

ADECUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PATRIMONIO DE TIERRA: EL RETO DE LA ESTACIÓN DE TREN DE HEREDIA, COSTA RICA

María Bernadette Esquivel Morales

Red Iberoamericana PROTERRA/ICOMOS Costa Rica/ISCEAH, bernadette.esquivel@gmail.com

Palabras clave: Sismorresistencia, madera, reforzamiento, integridad, autenticidad, adecuación

Resumen

La Estación del tren de Heredia es un inmueble de bahareque declarado patrimonio histórico arquitectónico de Costa Rica. La antigua edificación estaba en funcionamiento a pesar del estado de deterioro en que se encontraba. El proyecto de restauración mantuvo el uso del inmueble como estación de tren, ampliando los andenes y adecuando parte de la edificación para locales comerciales. El proyecto establecía un reforzamiento estructural a partir de nuevos marcos estructurales metálicos, independientes a la estructura original, de bahareque y madera, afectando la integridad del inmueble patrimonial. El objetivo de este artículo es dar a conocer las posibilidades de conservar la integridad del inmueble patrimonial adecuándolo para cumplir con la seguridad estructural necesaria solicitada por el código sísmico actual. Se presenta el proceso de búsqueda de propuestas estructurales alternativas y las alianzas con otros profesionales especialistas en técnicas constructivas asociadas, como la construcción en madera. Se analizaron las condiciones estructurales originales del edificio, su deterioro y puntos de falla para diseñar los refuerzos necesarios sin afectar el valor patrimonial de la antigua estación. Por las condiciones particulares de la estructura original y tras un análisis y una propuesta de diseño innovadora, se logró realizar un reforzamiento que cumple con los criterios de conservación. Los resultados, además de mejorar las condiciones del edificio y demostrar que el bahareque puede cumplir con criterios de sismorresistencia, despertaron el interés de profesionales en ingeniería para investigar sobre el comportamiento estructural de las edificaciones antiguas respetando el sistema constructivo original.

1 INTRODUCCIÓN

El patrimonio construido con tierra de Costa Rica se encuentra disperso por todo el territorio nacional. Desde épocas prehispánicas, el bahareque se utilizó en la construcción de viviendas y otros espacios de servicio. Con el tiempo, los estilos arquitectónicos internacionales se fueron adoptando y las técnicas tradicionales se fueron adaptando y modificando. Los centros históricos, una vez homogéneos, han visto una acelerada disminución de las edificaciones de adobe y bahareque, cuya construcción no es avalada por el código sísmico actual, lo que ha acelerado su destrucción.

Iglesias y otras edificaciones institucionales lograron sobrevivir hasta ser protegidas por la Ley 7555 (1995), que impide su demolición y obliga al propietario a mantenerlas en buen estado. La Estación del Tren de Heredia, propiedad del Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER), es una de las edificaciones con declaratoria patrimonial que se ha mantenido en uso, con un mínimo de mantenimiento y ha sido restaurada cuando ya se encontraba a punto del colapso, para cumplir con el mandato legal.

El valor cultural de la estación radica en el valor histórico del ferrocarril, la antigüedad de más de 140 años y ser un conjunto arquitectónico construido con tres técnicas constructivas, el bahareque, la madera y el metal, representativas de una época de transición muy importante para el país.

Las condiciones de deterioro del inmueble obligaron a una intervención intensiva, mucho mayor a la establecida en los criterios de la restauración, sin embargo, dicha intervención logró la recuperación de elementos y la documentación de detalles arquitectónicos y espaciales desconocidos, que aumentan el valor patrimonial del conjunto.

1.1 Antecedentes históricos de la Estación del tren de Heredia

Los casi 706 kilómetros de líneas férreas en Costa Rica fueron construidos en un periodo de 50 años, de 1857 a 1910 (Sáenz, 1911) y significaron un impulso al desarrollo del país.

Fue a partir de 1871, que el gobierno presidido por Tomás Guardia Gutiérrez, motivado por el interés de ampliar las exportaciones de café entre otros productos, suscribió empréstitos en Londres y efectuó el contrato con el empresario Henry Enrique Meiggs, estadounidense, quien luego lo traspasó a su sobrino Henry Meiggs Keith, para la construcción de la línea entre el puerto de Limón y Alajuela en el centro del país. A este tramo se le denomina 2da división (Sáenz, 2003) e inició desde Alajuela pasando por Heredia, San José y Cartago hasta llegar a Limón.

Posteriormente en 1884 el contrato Soto-Keith¹ fue suscrito por Minor C. Keith quien en representación del gobierno renegoció la deuda con Londres, creó la empresa Costa Rica Railway Company a la cual el gobierno entregó el ferrocarril en 1887 para pasar en 1905 a manos la compañía Northern Railway Co. a quienes el Estado entregó la concesión ferroviaria por 99 años. Sin embargo, todas las propiedades pasaron de nuevo al Gobierno de Costa Rica en 1941 (Quesada 1983, p 114, Jiménez, 2010)

Además de las vías férreas, se construyeron bodegas y estaciones de tren.

El 6 de agosto de 1872 llegó el tren por primera vez a Heredia fecha en que se inauguró la primera estación de Heredia construida en hierro y madera (CICPC, 2003). Poco tiempo después, se construyó una nueva estación del tren en un sitio más cercano al centro de la ciudad de Heredia, en el sitio en que se encuentra actualmente. El propietario actual de la Estación del Ferrocarril de Heredia, ubicada en el cantón central de la provincia de Heredia, es el INCOFER.

Las estaciones del tren “eran espacios de trabajo provistos de áreas para albergue y lugares para socializar. Las plazas comprendían una red de edificaciones: estación, casa del maestro mecánico, viviendas de empleados, talleres de mecánica, carpintería, herrería y fundición.” (Abarca; Salas; Valverde, 2009, p 97-98).

La antigua Estación del Ferrocarril en Heredia fue declarada² Patrimonio Histórico Arquitectónico de Costa Rica 16 de setiembre 2003 en una época en la cual el servicio de trenes estaba suspendido y la antigua estación se encontraba bajo un intensivo uso comercial. El decreto indica que la comunidad herediana mostraba interés de rescatarla para establecer un uso cultural en ella. Destaca que es una de las estaciones más antiguas del país y cuenta con elementos arquitectónicos particulares y excepcionales.

No se ha encontrado aún documentación sobre el proceso constructivo de la estación de trenes, sin embargo, durante esta intervención se ha documentado el uso de madera importada de los Estados Unidos por lo que se puede inferir que los concesionarios del ferrocarril, los señores Meiggs/Keith propiciaron la importación de la madera utilizada en su construcción, la cual ellos mismos vendían para diversas obras como se lee en la Memoria de Fomento³ de 1873.

El historiador Raúl Sánchez en el informe realizado por el Centro de Patrimonio para la declaratoria de patrimonio no especifica sobre los sistemas constructivos originales de la estación, aunque menciona que está construida con adobe, bahareque, madera y hierro. El informe incluye dos planos antiguos de la estación en los que se observa un edificio principal y bodegas. Con la información con que se cuenta actualmente, se confirma que la primera etapa del actual conjunto es la sección de bahareque. Existían otras construcciones que

¹La Costa Rica Railway Company fue registrada en Londres el 22 de abril de 1886 según las actas vigentes de Compañías de 1862 y 1883. Sin embargo, el Ferrocarril no pasara a manos de los británicos hasta el 1 de julio de 1891 (Quesada 1983).

² Publicada en La Gaceta 177 por el decreto N 31350-C, con todas las implicaciones que la Ley 7555 otorga.

³ La Secretaría de Fomento era la encargada de las construcciones nacionales, emitiendo memorias anuales con información fidedigna de lo acontecido.

fueron demolidas, quedando solamente algunos vestigios de muros de ladrillo y pisos empedrados. Posteriormente, la Northern Railway realizó una ampliación en el año 1905 que corresponde a la sección de madera actual, donde se pueden observar los vestigios de la antigua bodega.



Figura 1 Plano de las vías férreas en Costa Rica 1903. p.94 (Quesada, 1983)



Figura 2. Personalidades heredianas saliendo de la Estación del tren de Heredia. Al fondo la estación mostrando su fachada de bahareque. (autor y año desconocido)

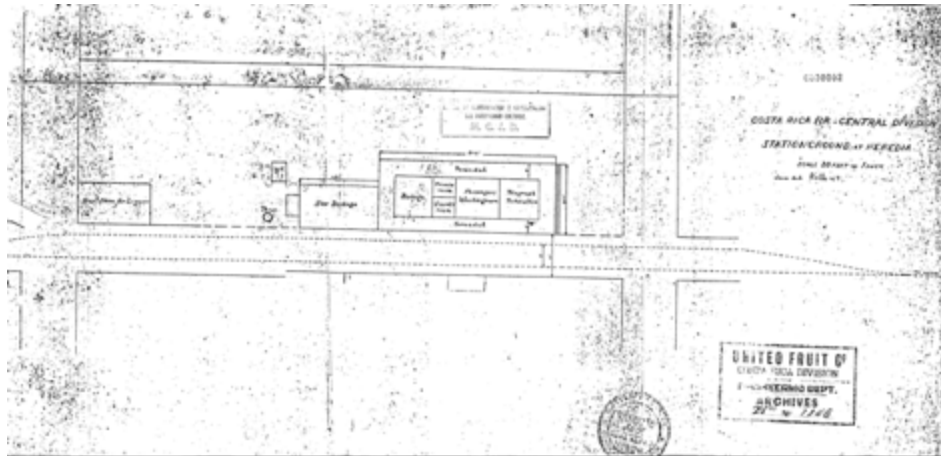


Figura 3. Plano antiguo de la Estación de Heredia (CICPC, 2003)

1.2 Suspensión y reanudación de servicio de trenes, consecuencias y estado actual

Decisiones políticas llevaron a la suspensión del servicio de trenes a partir de 1995 y hasta el año 2008. El INCOFER, propietario de la red de estaciones del tren, se vio imposibilitado a darles mantenimiento por lo que algunas fueron abandonadas y otras cedidas a diferentes grupos organizados quienes las utilizaron como locales comerciales. Gran parte de las vías férreas fueron destruidas.

Como una medida para proteger las estaciones, dado su valor histórico y arquitectónico, las más antiguas fueron declaradas patrimonio del país. La estación de tren de Heredia sufrió el mismo destino convirtiéndose en un mercado y negocios de comidas, usos de alto impacto que propiciaron modificaciones y aceleraron su deterioro.

A partir 8 de diciembre del año 2008 se reanudó el servicio de trenes en el Valle Central. Las estaciones de tren que habían sido abandonadas o con usos incompatibles volvieron a funcionar parcialmente, inicialmente en el estado en que se encontraban y paulatinamente han ido recobrando su esplendor. El servicio de trenes contribuye a agilizar el tráfico de personas, en un entorno de alta densidad vehicular, por lo que continúan habilitándose las estaciones en varios cantones del país.

1.3 Antecedentes del diseño del proyecto de restauración

El proyecto de restauración inicia con la conformación de un equipo interdisciplinario que incluyó a representantes de la institución propietaria del inmueble, el INCOFER, la Municipalidad de Heredia, con quien firmaron convenio para financiar la obra, el Centro de Patrimonio del Ministerio de Cultura y Juventud (MCJ) y un equipo de arquitectos e ingenieros, profesores del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), quienes realizaron la propuesta de diseño arquitectónica, estructural y electromecánica. Esta comisión valoró la propuesta, la cual fue aprobada y lanzada a concurso público para su ejecución.

El proyecto incluye la restauración de la antigua estación de bahareque y madera, así como la ampliación de áreas exteriores para adecuar nuevos andenes y áreas de espera.

2. EL RETO DEL PROYECTO DE RESTAURACIÓN DE LA ESTACIÓN DEL TREN DE HEREDIA

La restauración de bienes patrimoniales en Costa Rica representa un reto porque los estudios previos no logran establecer las condiciones reales de las edificaciones. Existen restricciones técnicas y económicas para realizar investigación, utilizar herramientas tecnológicas o calas en cada elemento del edificio y así conocer su estado real para establecer una valoración certera y un diseño adecuado. Ello genera una gran cantidad de imprevistos en la obra.

Las intervenciones, generalmente adjudicadas mediante concurso público, permiten poco margen de modificación por lo que algunos cambios importantes deben asumirse dentro del presupuesto ofertado.

En el caso de la Estación de Tren de Heredia, el reto principal consistió en lograr que se aprobara la sustitución del diseño estructural incluido en la contratación, por una alternativa menos invasiva y adecuada a los sistemas constructivos del inmueble, bahareque y madera.

Lograr el apoyo para analizar una construcción de bahareque y diseñar un reforzamiento estructural con un impacto mínimo a la estructura original, es un paso importante para poner en valor las estructuras antiguas y especialmente para la gran cantidad de casas y edificios en bahareque que existen en el país.

2.1 Propuesta de restauración incluida en planos

La propuesta arquitectónica cumple con los criterios de intervención en obras patrimoniales en cuanto a restablecer elementos con evidencia documental y utilizando técnicas tradicionales. Sin embargo, dado el estado de ruina de la edificación, existió dificultad de ingreso para verificar algunas características del inmueble como cimentaciones y estructura de paredes.

Se levantaron planos de estado actual de elementos arquitectónicos visibles, materiales y estado de deterioro, con los que se diseñó la propuesta de intervención, liberación de elementos añadidos a la estructura original y reconstitución de paredes, puertas y ventanas.

La propuesta estructural incluida en los planos de restauración está orientada a cumplir con el Código Sísmico de Costa Rica (CSCR, 2010)⁴. Consiste en marcos estructurales metálicos colocados en todo el perímetro interior del edificio y a ambos lados de todas las paredes internas, separados 30 cm de las paredes de bahareque y también de las de madera y contaban con arriostres en los centros de pared. Sobre ellos se deberían construir nuevas cerchas de techo, unidas por una cercha tipo americana colocada a todo lo largo del edificio.

⁴ Ley de la República que establece las pautas de construcción del país, principalmente en concreto armado y acero. Contiene un capítulo sobre construcciones en madera y prohíbe las construcciones en bahareque y adobe.

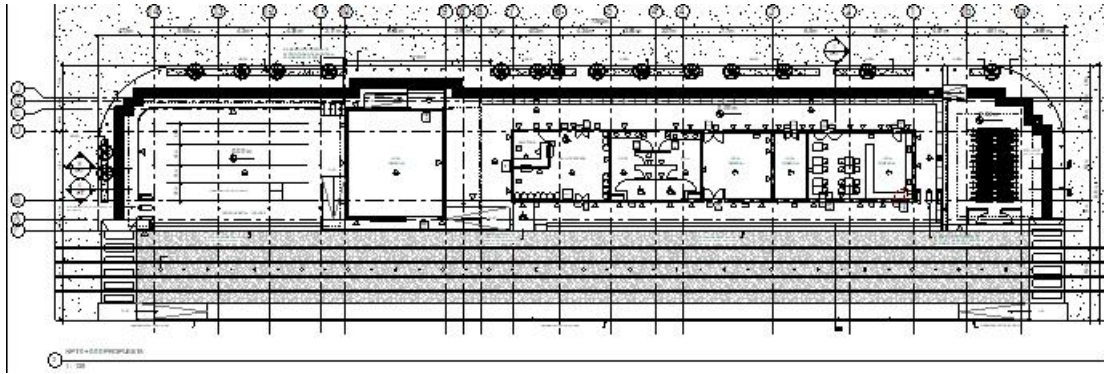


Figura 4. Planta arquitectónica propuesta (Municipalidad de Heredia, 2017)

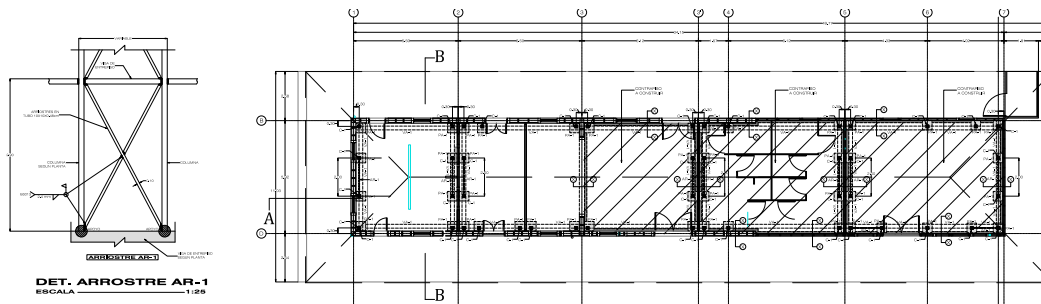


Figura 5. Propuesta estructural con marcos estructurales independientes a la estructura antigua. (Municipalidad de Heredia, 2017)

2.2 Análisis de la propuesta estructural incluida en planos

Desde el inicio de la obra se consideró que la propuesta estructural era inadecuada para la estación del tren al no cumplir con los criterios internacionales de restauración, así:

- Carece de investigación sobre el sistema constructivo a intervenir.
- La propuesta estructural no respeta la estructura original del bahareque. No se incluye ningún tipo de reforzamiento a las paredes originales, sino que establece una nueva estructura independiente que prevalece y deja en segundo plano al sistema constructivo original.
- La propuesta indica una intervención muy agresiva. La estructura metálica sobresale en todos los vértices y centros de pared distorsionando la lectura del espacio original.
- La solución estructural no es compatible con el sistema constructivo del bahareque. La estructura de bahareque y la propuesta de una nueva estructura de metal no tienen el mismo comportamiento ante un evento sísmico.

3. LA INTERVENCIÓN DE LA ESTACIÓN DEL TREN DE HEREDIA

3.1 Inicio de la investigación: liberación de elementos añadidos

La estación del tren de Heredia se encontraba en visible mal estado no solo por las intervenciones inadecuadas sufridas durante varios años de operación como mercado, sino también por el abandono de los últimos años.

La intervención inició con la liberación de elementos añadidos a la estructura original que se encontraban en paredes, cielos, pisos, puertas y ventanas. Se quitaron forros de paredes de láminas de metal y de paneles livianos, que recubrían las paredes de bahareque, de madera y metal. Se eliminaron gran cantidad de cortinas metálicas que habían destruido las puertas y ventanas originales. Los pisos originales de madera se encontraban bajo capas de concreto con enchapes cerámicos.

Como resultado se logró verificar el estado real de la edificación:

Paredes de bahareque seriamente dañadas: solera inferior colapsada por la humedad transmitida al estar inmersa en concreto, columnas de madera dañadas en sus bases, agrietamiento en paredes de barro, entramado de madera con pudrición, ataque de xilófagos y roedores.

Paredes de madera en excelente estado: Daños menores en la base de las paredes inmersas en concreto.

La estructura de techo en buen estado. No se observan ondulaciones en la cumbrera, ni desplazamientos o pandeos. No tiene caballete, aun así, la cumbrera se encuentra en excelente nivel.

Al remover todos los elementos no originales, se pudo establecer que el edificio consiste en dos secciones claramente divididas por un pasillo central, la sección de bahareque, de mayor tamaño y la sección de madera. Este pasillo había sido cerrado desde hace muchos años.



Figura 6. Estado inicial. Piso de concreto cubriendo estructura de madera propiciando daños en la base. (Crédito: M. B. Esquivel, 2018)



Figura 7. Pared de bahareque restaurada. recomposición de ventanas y revocos de tierra y cal. (Crédito: M. B. Esquivel, 2019)

3.2 El sistema estructural original de la estación del tren

Históricamente se han identificado dos épocas constructivas que corresponden a las secciones de bahareque (1873) y la de madera (1905). Ambas construcciones fueron unidas por una sola cubierta, separadas por un pasillo intermedio. Existe una gran bodega, una construcción independiente construida con estructura metálica en paredes y techo, compuesta por vigas en I muy parecidas a los rieles de ferrocarril, angulares y cerchas con tensoras metálicas. Se desconoce la fecha de construcción, pero por la configuración del conjunto y por un plano antiguo existente, se deduce que se trata de una construcción contemporánea a la sección de madera.

El conjunto de la estación de tren de Heredia muestra la sinergia de la construcción tradicional de la época y la influencia de la construcción en los Estados Unidos. Las características particulares encontradas son:

- a) Las paredes se encuentran suspendidas del suelo. El soporte inferior es una viga de madera de 15x15 cm, apoyada en basas de ladrillo de barro cocido de 60x60 cm separadas entre si cada 3 varas. Esta condición no es una característica usual para las paredes de bahareque, pero aporta una condición beneficiosa para las construcciones de tierra en un país tan lluvioso como Costa Rica: aísla las paredes de la humedad.
- b) La utilización de madera de pino amarillo del sur de los Estados Unidos, yellow pine (*Pinus elliotii*)⁵ en las secciones de bahareque y madera. Se utilizó desde la viga solera inferior, viga de piso, tablas de piso, tabloncillo de piso, columnas, viga solera superior,

⁵ Identificada certeramente por el ingeniero costarricense, especialista en maderas, Ing. Juan Tuk Durán

vigas tensoras, largueros de techo, cuerdas de amarre de largueros, cielo falso, tablas de forro de paredes, ventanas, puertas y guarniciones.

- c) El entramado de la sección de bahareque fue colocado en forma diagonal. La mayoría de las construcciones de bahareque en Costa Rica utilizan la caña de castilla o reglas de madera en posición horizontal, solamente las construcciones indígenas utilizan las varas de madera en forma vertical. La utilización del entramado en forma diagonal, en una dirección en la cara interna de la pared y en la dirección contraria en la cara externa de la pared, muestra la existencia de un criterio estructural más claro, sin embargo, se mantiene la colocación de trozos de teja entre el barro y las reglas de madera, una característica del bahareque costarricense.

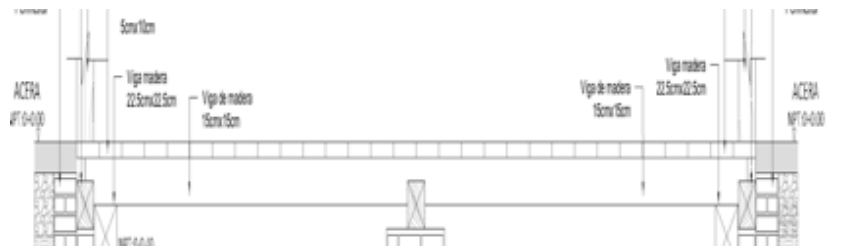


Figura 8. Sistema de fundación original elaborado con base en observación de vestigios.
(Crédito: M.B.Esquivel 2019)

3.3 Urgencia de una nueva propuesta estructural

Ante el estado de riesgo de colapso del edificio, y en espera de una propuesta estructural alternativa, se inició el reforzamiento de las paredes originales aplicando la experiencia en otras obras de bahareque y las recomendaciones de investigaciones realizadas por miembros de la red PROTERRA.

- Se realizó un estudio de suelos para constatar su resistencia y diseñar cimentaciones.
- Se mejoró la cimentación colocando placas aisladas de concreto intermedias entre las placas de ladrillo originales y aislando las soleras inferiores de madera.
- Se sustituyeron o injertaron las columnas y vigas dañadas por otras de las mismas dimensiones utilizando uniones con cavacotes y vaciados
- Se reforzaron las esquinas con piezas de madera amarrando las soleras superiores.

Sin embargo, para sustituir el reforzamiento en planos, fue necesario realizar una nueva consultoría para analizar la estructura existente y diseñar el reforzamiento. Se solicitó una memoria de cálculo en la que se constatará que cumple con los requerimientos de sismo resistencia establecidos en el Código Sísmico.

Se realizó contacto con ingenieros con amplia experiencia en la investigación de la madera y se logró realizar la nueva propuesta.

4. NUEVA PROPUESTA ESTRUCTURAL

La nueva propuesta original se logró a partir del análisis de la estructura de madera⁶. El análisis de la estructura determinó que el edificio no se ajusta a los criterios estructurales actuales; las estructuras antiguas no siguieron los mismos parámetros estructurales que se consideran óptimos hoy en día, por lo tanto, su análisis estructural es un campo especializado y complejo por lo que suele ser evadido por la mayoría de los ingenieros actuales.

⁶ El cálculo estructural y el diseño de la nueva propuesta fue realizada por el ingeniero MSc. Juan Tuk Durán y el Ing. Jonathan Fallas.

El análisis de la estructura original de madera concluyó que esta funciona como una unidad conformada por:

- Cimentación de basas de ladrillo sobre la cual se apoya la solera inferior de 15 cm x 15 cm la que sirve de base de la pared.
- Soleras inferiores se encuentran unidas transversalmente por los cadenillos del piso, piezas de 5 cm x 20 cm apoyados a media distancia por una pieza longitudinal de 15 cm x 15 cm apoyada en bases de ladrillo de tierra.
- Columnas de 15 cm x 15 cm colocadas a cada 2,50 m y en cada vano de puerta o ventana. Entre ellas se colocan piezas verticales de 5 cm x 15 cm colocadas a una distancia de 85 cm entre ellas. Adicionalmente en todas las esquinas hay piezas diagonales de 5 cm x 15 cm.
- Solera superior de 15 cm x 15 cm, apoyada en las columnas y enlazadas mediante cavacotes o vaciados a las soleras perpendiculares.
- Vigas tensoras de 17,5x17,5 cm unen las soleras superiores de las paredes paralelas, las cuales no modulaban con columnas ni artesonado, característico de la estructuración de esa época en Costa Rica.
- Largueros de techo de 7,5 cm x 12 cm sobre las soleras superiores, unidos por una viga collar de 2,5 cm x 12 cm formando un triángulo.
- Entramado reticulado diagonal de 1,2 cm x 3 cm a ambos lados de las columnas entre el cual se coloca el barro.

4.1 Análisis estructural

La información de este apartado corresponde a la memoria de cálculo de la nueva propuesta estructural, que cuenta con la siguiente introducción⁷:

La construcción con madera, bambú, y caña provee los elementos capaces de aportar resistencia a la tensión. Fuerza que se genera en todas las estructuras que fabricamos. La tierra, acondicionada con cementantes como la cal, savia de ciertas plantas y la compresión agregada en el proceso con o sin calor de cocción, permite cerrar paños o muros para la impermeabilidad, protección y privacidad de las obras así construidas.

Hasta hace un tiempo, los modelos físico-matemáticos para estimar la magnitud de las cargas en una estructura estaban basados en la trayectoria empírica del diseñador y constructor. Con el desarrollo de técnicas de investigación estadística, es posible asignar esfuerzos de diseño a materiales naturales (no producidos en procesos industriales cuya variabilidad es muy confiable). Con esos valores podemos usar modelos que si usamos valores mecánicos apropiados (por ejemplo, elasticidad, resistencia y cortante) y podremos calcular con gran confiabilidad la resistencia ante eventos de carga impuestos a la obra antes de que estos ocurran, ya sean vientos, terremotos o sobre cargas temporales. Es así como se analizó la estructura de la Estación de tren de Heredia. La memoria de cálculo que se presenta no está concebida para docencia, si no para ingenieros externos puedan seguir los cálculos realizados para poder continuar con la obra (MSc. Ing. Juan Tuk Durán).

⁷ Tuk Durán, J.; Fallas, J. (2019) Memoria de cálculo restauración Estación de Tren de Heredia. Documento de acceso restringido

Parámetros de diseño⁸**Propiedades de la madera**Madera de Pilón (*Hieronyma alchorneides*)

Grado estructural No 3

Módulo de elasticidad = 86500 kgf/cm²Módulo de ruptura y tensión = 77,8 kgf/cm²Fv cortante = 8 kgf/cm²Fc compresión paralela = 44,8 kgf/cm²

Peso específico básico = 0,518

Contenido de humedad de la madera final = 18%

Densidad madera a 18% = 611 kg/m³**Propiedades del bahareque**Peso compuesto¹ de madera 50% y tierra 50%
= 1200 kg/m³**Condiciones de carga - cubierta**Carga permanente (CP) = 6 kgf/m²Carga temporal (CT) = 40 kgf/m² (CSCR, 2010)**Parámetros para el análisis sísmico**

Tipo de suelo: S3

Zona: III

Aceleración efectiva: 0,36

Factor de importancia: 1

Factor de sobre resistencia: 2

Ductilidad global asignada: 3

Frecuencia: 1,17 segundos

Factor espectral dinámico: 0,9

Lo anterior para obtener un coeficiente sísmico: 0,162

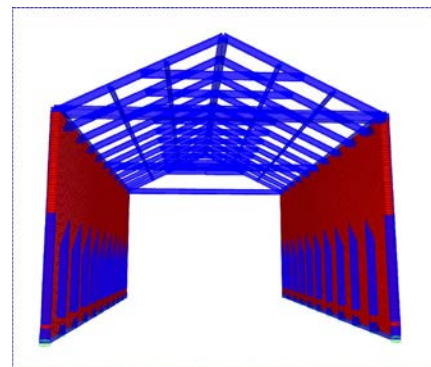


Figura 9. Modelo3D SAP2000

Deriva inelástica

La deriva inelástica máxima, según Tabla 7.2 del CSCR (2010), es 0,020. En este caso las derivas son las siguientes: Eje x = 0,002 , Eje y = 0,012

Revisión muro sección A

CPmuro = CP X altura muro = 1250×3,96 = 4950 kgf/ml

(CP + CT 40) cubierta = 176 kgf/ml

Total fundación = 5126 kgf/ml

Ancho placa = 90 cm (mínimo)

 $Q = 5126/1/0,9 = 5,7 \text{ tn/m}^2$ cumple $Q_0 = 10 \text{ tn/m}^2$ (CP + 0,1 CT) = 13 + 4 = 17 kgf/m²

Factor reducción proporcional = 17/48 = 0,35

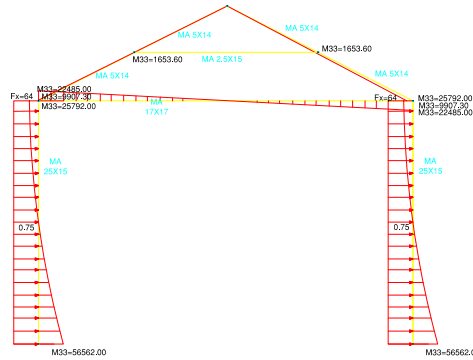
Empuje lateral en sismo de las cerchas =
 $0,35 \times 176 = 64 \text{ kgf}$ Ancho tributario de cerchas sobre viga corona al
marco = $64 \times 2,15 = 137 \text{ kgf}$ **Cargas en sismo**Concentrado en el apoyo de la cercha = 64 a
cada mlAncho tributario para marcos de análisis para
pared = $5 \times 0,43 = 2,15 \text{ m}$ (van 5 columnas de
5x15 @ 43 cm)Mas el empuje de la pared de bajareque =
 $2752 \times 0,26 = 715 \text{ kgf/ml}$ actuando en mitad altura
de pared = kg/cm $M_{\text{basal}} = 56562 \text{ kgf} \times \text{cm}$

En 5 secciones de 5x15 cm

 $M_{\text{nominal}} \text{ de } 12600 \times 5 = 63000 \text{ kgf} \times \text{cm}$ Sobre resistencia = $63000/56562 = 1,11$
(cumple pared con fijación a viga)

Momento basal equivalente = 56562 kgf×cm

⁸ Los parámetros de diseño fueron establecidos por los ingenieros MSc. Juan Tuk Durán y Jonathan Fallas en la memoria de cálculo presentada para la aprobación de la nueva propuesta de reforzamiento. Para el peso del bahareque se solicitó información a miembros de la red PROTERRA obteniendo respuesta del Ing. Julio Vargas y del ing. Patricio Cevallos.



Deriva en viga corona = Cargas aplicadas a marco virtual en sismo

Por ser una estructura de un nivel, las cargas temporales estarán sobre el suelo directamente sin afectar la estructura de cubierta, paredes ni entrepiso, se aplica el sistema de análisis estático. Además, se aplica una reducción de la carga temporal de cubierta de 0,1.

Determinación del peso de la estructura que carga sobre la pared

Peso cubierta CP + 0,1 CT = $(21,8 + 0,1 \times 40) = 25,8 \text{ kgf/m}^2$

Incluye sobre vuelos de techo de 1,5 m como aleros

$\omega_{\text{techo total}} / 1 \text{ ml} = 25,8 \times (6 + 3) = 232 \text{ kgf/ml}$

Ubicado en la solera de la pared

$\omega_{\text{pared de bajareque}} / \text{ml} = 1250 \times 3,96 = 4950 \text{ kgf/ml}$

Ancho tributario = 0,85

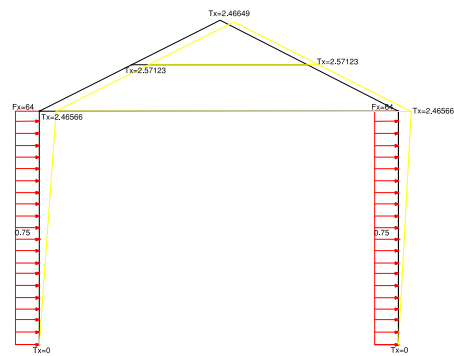
$\omega_y = 0,85 \times 4950 = 4200 \text{ kgf/m}$

$\omega_x = C \times \omega_{cp} = 0,26 \times 4200 = 1092 \text{ kgf/m}^2$

ω_x por acción sismo sobre la pared

Por empuje de cerchas con CP+CT40 = 216 kg/ml

Por carga permanente +ct disminuida = Derivas en sismo



Máxima deriva = 2,57 cm en unión viga collar - artesón

Permisible = $0,011 \times 391 = 4,3 \text{ cm}$

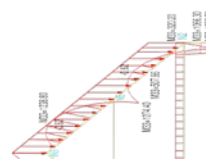
Cumple por deriva

M_{basal} actuante en sismo = $56562 \text{ kgf} \times \text{cm}$

Nota: ω = carga uniformemente distribuida

Revisión muro carga CP+CT

Al marco del muro no actúan las cargas de servicio de entrepiso.



$M_{\text{máximo}}$ en nudo 1 = $1386 \text{ kgf} \times \text{cm}$ entre 5 elementos = $277,2 \text{ kgf} \times \text{cm}$

Sección 5x14 $M_{\text{nominal}} = 15680 \text{ kgf} \times \text{cm}$. **Sobre resistencia = 56 ok**

Revisión unión basal

M_{basal} por columna = $56562/5 = 11312 \text{ kgf}\times\text{cm}$

Usar tornillos autoroscante RB de 10 mm en la unión columna viga solera 15x15 cm

Capacidad a tensión extractiva a 90° HBS 10 X 120 = 750 kgf

Angular 3x3x1/8" o 7,5 x 7,5 x 0,4 cm

Separación máxima de las fuerzas en los pines de anclaje = $(15+7,5) = 22,5 \text{ cm}$

Max = $22,5 \times 750 = 16875 \text{ kgf}\times\text{cm}$

Usar una fijación por cada 5 columnas de 5x15 cm o en el plano de cada viga tensora

Con 4 pines de varilla separados 25 cm = $(15+5+5)$

Momento al vuelco por sismo = 56561 kgf×cm

Tensión en varillas de brida = $56561/25 = 226 \text{ kgf}$
por ser dos U T varillas = 112 kg



Figura 10. Revisión unión al vuelco de viga solera basal

Revisión de unión brida a viga solera (sísmica)

Separación placas de concreto o ladrillo = 1,5 m

M_{actuante} en 2,15 m = 56562 kg×cm

M_{actuante} en 1,5 m = $56562/2,15 \times 1,5 = 3937 \text{ kg}\times\text{cm}$

Tensión en varillas de brida = $3937/20 = 196 \text{ kgf}$

Capacidad de carga perno 3/4" Q

La fijación de angular a la viga solera.

Usar Q por ser perpendicular al grano, madera dura = 860 kgf

Distancia al borde=mínimo 1,5 diámetro, usar 6 cm

Nº de pernos = $196/860 = 1,97$, usar 2 pernos

Muro sobre viga borde fundación

Separación apoyos = 150 cm,

Viga 15cmx15cm

$S_{xx} = 562 \text{ cm}^3$

$W_{\text{muro}} = 5,79 \text{ kg/cm}$

$M_{\text{max actuante}} = 16047 \text{ kgf}\times\text{cm}$

M_{nominal} viga 15x15 corrección por saturación verde

MOR a verde humedad = $69 \times 562 = 38778 \text{ kgf}\times\text{cm}$

sobre resistencia = 2,41

Nota: Ubicar unión de continuidad de piezas a 50 cm de apoyos o 1/3 de la longitud

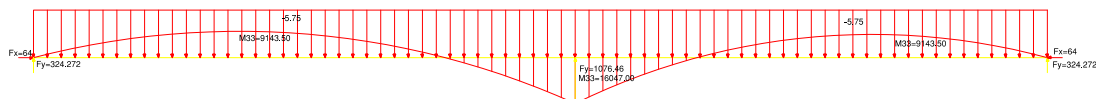


Figura 11. Muro sobre viga borde fundación (Fuente: Tuk y Fallas, 2019)

Fijación columnas a vigas solera y corona



Figura 12. Revisión de fijación columnas a viga solera y corona (Crédito: Tuk y Fallas, 2019).

Revisión unión cercha a viga solera



Figura 13. Unión viga solera a estructura de techo. (Crédito: Tuk y Fallas, 2019)

Tornillos de fijación columna – solera VGS 8x240
 $T = 800 \text{ kg}$

Factor por dureza de madera = 10% $T = 880 \text{ kg}$

Capacidad de extracción SNK 8X240 = $T = 800 \text{ kg}$

Separación fuerzas extractivas = $15-1-1 = 13 \text{ cm}$

$M_{\text{permisible}} = 880 \times 13 = 11440 \text{ kg} \times \text{cm}$

$M_{\text{actuante}} = 56562/5 = 11312 \text{ kg} \times \text{cm}$ cumple OK

Usar tornillo 8 mm por ser madera dura de pilón y estar los valores para pino de 380 kg/m^3 , se aplica un factor de 1,1

Ax en artesonado de cercha = 269 kg

1 tornillo HBS 9X300 madera-madera nominal = 417 kg

$F_{x \text{ actuante}} = 269 \text{ kg}$ Sobre resistencia = 1,93 cumple.

Esta solución aplica a ambos edificios A B

Se concluye que con el reforzamiento en las uniones se cumple con lo permitido por el Código Sísmico de Costa Rica.

4.2 Propuesta de reforzamiento

La propuesta de reforzamiento fue integral. Además de las sustituciones e injertos de maderas dañadas, por otras con las mismas dimensiones, se colocaron tornillos especiales para garantizar la unión entre las partes.

Se puso énfasis en evitar el volcamiento de las soleras inferiores, y reforzar las cimentaciones, dejando siempre el grado de flexibilidad de la estructura original.

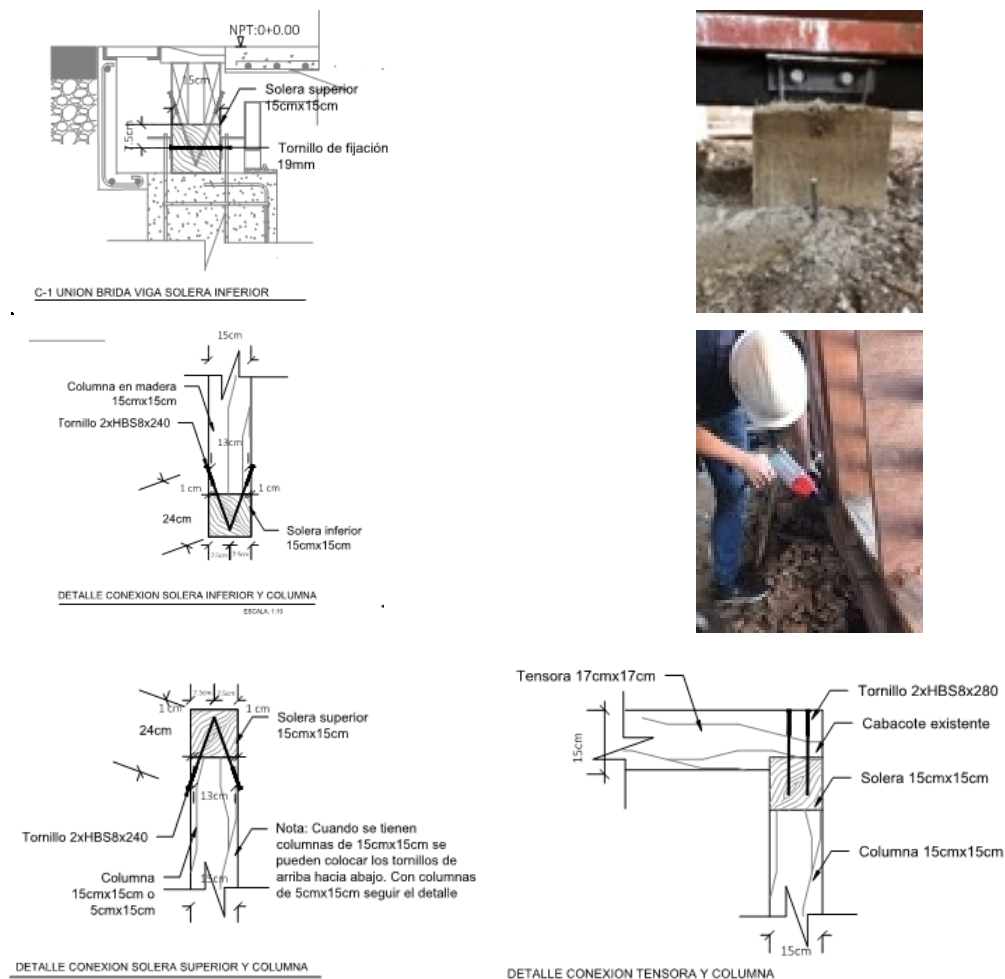


Figura 14. Detalles constructivos de los anclajes con tornillería especial Rothoblass según su uso

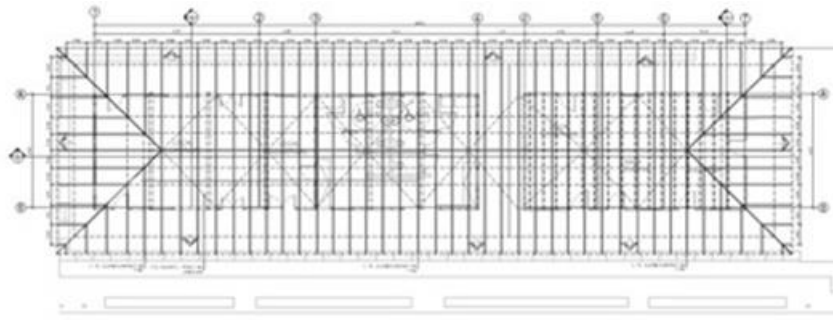


Figura 15. Refuerzo estructural de cubierta en madera mediante piezas de madera a nivel de cumbrera a soleras superiores para obtener resistencia ante fuerzas en sentido opuesto a los largueros de techo. (Crédito: M. B. Esquivel, 2019)

Se inició por los cimientos para disponer de apoyos más resistentes que los apoyos originales de ladrillo y que a la vez contribuyeran a soportar los anclajes anti-volcamiento de la solera inferior de madera. Los ingenieros calculistas especifican que “la nueva fijación del muro a la fundación se hace rigidizando las columnas a cada 43 cm (media vara) a la solera de madera de pilón de 15cm x 15cm unida con tornillos en “X” para tomar cortante y momento”.

Se atornillaron todas las uniones entre partes para lograr uniones resistentes a cargas sísmicas y mantener unidas las diferentes partes de la estructura. Se colocaron arriostres entre los largueros del techo para contar con resistencia en ambas direcciones.

Posterior al reforzamiento se colocó el entramado con reglas de madera de 1,2 cm por 3 cm. colocada en forma diagonal, alternando a cada lado de la pared, para llenar las paredes con el barro y la teja.

El llenado se realizó comprimiendo el barro, llenado de abajo hacia arriba, y colocando trozos de teja cocida en el barro ya compactado, colocada entre las filas del entramado diagonal, formando filas en una misma dirección, alternando con la dirección inversa en la siguiente fila. La teja tiene la función de sacar el aire restante del barro y a la vez, y además, contribuir al secado de las paredes al absorber humedad de la tierra. Una función por estudiar es la posibilidad de transmisión de cargas a través de las piezas del entramado. El proceso de llenado de las paredes se realizó con tierra caída de las paredes originales y tierra nueva escogida por sus proporciones de arcilla y procesada para lograr un barro homogéneo.

Posteriormente se colocó tabla en la fachada exterior y en el interior se aplicó una capa de revoco de barro, otra capa de barro, cal y arena y posteriormente una capa de revoco de cal y arena en proporción tres partes de arena y una de cal en pasta para concluir con acabado de pintura de cal.

El reforzamiento estructural aplicado a la intervención ha sido respetuoso con los valores de autenticidad e integridad de la estación de tren de Heredia. Se han logrado integrar criterios estructurales antiguos y actuales.

La presente intervención logra aportes importantes en la revelación de otros elementos del conjunto arquitectónico como son antiguas vías ferroviarias, empedrados originales, muros perimetrales de ladrillo cocido, graderías de piedra tallada, decorados en pintura de cal entre otros.



Figura 16. Fachadas terminadas. Fachada de bahareque cubierto con tabla en el exterior y gradería descubierta y fachada norte con pasillo central e iluminación (Crédito: M.B. Esquivel 2019)

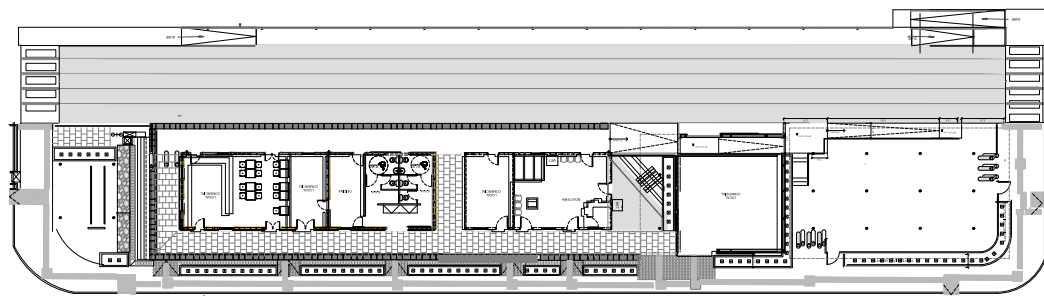


Figura 17. Plano definitivo diferenciando los tres sistemas constructivos



Figura 18. Sección de bahareque con forro exterior de tabla. Pared del pasillo central quedará con barro visto como testigo del sistema constructivo



Figura 19. Sección de madera dividida por pasillo central. Tabla Antigua vista como testigo del Sistema constructivo de madera



Figura 20. Testigos del sistema constructivo del bahareque dejados en diferentes paredes para mostrar las particularidades de la técnica original (Crédito: M.B. Esquivel 2019)

5, ANÁLISIS CRÍTICO

La intervención de la Estación del tren de Heredia marca un precedente importante para la restauración de estructuras de bahareque en el país ya que demuestra que es posible encontrar alternativas de reforzamiento que no afecten la integridad y autenticidad de un inmueble patrimonial.

Se hace urgente establecer procesos de formación de profesionales de todas las disciplinas involucradas en proyectos de restauración, sobre todo de construcciones en tierra, para que otros inmuebles no se vean amenazados con reforzamientos estructurales incompatibles.

La falta de investigación local sobre los sistemas constructivos en tierra dificultó que se realizara un análisis completo de la estructura de bahareque en su estado original, sin embargo, se realizó el análisis considerando las condiciones de la estructura de madera, sumándole el peso del relleno de tierra y se realizaron los cálculos en cada una de las partes de la estructura para diseñar las mejoras necesarias.

La intervención se realizó en un momento crítico ya que la estructura se encontraba al borde del colapso; requirió de una sustitución de maderas de un 70% aproximadamente lo que pudo haberse evitado si no se hubieran realizado intervenciones inadecuadas a lo largo de sus 140 años, sin embargo, el nivel de intervención realizado logró documentar completamente la singularidad del sistema de bahareque de este edificio, una muestra de la introducción de tecnología extranjera a finales del siglo XIX, la cual aporta conocimiento importante para la historia y la investigación de la arquitectura de tierra en el país.



Figura 21. Traslape de plano antiguo y plano actual en color, donde se muestra la sección de bahareque como la primera etapa de construcción. (Crédito: M.B. Esquivel, 2019)

5. CONSIDERACIONES FINALES

Los proyectos de restauración son en si mismos un reto. Intervenir edificios centenarios, edificados con técnicas y oficios tradicionales muchas veces discontinuados, sin afectar la autenticidad y la integridad del bien patrimonial es una tarea que debe mejorarse en el país.

En el caso de la estación del tren se logró sustituir el reforzamiento estructural en concreto y hierro, el cual dañaba la integridad del inmueble, por un reforzamiento estructural en madera, más acorde con la estructura del edificio gracias al esfuerzo de profesionales sensibles y abiertos a reconocer los valores de las estructuras antiguas, manteniéndolos e incorporando elementos con nueva tecnología.

Lograr que edificaciones históricas cumplan con normativas estructurales vigentes es posible. Las edificaciones de bahareque cuentan en si mismas con una estructura soportante en madera (rolliza o aserrada), de cañas, diversos tipos de bambúes u otros

materiales naturales, que, con los refuerzos adecuados en los puntos de anclaje, son capaces de cumplir con normas de sismo resistencia.

El reto de esta y otras intervenciones es contribuir a la investigación y avanzar en el proceso de eliminar la prohibición de construir con tierra en Costa Rica, incluido el bahareque.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abarca, C.; Salas, E.; Valverde, A. (2009) Forjadores de historia. Heredia: Editorial Forjadores. Disponible en https://issuu.com/brochuremultimedia/docs/forjadores_de_cr

CICPC (2003). Estación del ferrocarril de Heredia. Centro de Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural, Expediente administrativo. Disponible en <http://patrimonio.go.cr/busqueda/Inmueble.aspx>

CSCR (2010). Código Sísmico de Costa Rica. Ley de la República mediante Decreto N°. 37070 del Poder Ejecutivo-Mivah-Micit-Mopt. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Jiménez, J. (2010). Minor C. Keith, el Ferrocarril de Costa Rica y la United Fruit Company. Disponible en <https://historiacostarica.wordpress.com/2010/07/07/minor-keithel-ferrocarril-de-costa-rica-y-la-united-fruit-com/>

Ley 7555 (1995). Ley de Patrimonio Histórico Arquitectónico de Costa Rica. Asamblea Legislativa de Costa Rica.

Municipalidad de Heredia (2017). Planos de construcción estación de tren de Heredia junto Comisión institucional FUNDATEC/INCOFER/CICPC. Cartel de Licitación

Quesada Monge, R. (1983) Ferrocarriles y crecimiento económico: El caso de la Costa Rica Railway Company, 1871-1905. Anuario de Estudios Centroamericanos. Vol 9. Disponible en <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/anuario/article/view/3275>

Sáenz Cordero, M. (1911). Ferrocarriles de Costa Rica. Imprenta del Comercio.

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a los Ingenieros Juan Tuk Durán y Jonathan Fallas por su colaboración en demostrar que las estructuras históricas pueden adecuarse y cumplir con requerimientos sismo resistente abriendo paso a la investigación de la arquitectura de tierra en Costa Rica.

AUTORA

María Bernadette Esquivel Morales, maestra en conservación del patrimonio cultural para el desarrollo, especialista en gestión ambiental y ecoturismo, arquitecta, miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA, miembro de ICOMOS Internacional/ISCEAH e ICOMOS de Costa Rica, presidente de ADEPA Santo Domingo Cultural, restauradora de edificaciones patrimoniales, consultora en gestión del patrimonio y en Gestión Integral del Riesgo en el patrimonio cultural.