

# Dos pasarelas colgantes para la prosperidad en Nicaragua

## *Two suspension footbridges to prosperity in Nicaragua*

José Romo Martín<sup>\*a</sup>, Antonio Cano Fernández-Carrión<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Consejero Delegado. Fhecór Ingenieros Consultores, S.A. (Madrid, España).

<sup>b</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Proyecto en el Departamento de Obra Civil. Fhecór Ingenieros Consultores, S.A. (Madrid, España)

Recibido el 4 de junio de 2018; aceptado el 5 de diciembre de 2018

### RESUMEN

Se estima que en la actualidad más de mil millones de personas en zonas rurales no disponen de acceso de manera continua a mercados, colegios, atención sanitaria u otros servicios básicos debido a las crecidas de los ríos, hecho que impide significativamente el desarrollo económico y social de esas comunidades. La construcción de pasarelas que salven esos ríos permite dar acceso seguro a servicios básicos durante todo el año. En este artículo se presenta la construcción de dos pasarelas construidas en Nicaragua, en 2017 y 2018, fruto de la colaboración de FHECOR Ingenieros Consultores S.A. y la ONG Norteamericana Bridges to Prosperity. La participación de la comunidad local en la construcción y su involucración en el proyecto se concibió como algo vital para asegurar el mantenimiento y el adecuado funcionamiento de estas pasarelas a largo plazo.

© 2019 Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE). Publicado por Cinter Divulgación Técnica S.L.L. Todos los derechos reservados.

PALABRAS CLAVE: pasarela, estructura colgante, desarrollo social, Bridges to Prosperity.

### ABSTRACT

Today, it is estimated that more than a billion people in rural areas do not have safe access throughout the year to markets, schools, healthcare treatment and other critical resources due to river flooding. This fact prevents the economic and social development of those communities. The construction of footbridges that span over impassable rivers allow access to those critical resources throughout the year. This article presents the construction of two footbridges in Nicaragua in 2017 and 2018, thanks to the collaboration between FHECOR Consulting Engineers S.A. and the US NGO Bridges to Prosperity. To involve the locals in the construction was conceived as a vital fact to ensure the maintenance and adequate performance of the structures in the long term.

© 2019 Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE). Published by Cinter Divulgación Técnica S.L.L. All rights reserved.

KEYWORDS: footbridge, suspension structure, social development, Bridges to Prosperity.

## 1. PROYECTO DE COLABORACIÓN

La ONG Bridges to Prosperity (B2P) fue fundada en Estados Unidos en 2001. Desde su creación, ha trabajado con comunidades rurales en 18 países por todo el mundo (figura 1), entre ellos Bolivia, Haití, Nicaragua, Panamá y Ruanda, construyendo, hasta día de hoy, más de 250 pasarelas y permitiendo así el paso sobre ríos infranqueables a más de un millón de personas [7]. B2P desarrolla programas dirigidos a empresas con los que consigue

desarrollar su misión gracias a la colaboración de empresas privadas del ámbito de la consultoría y la construcción. Estas a su vez, se benefician del desarrollo personal, profesional y corporativo de su plantilla al participar en estos proyectos solidarios.

B2P es una organización que lucha contra el aislamiento de comunidades rurales que quedan incomunicadas en época de lluvias mediante la construcción de pasarelas peatonales que posibilitan el acceso seguro de miles de personas a necesidades básicas. Esta iniciativa convergió con la política de FHECOR, estableciéndose un acuerdo de colaboración a finales de 2016 para la financiación parcial y la construcción de una pasarela durante el primer semestre de 2017.

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: Antonio Cano Fernández-Carrión [acfc@fhecor.es](mailto:acfc@fhecor.es)

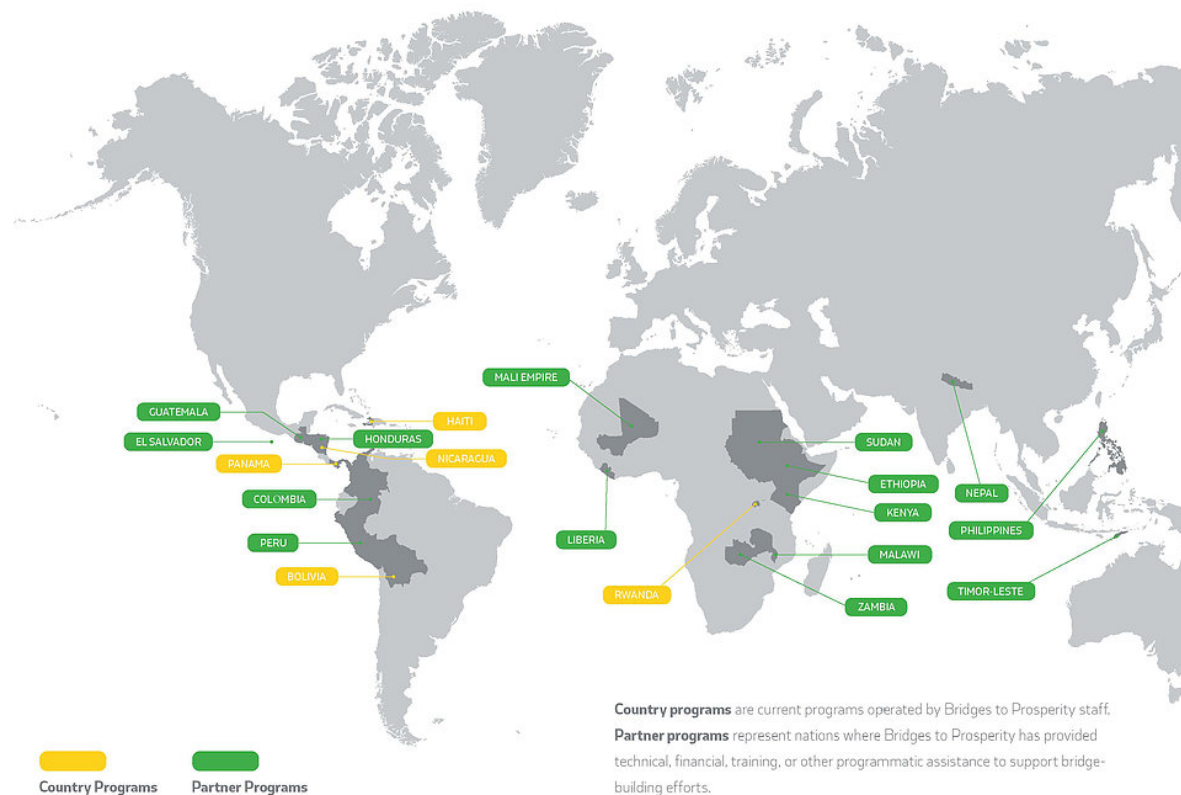


Figura 1. Países de actuación de B2P en el mundo.

Como primer fruto de ese acuerdo, surgió el proyecto de la pasarela de Monte Verde en Nicaragua, cuya construcción se iniciaría en abril de 2017. Esta primera pasarela se ubica en la comunidad de Monte Verde, a la que debe su nombre, dentro de la región de Madriz, a unos 200 km al norte de Managua, la capital (figura 2). La estructura se concibió para salvar el cauce del río Estelí, entre las comunidades rurales de Monte Verde y La Cureña en el margen derecho, y el acceso a transportes y ciudades con mercados, centros médicos y escuelas en el margen izquierdo.

Tras el éxito del primer proyecto, FHECOR y B2P volvieron a firmar un acuerdo de colaboración para construir una segunda pasarela, también en Nicaragua, próxima al municipio de Santa María de Pantasma en la región de Jinotega, a unos 180 km al norte de Managua (figura 2). Esta nueva estructura se proyectó para salvar el cauce del río Gusanera, dando servicio a las comunidades rurales de San Vicente, Pita Abajo, Los Laureles, Pita el Carmen y Valle los Orozcos.

## 2. EL AISLAMIENTO RURAL IMPIDE EL DESARROLLO SOCIAL

El aislamiento rural y la falta de acceso a servicios básicos son problemas muy ligados a la falta de desarrollo en el mundo [8]. Se estima que cerca de mil millones de personas en países en vías de desarrollo quedan aisladas en determinadas épocas del año debido a las lluvias y consecuente crecida de los ríos,

imposibilitándose el acceso a servicios básicos de educación, salud y oportunidades económicas [7]. Según el *Grupo Banco Mundial*, la pobreza es más acusada en aquellas áreas donde el acceso a los servicios básicos es precario o inexistente estacionalmente. Esa falta de acceso está en estrecha relación con el producto interior bruto del país [8].

Reducir el aislamiento rural e incrementar el acceso a servicios básicos que promueven el desarrollo, es un proceso complejo que engloba muchas variables y partes interesadas. En líneas generales, una solución que pretenda mejorar la accesibilidad rural puede evaluarse en términos de una reducción de la distancia a los servicios básicos, un incremento de la movilidad de los individuos afectados o una combinación de ambos. En algunos casos, la creación de mercados, colegios o centros de salud en comunidades aisladas es la solución más adecuada para promover el desarrollo. En otros, esos servicios ya existen o se encuentran relativamente cerca de esas comunidades, pero la existencia de caudalosos ríos que crecen en determinadas épocas del año, hace imposible llegar hasta ellos. La construcción de pasarelas en localizaciones adecuadas crea un impulso económico significativo en esas zonas rurales.

Ser capaz de cruzar un río durante todo el año puede marcar la diferencia entre completar un curso escolar, vender las cosechas en el mercado o llevar a un bebé enfermo al médico. Se evitaría así que personas con necesidad de cruzar esos cursos de agua lleguen a arriesgar sus vidas.

Las pasarelas no solo consiguen la eliminación de las barreras que impiden acceder a servicios básicos, sino que a su vez

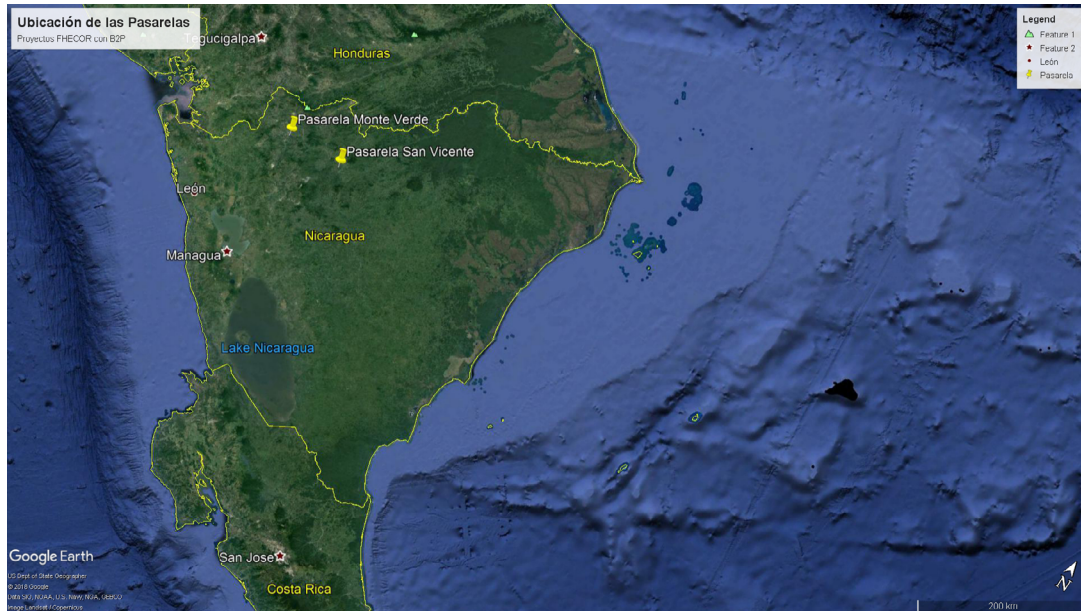


Figura 2. Localización de las pasarelas Monte Verde y San Vicente.



Figura 3. Madre con su hijo en la espalda cruzando el río durante la construcción de la pasarela San Vicente.

permiten el desarrollo en otras áreas de actuación en términos de cooperación, como el acceso a puntos de agua potable. Todos aquellos proyectos que promueven en el desarrollo de los grandes problemas en el mundo subdesarrollado son inútiles si las personas a las que se les dota de esos servicios no pueden acceder a ellos. Y es que la movilidad es la clave para el desarrollo social y económico de un país.

Todavía hoy en día, caminar constituye el principal medio de transporte en muchas áreas rurales del mundo desarrollado. Sin embargo, muchos gobiernos de los países en vías de desarrollo solo impulsan la construcción de estructuras para vehículos motorizados y no de peatones. B2P ha desarrollado un innovador modelo de colaboración con empresas de ingeniería que consigue poner en acuerdo a gobiernos locales y comunidades para construir pasarelas en aquellas

localizaciones donde existe un riesgo de aislamiento y donde el impacto social sea más significativo.

### 3. COMUNIDADES AFECTADAS

La Pasarela Monte Verde, completada en mayo de 2017, se proyectó en la misma ubicación donde una pasarela peatonal había colapsado en 2010 debido a la erosión de las cimentaciones provocada por las fuertes corrientes y el desplazamiento de rocas y árboles en la época de lluvias. Tras este hecho, sin la existencia de una estructura que permitiese cruzar de una orilla a otra de forma segura, se produjo la desaparición de dos personas y lesiones de otras muchas al intentar cruzar el río, el

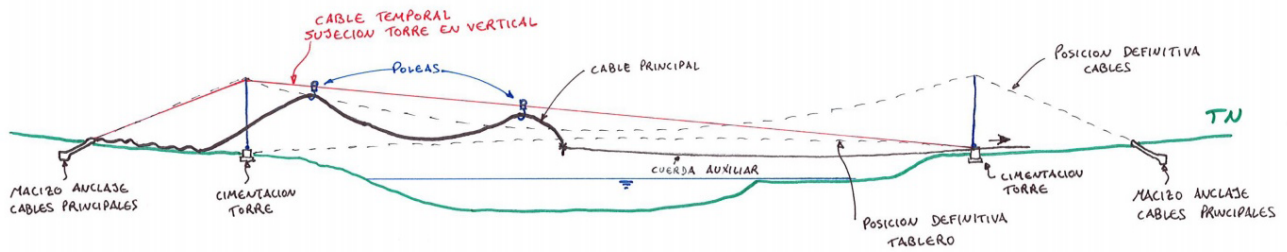


Figura 4. Esquemas de proceso constructivo realizados por FHECOR durante la fase de estudio del proyecto en Madrid

cual, puede llegar a alcanzar más de 6 metros de calado con fuertes corrientes.

En la margen izquierda del río se ubica una escuela, un centro de salud y las infraestructuras de transporte necesarias para poder acceder a los dos principales núcleos urbanos de la zona: Palacagüina y Condega. En época de lluvias, antes de que se completase el proyecto, a los agricultores y granjeros ubicados en el margen derecho del cauce, les resultaba prácticamente imposible acceder a las vías de comunicación localizadas en la otra orilla, lo que les impedía comercializar sus productos en esas dos ciudades. Este hecho provocaba la pérdida de cosechas y la consiguiente afeción en las ya precarias economías de esas familias. Además, la falta de una estructura que uniese ambas orillas imposibilitaba el acceso desde el margen izquierdo al colegio y a los servicios básicos de salud durante los meses lluviosos del año.

De manera similar, la Pasarela San Vicente se proyectó para evitar que en la época de lluvias, la crecida del río Gusanera provocase el aislamiento de las comunidades cercanas (figura 3). Antes de la construcción de la pasarela San Vicente, varias personas habían perdido sus vidas y otras muchas habían resultado heridas al intentar cruzar el río.

Las zonas donde se ubican las nuevas pasarelas son regiones montañosas donde se localizan cientos de granjas y pequeños ranchos dispersos, dedicados fundamentalmente a la producción de frijoles, maíz, café, tabaco o a la cría de ganado. Se estima que la población a la que darán servicio las pasarelas es de unas 5000 personas, entre los que se encuentran campesinos y sus familias que viven en las comunidades circundantes a los ríos Estelí y Gusanera. Estas estructuras brindarán, no solo seguridad a los habitantes de esas comunidades a corto plazo, sino mayores oportunidades para los niños y jóvenes de la zona, fomentándose el desarrollo social y económico de la región y evitando así el aislamiento sufrido por la falta de infraestructuras adecuadas.

#### 4. DESARROLLO DEL PROYECTO

Las pasarelas de Monte Verde y San Vicente son el resultado de un acuerdo de colaboración a través del *B2P Industry Partnership Programme*. Estos programas fomentan el desarrollo de comunidades aisladas en países emergentes a través de la construcción de pasarelas por voluntarios de empresas de países desarrollados. Los programas permiten a

las compañías contribuir en la construcción de una pasarela mediante un apoyo económico, la revisión del proyecto, el viaje al país de destino a ayudar a la comunidad local a construir la superestructura y finalmente la contribución con posibles mejoras en el diseño y el proceso constructivo tras la construcción. La dotación económica que aportan las empresas colaboradoras a la organización a través de estos programas es una cantidad fija de 50.000 \$, que la ONG ha estimado para cubrir la compra de todos los materiales de construcción y la subsistencia de la propia organización y sus equipos asentados en campo.

Así, previa a la construcción de ambas pasarelas, FHECOR realizó la donación económica a B2P, cuyo fin se destinó a financiar el proyecto y la compra de materiales de construcción en la zona. A su vez, para cada acuerdo de colaboración, se presentaron como voluntarios cinco trabajadores de FHECOR, conformando el equipo que llevaría a cabo cada proyecto.

Para la construcción de la primera pasarela, en abril de 2017, los cinco técnicos de la empresa FHECOR viajaron desde Madrid a la región de Madriz en Nicaragua. El equipo asignado por FHECOR tuvo el apoyo en campo de otros cuatro voluntarios estadounidenses, miembros del *B2P Bridge Corporations*, así como del equipo de B2P asentado en Nicaragua y voluntarios locales procedentes de las comunidades colindantes. En el segundo acuerdo de colaboración en febrero de 2018, a diferencia del primer proyecto, el equipo de la Pasarela San Vicente estaba formado por cinco voluntarios de la empresa FHECOR y otros seis voluntarios de la empresa estadounidense WESTON & SAMPSON, incluyendo también el apoyo en campo del equipo de B2P asentado en Nicaragua y voluntarios locales procedentes de las comunidades cercanas.

Los miembros de ambos equipos de FHECOR fueron escogidos entre los empleados que se presentaron voluntarios por sus cualidades humanas y su alto grado de responsabilidad y conciencia social. Las labores de los miembros del equipo incluyeron tareas designadas como Jefe de Proyecto, Jefe de Obra o Jefe de Seguridad y Salud. Dichas tareas no solo tuvieron lugar durante los días de duración de las obras en Nicaragua, sino también en la oficina de FHECOR en Madrid en los meses previos, durante los cuales se estudió al detalle el proyecto incluyendo revisión detallada de planos, esquemas del proceso de construcción de las torres y la superestructura (figura 4) y propuestas de mejora en algunos detalles constructivos. También se llevó a cabo un plan de obra y de Seguridad y Salud que asegurara la adecuada construcción de las estructuras.

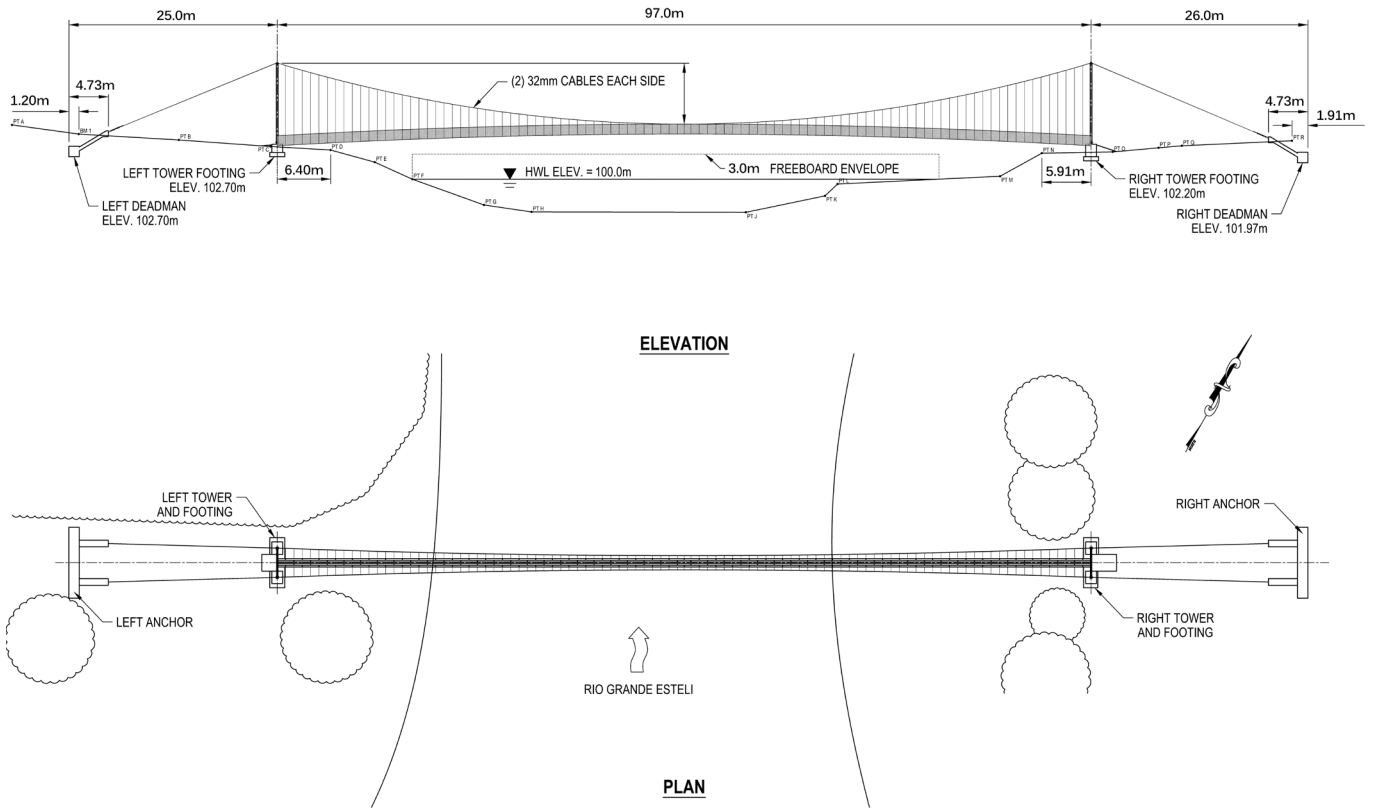


Figura 5. Alzado y planta general de la Pasarela Monte Verde.

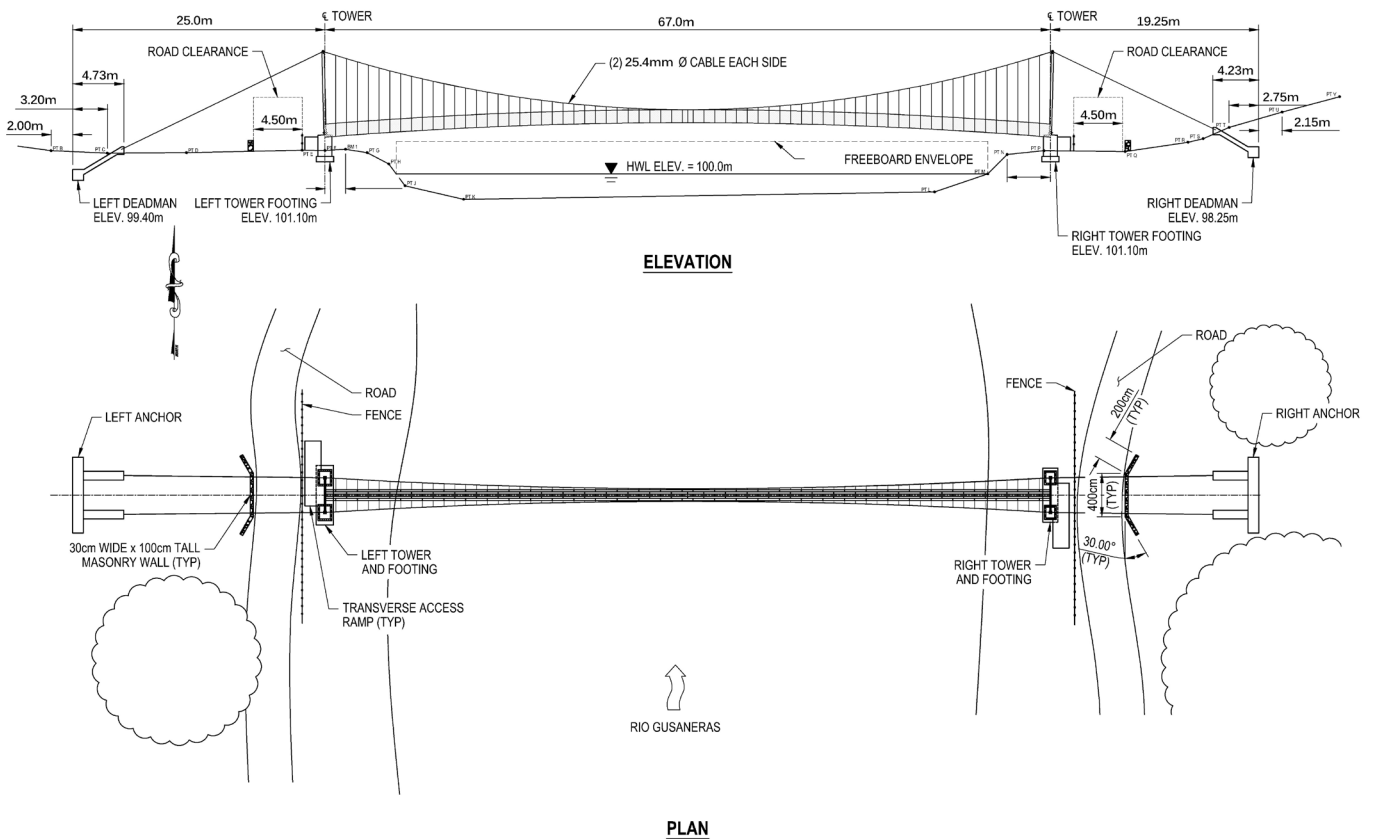


Figura 6. Alzado y planta general de la Pasarela San Vicente.

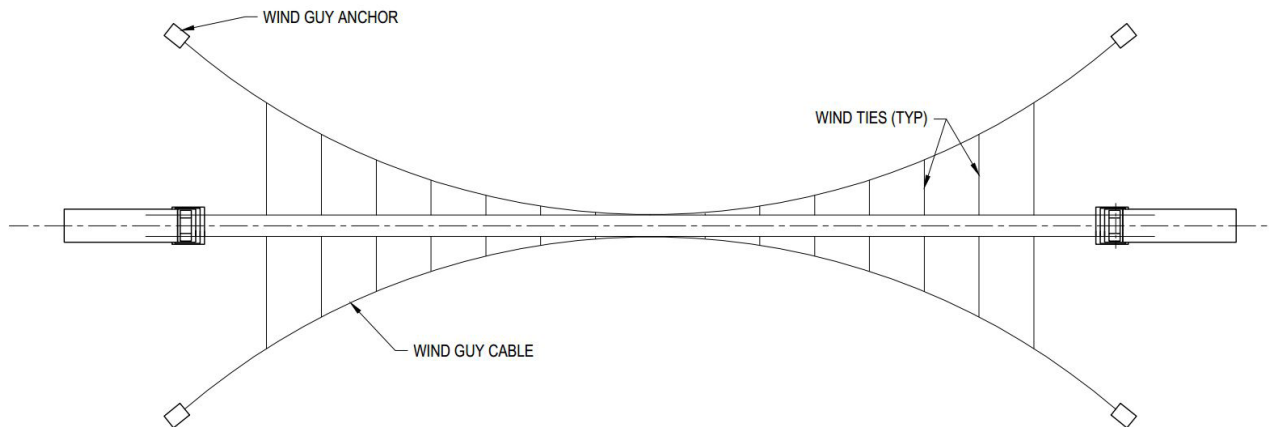


Figura 7. Esquema de arriostramientos horizontales para controlar efectos dinámicos debidos al viento.

Este proceso permitió a los miembros del equipo adquirir un entendimiento de los detalles estructurales y del proceso constructivo propuesto previo a la construcción en Nicaragua. También permitió a su vez un aprendizaje de las técnicas constructivas usadas en puentes no diseñados bajo los estándares europeos o norteamericanos, debido a la falta de medios auxiliares mecánicos, al uso de materiales reciclados y a la incertidumbre en las condiciones de diseño.

En las dos pasarelas, la construcción de la superestructura se completó en un plazo de dos semanas. Justo después de su construcción, ambos equipos pudieron asistir a la inauguración de las pasarelas junto con los miembros de las comunidades y autoridades locales.

## 5. DISEÑO DE LAS PASARELAS

El proyecto de Monte Verde y San Vicente consistió en la construcción de dos pasarelas colgantes de 97 y 67 metros de luz. El ancho libre de las pasarelas es de 110 cm para impedir el tránsito de vehículos de cuatro ruedas. Para evitar el daño de la estructura por el paso de troncos y otros materiales arrastrados en situación de crecidas la rasante del tablero se diseña para un gálibo mínimo de 3 m con el nivel del río, medido según historial máximo de avenida (figuras 5 y 6).

La plataforma de la pasarela está formada por tablonces de madera de 5 cm de espesor conectados mediante tornillos a unas vigas metálicas transversales espaciadas cada metro. Las vigas transversales cuelgan de los cables principales de acero mediante péndolas de acero pasivo corrugado de 10 mm de diámetro doblados mediante medios manuales (figura 7).

Los cables principales tienen un diámetro de 32 mm en la Pasarela Monte Verde y de 26 mm en la Pasarela San Vicente. Estos cables se anclan en sus extremos en cuatro macizos de hormigón armado. Las torres son metálicas, con un apoyo tipo rótula en la base sobre las rampas de acceso, construidas con mampostería y hormigón armado. Esa rótula permite izar las torres desde la horizontal y una vez en posición vertical, girar ligeramente y acomodarse al efecto de la carga viva actuando en el tablero.

La protección del peatón en el tablero se lleva a cabo

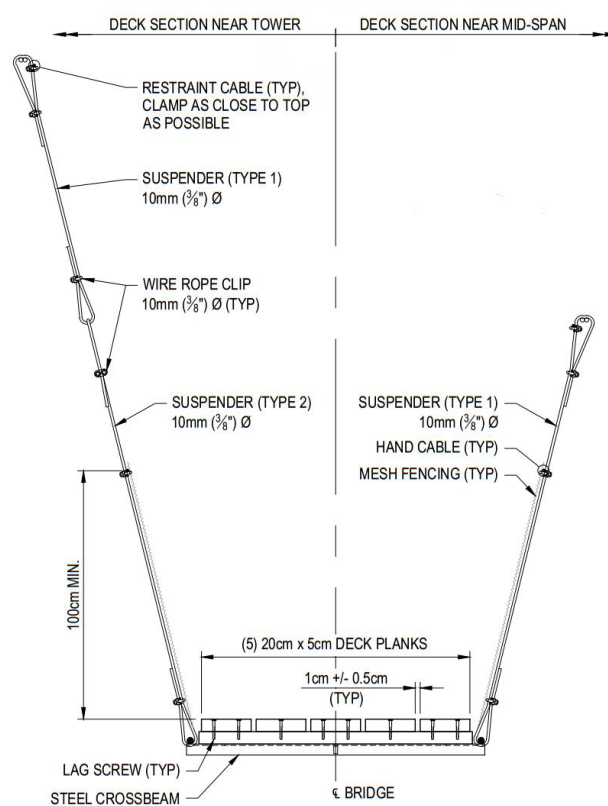


Figura 8. Sección transversal tipo del tablero.

mediante una malla metálica de torsión simple.

El diseño de ambas estructuras sigue los estándares de B2P para pasarelas colgantes. Se trata de una estructura modular y fácilmente replicable, de simple construcción y que no implica medios auxiliares complejos. B2P ha desarrollado un diseño de pasarela colgante que ha ido evolucionando desde 2008, modificándose y adaptándose a nuevas técnicas de construcción que permitieran mejorar todos los posibles problemas encontrados durante la construcción de cada nuevo proyecto.



Figura 9. Alzado de la pasarela Monte Verde durante las etapas finales de construcción.

El diseño inicial de este tipo de pasarelas se inspiró en la tecnología desarrollada por HELVETAS, una ONG suiza con más de sesenta años de experiencia en cooperación internacional, que trabaja por el desarrollo de la educación, la economía rural y las infraestructuras en Nepal [4].

Los componentes estructurales que conforman las pasarelas están diseñados para soportar cargas permanentes y cargas vivas de peatones, motocicletas y bicicletas, paso de ganado y viento. Las cargas de diseño están basadas en normativa AAHSTO (*Guide Specification for Design of Pedestrian Bridges*).

La carga muerta considerada en el diseño de ambas pasarelas fue de 0.90 kN/m. La carga viva peatonal de diseño considerada consistió en una carga uniforme de 3.46 kN/m más una carga puntual de 2.22 kN debido al paso de ganado y una rueda de motocicleta. La carga de viento considerada para el diseño de ambas estructuras fue de 0.50 kN/m<sup>2</sup>, calculada a partir de una velocidad horizontal de 160 km/h actuando sobre un área lateral de tablero de 0.3 m<sup>2</sup>/m y con un coeficiente de arrastre de 1.30.

La máxima luz para los diseños estándar de B2P es de 84 m para evitar efectos dinámicos debido a cargas horizontales de viento. Sin embargo, según el *B2P Bridge Builder Manual, Volume 3: Suspension Cable Bridges* [3], la experiencia práctica en las pasarelas construidas por la organización, ha demostrado que los puentes de hasta 120 m de luz no muestran efectos dinámicos significativos debidos al viento. Por esa razón, en el caso de la pasarela Monte Verde donde la luz es de 97 m, el tablero se diseñó para contemplar la posibilidad de instalar a posteriori unos elementos estabilizadores o vientos mediante dos cables de acero conectados longitudinalmente a las vigas transversales y anclados en los extremos (figura 8).

Según el *B2P Bridge Builder Manual, Volume 3: Suspension Cable Bridges* [3], las cargas sísmicas no son consideradas en

el diseño de este tipo de pasarelas, al considerarse estas unas estructuras muy flexibles frente a acciones dinámicas y existir muy poca probabilidad de que un sismo tenga lugar con la aplicación de toda la carga viva sobre la pasarela.

Para tener en cuenta las incertidumbres en los materiales de construcción empleados, la capacidad y sollicitación de todos elementos estructurales están basadas en la metodología ADS (*Allowable Stress Design*, [6]), también conocida como “*working stress design*” o “*service load design*”.

Este método se basa en el principio de que las tensiones que se desarrollan en un elemento estructural bajo cargas en servicio, no excedan de un predeterminado límite, con factores de seguridad determinados a partir de la importancia del elemento estructural y del nivel de incertidumbre en el cálculo de la sollicitación y capacidad de ese elemento. La ecuación general del método ADS es:

$$Q_i \leq \frac{R_n}{FS} \quad (1)$$

Donde  $Q_i$  es la tensión en el elemento para una combinación de carga determinada a partir de análisis elástico de la estructura;  $R_n$  es la tensión límite plástica o de rotura, dividida por un factor de seguridad  $FS$ .

Las cimentaciones de las torres fueron diseñadas con un factor de seguridad al hundimiento de 2.0. La resistencia característica del hormigón asumida para el diseño de las cimentaciones fue de 10.3 MPa. En el caso del acero, los valores de diseño fueron  $f_y = 240$  MPa para el acero estructural en vigas transversales y torres y  $f_y = 275$  MPa para el acero de refuerzo en elementos de hormigón armado y péndolas.

Las péndolas se diseñaron con un factor de seguridad de 5.0 para tener en cuenta la pérdida de sección debido a posibles



Figura 10. Izado de una de las torres de la pasarela Monte Verde.



Figura 11. Vista de los cables principales desde una de las torres en la pasarela Monte Verde.

efectos de fatiga y corrosión con el paso del tiempo.

Las vigas transversales están diseñadas a flexión y cortante, a partir de esfuerzos estáticos asumiendo que se encuentran simplemente apoyadas en los extremos y el efecto de la carga uniforme actuando en el ancho del tablero de madera atornillado encima. Las resistencias características a flexión y cortante de las

vigas de madera asumida en el diseño fue de 3.96 y 1.44 MPa.

Los macizos de anclaje de los cables principales fueron diseñados para soportar efectos de deslizamiento y tiro con un factor de seguridad de 1.5.

Los cables principales fueron diseñados con un factor de seguridad de 3.0 a rotura para carga axial bajo la envoltura





Figura 12. Detalle del anclaje en cabeza de torres.

de máximo axil en ELU, con una resistencia a la rotura asumida en el diseño de 391 kN

Todos los materiales de la pasarela se escogieron para ser encontrados con facilidad en el país, no solo para reducir costes, sino también para facilitar la posibilidad a los miembros de la comunidad de posteriores reparaciones. Este hecho marca el carácter social del proyecto y supone el desarrollo de técnicas que puedan ser extensibles y aplicables en el campo de la ingeniería sostenible. En ambas pasarelas, las vigas de madera se inspeccionaron antes de su montaje para evitar la presencia de nudos o agujeros. Los cables principales también fueron inspeccionados para comprobar que no tenían defectos o daños.

## 6. CONSTRUCCION DE LAS PASARELAS

La ejecución de ambas pasarelas se llevó a cabo mediante técnicas de construcción y medios auxiliares similares. Algunos de los materiales de construcción empleados fueron reciclados y el resto adquiridos de suministradores locales. A su vez, todos los medios auxiliares y técnicas empleadas en la ejecución de las pasarelas fueron manuales, con herramientas sencillas, resaltándose el cumplimiento de objetivos de desarrollo sostenible del proyecto. La duración completa de las obras fue en torno a dos meses.

Los primeros trabajos se iniciaron con el personal de B2P asentado en Nicaragua y los voluntarios de las comunidades locales, marcando primero la ubicación de las pasarelas mediante el empleo de estaciones totales y ejecutando después las cimentaciones de las rampas de acceso y los macizos de anclaje de los cables principales. Las cimentaciones fueron excavadas y posteriormente ejecutadas mediante el empleo de rocas, grava y arena de las inmediaciones. Una vez terminadas las cimentaciones, el equipo en obra se reforzó con la llegada de los voluntarios de las empresas colaboradoras para iniciar los trabajos de la superestructura. Cada equipo contó con un



Figura 13. Instalación de las vigas longitudinales en el tablero.



Figura 14. Instalación de la malla metálica de protección en la Pasarela San Vicente.



Figura 15. Detalle de conexión de la malla metálica a la péndola en la pasarela Monte Verde.

capataz y personal de obra local entrenado, parte del personal de B2P en Nicaragua, con experiencia en la construcción de ese tipo de pasarelas.

La primera tarea consistió en el montaje de andamios, uno en cada orilla frente a las rampas de acceso, para poder izar las torres y sujetarlas temporalmente hasta la instalación del cable principal. Los andamios se arriostraron en cuatro

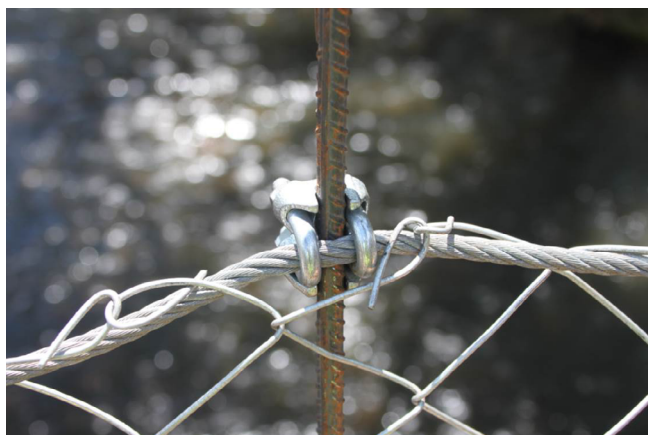


Figura 16. Detalle de conexión de la malla metálica propuesto por FHECOR e implementado en la pasarela San Vicente.



Figura 17. Vista desde el tablero de la pasarela Monte Verde terminada.

puntos mediante ocho cables metálicos conectados cuatro a la parte superior y otros cuatro a una altura media, anclados a elementos rígidos para asegurar la estabilidad horizontal durante el izado de las torres. Seguidamente, las torres metálicas fueron ensambladas *in situ*, mediante tornillos apoyadas en su base definitiva en las rampas, en posición horizontal. Una vez ensambladas, las torres fueron izadas mediante cabestrantes desde la orilla opuesta. Para ello, la base de las torres está diseñada como una rótula, para permitir el giro y facilitar la maniobra de izado (figura 10).

Las torres se izaron hasta una posición con cierto contra ángulo respecto a la vertical, para corregir el giro producido por la carga permanente actuando en el tablero. Seguidamente se colocaron los cables principales que se anclaron a los macizos de anclaje en cada orilla ajustando el punto más bajo de éstos en centro de vano, a la posición teórica de construcción fijada en proyecto. Ese valor de diseño se estimó como el 7.50% (L/13) de la luz de cada pasarela para la situación de construcción (figura 11). Bajo la hipótesis de carga permanente total más carga viva, la flecha de los cables principales en centro de vano llegaría hasta el 9.09 % (L/11) de la luz de la pasarela. Estos valores provienen del B2P *Bridge Builder Manual, Volume 3: Suspension Cable Bridges*, y se utilizan como punto de partida para el diseño de la geometría de los cables principales en cada proyecto.

En la parte superior de las torres se instalaron unos pasadores metálicos para asegurar los cables principales (figura 12).

Las péndolas de acero, junto con las vigas transversales, fueron conectados a los cables principales y colocadas en su posición definitiva mediante el empleo de cables provisionales (figura 13). Seguidamente, los tabloncillos de madera fueron instalados desde ambas orillas avanzando hacia centro de vano, y fijados a las vigas transversales mediante tornillos.

La madera para el tablero del puente procedía de productores locales. Finalmente se instaló un cable longitudinal, sujeto a las péndolas y fijado a las torres en los extremos, que hizo de pasamanos a cada lado, con una malla metálica de protección sujeta entre el tablero y al pasamanos (figura 14).

Debido a la alta humedad de la zona, todos los componentes metálicos de las pasarelas se pintaron a mano

con una capa de pintura para protegerlos de la corrosión. B2P estima que este tipo de pasarelas tienen una vida útil de entre 25 y 30 años sin grandes reparaciones y pueden llegar a durar hasta 70 años con un adecuado mantenimiento. Cada pasarela se mantiene mediante la formación de comités locales con implicación de líderes de las comunidades y con miembros de la ONG que realizan inspecciones regulares cada 2 o 3 años.

Las tareas de FHECOR no solo se desarrollaron durante la construcción de las pasarelas en Nicaragua, sino también en la oficina de Madrid en los meses posteriores a la inauguración. Durante los cuales se revisó el proceso de construcción de la superestructura con el fin de proponer mejoras en algunos detalles constructivos. Un ejemplo de esas mejoras es la idea desarrollada por el equipo de Monte Verde para mejorar el detalle de conexión de la malla metálica a la péndola y al cable longitudinal que actúa de pasamanos mediante abrazaderas. El detalle anterior resultaba muy complicado de ejecutar y obligaba a torsionar el cable, existiendo poco espacio para ajustar la pieza de cierre de la abrazadera entre esos tres elementos, provocando en muchas ocasiones la rotura de esas piezas. El detalle propuesto por FHECOR consiste en el simple uso de dos abrazaderas en serie, de manera que las dos piezas de cierre se conectan a las dos abrazaderas a la vez. Este detalle es mucho más sencillo de ejecutar y no requiere torsionar el cable longitudinal ya que las abrazaderas se fijan ortogonalmente a su eje. B2P usó esta idea en la Pasarela San Vicente al año siguiente con éxito y desde entonces lo ha implementado en la construcción de sus pasarelas colgantes por todo el mundo, bautizando el detalle como “Bruno clamp” en honor al ingeniero de FHECOR que desarrolló la idea.

## 7. LECCIONES APRENDIDAS

Las pasarelas de Monte Verde y San Vicente enseñaron a los equipos de voluntarios valiosas lecciones sobre desarrollo de proyectos internacionales. Para la mayoría de los voluntarios, esta fue su primera experiencia de cooperación en ingeniería



Figura 18. Vista lateral de la Pasarela San Vicente terminada.

humanitaria. Una de las más importantes lecciones aprendidas fue la integración con la gente de la comunidad durante la construcción. Hacer participar a los futuros usuarios de las pasarelas durante toda la ejecución del proyecto fue muy beneficioso y ayudó a crear un valioso sentimiento de responsabilidad que aseguraría el adecuado mantenimiento de la estructura en el futuro. Además, participar en la construcción enseñó a los voluntarios locales a entender mejor el funcionamiento de la estructura para poder llevar a cabo labores de reparación en caso de requerirse, alargando aún más la vida de las pasarelas.

## 8. CONCLUSIONES

Estos proyectos no solo constituyen la construcción de dos pasarelas, sino también la conexión de personas procedentes de todo el mundo a través de la formación y la transmisión de conocimientos. La participación de las comunidades en la construcción crea un sentimiento de posesión de las pasarelas y un aprendizaje en técnicas de construcción que son vitales para asegurar el mantenimiento futuro de la estructura.

El impacto de estas pasarelas en individuos y comunidades enteras puede ser enorme. Estudios de B2P en comunidades

donde se han construido pasarelas muestran un incremento del 18% en el acceso a servicios de salud, un 12% más de niños que asisten a colegios y un 30% más de incremento en el comercio local [7].

Globalmente, existen alrededor de 100 000 comunidades que podrían beneficiarse de las pasarelas que construye B2P [7]. Esta organización tiene un ambicioso plan de crecer y seguir construyendo más pasarelas por todo el mundo cada año, llegando al objetivo de 100 puentes al año para 2020 [7]. Los manuales de diseño de sus pasarelas son de libre descarga en su página web, de manera que cualquier individuo u organización tiene acceso a ese conocimiento y puede seguir su ejemplo [7]. B2P no solo trabaja donde existe una clara demanda por parte de las comunidades locales, sino también donde existe un compromiso por parte de esas comunidades con ayudar en la construcción de la pasarela y con su mantenimiento a largo plazo.

Estos hechos mostraron la incidencia a nivel social en las comunidades locales de Monte Verde y San Vicente e hicieron hincapié en el objetivo inicial concebido por FHECOR: el de alianza para lograr un desarrollo sostenible que generase un beneficio social y potenciase el crecimiento económico de esas zonas rurales aisladas, consiguiendo el desarrollo de la educación y la reducción de desigualdades sociales. Y todo ello gracias a la simple unión de dos orillas.

## 9.

### AGRADECIMIENTOS

- Bridges to Prosperity
- FHECOR Ingenieros Consultores S.A.
- Equipo Madrid for Madriz
- Equipo San Vicente Footbridge

### *Bibliografía*

- [1] AASHTO. *LRFD Guide Specifications for the Design of Pedestrian Bridges*. December 2009.
- [2] BRIDGES TO PROSPERITY. *Bridge Builder Manual – Project Development*. 5ª Ed, vol. 1, 2017.
- [3] BRIDGES TO PROSPERITY. *Bridge Builder Manual - Suspension Cable Bridge*. 5ª Ed, vol. 3, 2017.
- [4] SKAT FOUNDATION. *Short Span Trail Bridge Standard: Technical Handbook: how to Build a Short Span Trail Suspension Bridge. Nepal - Department of Local Infrastructure Development and Agricultural Roads. Trail Bridge Section*, 2003.
- [5] Hermansson, V.; Holma, J., "Analysis of suspended bridges for isolated communities". Junio 2015.
- [6] American Institute of Steel Construction (AISC). *Manual of Steel Construction*. 14th Ed.
- [7] Bridges to Prosperity. <https://bridgestoprosperty.org>, 2018 (consultada el 10.11.18)
- [8] GRUPO BANCO MUNDIAL, "Poverty Reduction: How and Where We Work". Febrero 2013. <http://www.worldbank.org/en/news/feature/2013/02/05/povertyreductioninpractice>