El Salvador.
- Proyectado y construido por CIVING, S.A. DE C.V. en los seis meses de estación lluviosa del 2007 a un costo total de \$434,700 Dólares USA, incluyendo 800 m de vía de acceso.
- Tipología estructural: arco de hormigón postensado tipo "bow-string" multivano, con luces de 11 + 35 + 11 metros, calculado según la norma AASHTO.
- Autor del proyecto: Guillermo Candela García, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
- Supervisor de ejecución: Óscar Amaya Cobar, Ingeniero Civil
- Jefe de Obra: Marvin Alexander Cardoza, Ingeniero Civil
- Técnicos responsables: Francisco Guerrero y Godofredo Palacios
- Mediciones principales:
 - Hormigón estructural: 237 m³
 - Acero Grado 60 ($f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$): 28.600 kg
 - Acero pretensado: 2.900 kg
 - Peso estructura metálica provisional central: 12 Ton.
 - Peso del tablero del puente, terminado: 365 Ton.