



Ingeniero Estructural
Asociado, Arup
Inglaterra
(sebastian.kaminski@
arup.com)

Revisión técnica de las viviendas de muros de corte de bambú compuestas construidas como parte del Proyecto Nacional del Bambú de Costa Rica

Sebastian Kaminski
Rafik Nizarali



Ingeniero Estructural
Independiente
Inglaterra
(rafiknizarali1997@
gmail.com)



El artículo presenta una revisión técnica de las viviendas con muros de corte de bambú compuesto (CBSW), construidas entre 1988 y 2000 dentro del Proyecto Nacional del Bambú de Costa Rica. La evaluación fue realizada en 2024 por ingenieros estructurales de Arup, consultora internacional de ingeniería, con el propósito de analizar el estado actual de las edificaciones y recoger las percepciones de sus ocupantes. Los resultados buscan aportar aprendizajes útiles para futuros diseños y proyectos de vivienda.

Los muros de corte de bambú compuesto (CBSW) representan una evolución del tradicional bahareque latinoamericano, combinando materiales vernáculos con técnicas constructivas modernas (**Figura 1**). Su estructura se basa en un armazón de madera o bambú de gran diámetro, sobre el cual se fija una matriz de caña brava; bambú de menor diámetro, listones aplanados o malla de acero expandido. Finalmente, los muros se recubren con una mezcla de cemento o cal, generando superficies sólidas y resistentes.

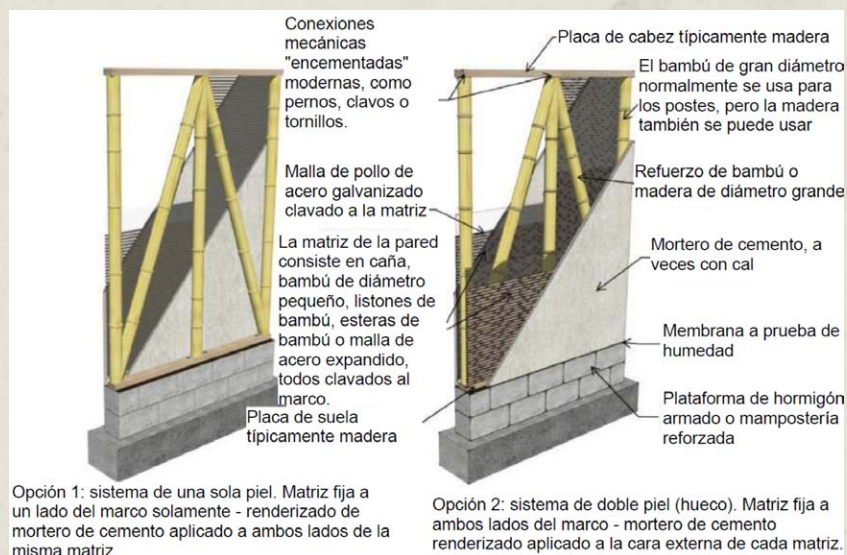


Figura 1. Detalles de muros de corte de viviendas modernas de CBSW.

En los últimos 37 años se han construido con éxito al menos 10 000 viviendas de una y dos plantas que utilizan CBSW modernas en varios países del mundo, como Costa Rica, Colombia, Nepal, Ecuador, Perú, México, El Salvador y Filipinas. Con un diseño y una construcción adecuados han demostrado su eficacia como vivienda asequible, resiliente a riesgos, baja en carbono y duradera. El sistema está incluido en varias normas nacionales de construcción (Colombia, Ecuador y Perú) y, además, en la norma ISO 22156-2016, un código internacional de diseño estructural de bambú. Actualmente se está trabajando para incorporarlo en los códigos de Filipinas, México y Nepal. Para más información sobre los diferentes estudios de caso de todo el mundo consulte [Kaminski et al. \(2023\)](#).

El Proyecto Nacional de Bambú (PNB) fue creado en 1986 con el objetivo de desarrollar e implementar viviendas construidas con bambú para comunidades de bajos ingresos en todo el país ([Gutiérrez, 2004](#)). Ante la ausencia de una tradición consolidada de construcción con bambú en Costa Rica, el proyecto recurrió a la transferencia de tec-

nología de diseño y cultivo proveniente de Colombia, basada en la técnica tradicional del bahareque cementado.

Los diseños aplicados en Costa Rica utilizaron madera dura naturalmente durable o bambú guadua tratado para la estructura principal. Las paredes se conformaron con una matriz de esterilla o caña brava recubierta con mortero de cemento y los techos se realizaron con láminas ligeras de hierro corrugado. Tanto la guadua como la caña brava y la esterilla fueron tratadas con boro para garantizar mayor resistencia y durabilidad frente a plagas.

Los planos estructurales y arquitectónicos originales se muestran en las **Figuras 2 y 3**. En total, hasta el año 2000 se construyeron alrededor de 5 400 viviendas unifamiliares económicas en diversas regiones del país. La **Figura 4** ilustra una vivienda en proceso de construcción,

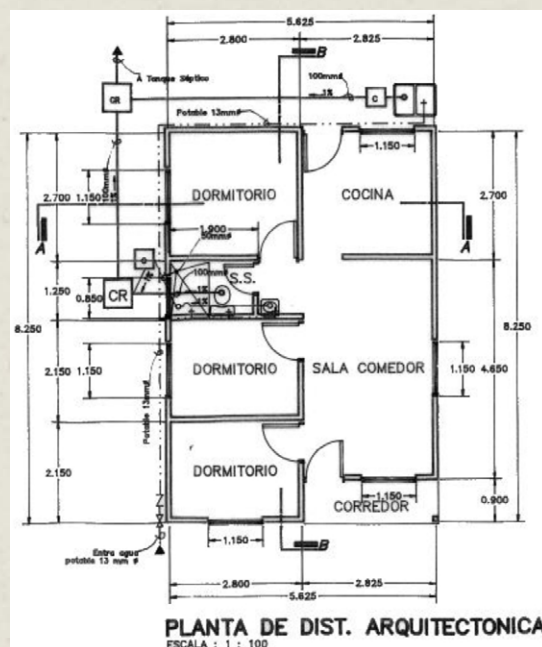


Figura 3. Plano de una casa típica del PNB (PNB, s. f.)

El mismo autor principal de esta revisión técnica realizó una revisión independiente de 26 de estas viviendas en 2012, es decir, entre 12 y 24 años después de su construcción. Esta revisión concluyó que la mayoría de las viviendas se encontraban en excelentes condiciones y eran lo suficientemente apreciadas por los beneficiarios como para haber cambiado muchas de sus ideas preconcebidas sobre la construcción con bambú. Puede encontrar más información sobre esta revisión en Kaminski (2012, 2013).

En la Universidad de Costa Rica se realizaron pruebas de muros en el plano a escala real para determinar su capacidad de corte para resistir viento y terremotos (Mendoza y Villalobos, 1990). La resistencia de estos muros se confirmó aún más cuando varias viviendas de nueva construcción sobrevivieron a un terremoto de magnitud Mw 7.8 en Limón en 1991, con intensidades locales de MMI de hasta IX (González y Gutiérrez, 2003).



Figura 4. Variación de estructura de madera y caña brava CBSW en construcción (PNB, s. f.)



Figura 6. Equipo para el inmunizado del bambú.

Como parte de la revisión técnica dentro de las observaciones generales se evaluó el estado de 13 viviendas con muros de corte de bambú compuesto (CBSW) en Costa Rica, todas construidas dentro del Proyecto Nacional de Bambú durante la década de 1990, por lo que presentan entre 25 y 35 años de antigüedad.

Las **Figuras 8 a 13** muestran las vistas externas de las viviendas inspeccionadas, mientras que las **Figuras 14 a 19** presentan sus vistas internas. Todas correspondían a viviendas unifamiliares, sin contacto estructural con otras



Figura 5. Casa CBSW terminada (PNB, s. f.)



Figura 7. Planta de difusión por inmersión (Liese *et al.*, 2002)

edificaciones, ubicadas en zonas semiurbanas y rurales del país. En la mayoría de los casos, las viviendas permanecían ocupadas por sus propietarios originales, quienes las habitan desde su construcción. Se registraron sólo dos excepciones: una vivienda comprada a un propietario anterior y otra alquilada. Los ocupantes tenían diversas ocupaciones, incluyendo agricultores, obreros, profesores, limpiadores y personas jubiladas.

El estudio evidenció que el nivel socioeconómico y educativo de las familias influía directamente en el estado de

conservación de las viviendas. Los hogares con mayores recursos tendían a realizar un mantenimiento más regular, lo

que repercutía positivamente tanto en la integridad estructural como en la apariencia estética de las edificaciones.



Figura 8. Vista externa de la casa CBSW.



Figura 9. Vista externa de la casa CBSW.



Figura 10. Vista externa de la casa CBSW.



Figura 11. Vista externa de la casa CBSW.



Figura 12. Vista externa de la casa CBSW.



Figura 13. Vista externa de la casa CBSW.



Figura 14. Vista interna de la casa CBSW: observe todo el techo de bambú.



Figura 15. Vista interna de la casa CBSW: observe el techo de caña de bambú dividida.



Figura 16. Vista interna de la casa CBSW: observe la madera maciza.



Figura 17. Vista interna de la casa CBSW.



Figura 18. Vista interna de la casa CBSW.



Figura 19. Vista interna de la casa CBSW.

Durante la revisión técnica se identificaron diversos aspectos no estructurales relevantes en las viviendas de muros de corte de bambú compuesto (CBSW).

Primero, en temas de cubiertas y mantenimiento se podría decir que aproximadamente la mitad de las viviendas evaluadas presentaban goteras en los techos, aunque muchas habían sido reparadas previamente. Se observó que los techos con mantenimiento y limpieza periódica mostraban un mejor desempeño y menor presencia de filtraciones. Las viviendas presentaban cubiertas de fibrocemento o chapa metálica, sin encontrarse correlación entre el tipo de material y la presencia de goteras.

Segundo, en cuanto a las modificaciones y ampliaciones, la mayoría de las casas no habían sido modificadas, salvo dos excepciones. En estos casos, las ampliaciones consistían en extensiones de techo apoyadas sobre puntales y, en un caso, una prolongación de muros mediante un sistema mixto de contrachapado y ladrillo. Dichas modificaciones no parecían diseñadas técnicamente, por lo que no se espera un buen comportamiento sísmico; sin embargo, su eventual falla no afectaría la estructura original de CBSW.

Tercero, en temas del comportamiento sísmico percibido, desde su construcción, los ocupantes reportaron haber experimentado alrededor de cinco sismos menores, sin daños significativos. Durante estos eventos, describieron la respuesta de sus viviendas con términos como “movimiento suave”, “balanceo” o “crujidos”,

indicando que, en general, se sintieron seguros dentro de sus casas.

En aspectos de confort y satisfacción, la mayoría de los ocupantes manifestó que su vivienda CBSW se adapta adecuadamente a sus necesidades familiares y espaciales. Algunos señalaron que desearían mayor tamaño, especialmente en hogares numerosos.

Como parte de las condiciones ambientales y presencia de plagas, los residentes consideraron que la temperatura interior es agradable durante todo el año. En zonas cálidas, algunos reportaron exceso de calor, pero no se registraron quejas por bajas temperaturas. Se observó la presencia de alimañas, principalmente ratas y cucarachas, además de hormigas, mosquitos y murciélagos.

En cuanto a la percepción del sistema constructivo, las opiniones sobre las viviendas CBSW fueron diversas. Esto, porque los ocupantes de casas en mal estado mostraron preferencia por otros materiales constructivos. Entre las viviendas en buen estado, la mitad de los ocupantes prefería otros sistemas percibidos como más duraderos y seguros, mientras que la otra mitad expresó orgullo y apego emocional a sus hogares de bambú, valorando su estética, seguridad sísmica y comodidad.

Con el tiempo, muchos habitantes afirmaron haber cambiado su percepción sobre el bambú: inicialmente lo consideraban un material poco duradero, pero tras años de uso se mostraron impresionados por su resistencia y calidad. Describieron sus casas como “hermosas”, “modernas” y “prácticas”.

Por otra parte, el estado estructural de las viviendas con muros de corte de bambú compuesto (CBSW) fue satisfactorio, destacando la buena condición de los ci-mientos en todos los casos. No se observaron daños estructurales visibles, aunque se detectó erosión del suelo alrededor de las zapatas perimetrales de hormigón, un fenómeno esperado considerando la anti-güedad y las condiciones de exposición de las viviendas.

Los muros estructurales se encontraban en buen estado general, excepto en algunas viviendas de la comunidad de Río Banano, Limón, donde se identificaron daños significativos (**Figuras 20 y 21**). En el resto de las viviendas, se observaron únicamente grietas finas en muros internos y externos, atribuibles a la expansión y contracción del mortero de cemento o a los movimientos sísmicos experimentados desde su construcción. Algunos ocupantes confirmaron que estas grietas aparecieron tras los terremotos.

También se registraron pequeños desprendimientos de mortero, probablemente

asociados a una mezcla deficiente durante la construcción y a la humedad por lluvias o inundaciones. Se constató que el pintado periódico de los muros ayuda a mantener mejor su integridad y apariencia.

En las viviendas de Río Banano, las paredes estructurales presentaban degradación severa debido a ataques de termitas y pudrición de la madera, especialmente en montantes y placas de base. En varios casos, estos elementos estaban totalmente deteriorados, lo cual se asocia al uso de albura (menos durable) en lugar de duramen y a las frecuentes inundaciones de la zona. Algunos ocupantes reemplazaron los elementos dañados por nuevos montantes de madera o incluso de acero.

Asimismo, en estas viviendas se observó una mayor incidencia de grietas y podredumbre del bambú expuesto a la lluvia o a filtraciones en el techo (**Figura 22**). Las paredes y áreas sin mantenimiento, especialmente aquellas sin pintura ni limpieza periódica, mostraban signos de humedad y acumulación de tierra (**Figura 23**).



Figura 20. Montantes de madera y placa de base completamente descompuestos por termitas.



Figura 21. Cercha de techo de madera retrasada por termitas.



Figura 22. Caña de bambú podrido donde estuvo expuesto a la lluvia.

En síntesis, el PNB en Costa Rica representó un hito en la arquitectura sostenible al producir las primeras viviendas modernas del mundo con muros de corte de bambú compuesto (CBSW). Este proyecto y la investigación asociada aportaron avances significativos al conocimiento internacional sobre el uso del bambú y la caña brava en la construcción, particularmente en lo referente a ensayos sísmicos, tratamientos de preservación y técnicas de prefabricación. Además, demostró que la construcción a gran escala de viviendas de este tipo era viable y de calidad consistente.

A 25–35 años de su construcción, los resultados de la revisión técnica fueron similares a los obtenidos en 2012, confirmando el buen desempeño y aceptación de las viviendas en la mayoría de las comunidades. En general, los habitantes mantenían una percepción positiva, y muchos reconocieron haber cambiado su opinión sobre el bambú, al comprobar su durabilidad y confort a lo largo del tiempo.



Figura 23. Cara externa del muro CBSW sin mantenimiento, mostrando evidencia de humedad

El bambú se encontró en excelentes condiciones en casi todas las viviendas, lo que demuestra la efectividad del tratamiento con boro aplicado mediante difusión por inmersión y método Bouche-rie modificado. Esta combinación resultó exitosa para proteger el material frente a termitas y escarabajos. Asimismo, el diseño evitó la exposición directa del bambú a la lluvia torrencial, confirmando los beneficios del enfoque de “durabilidad por diseño”. Solo se observó podredumbre localizada en piezas que sobresalían más allá del alero del techo.

El mantenimiento regular se identificó como clave para la conservación. Los techos, que tendían a presentar goteras tras 5 a 10 años, requerían reemplazo periódico de láminas, mientras que las paredes necesitaban repintado regular para reducir la absorción de humedad.

La comunidad de Río Banano (Límon), ya señalada en la revisión de 2012, mostró nuevamente problemas severos de termitas y pudrición en la madera, atribuibles al uso de albura en lugar de

duramen y a la frecuente exposición a inundaciones. Estos daños no afectaron el bambú, pero evidencian la necesidad de una selección más cuidadosa de la madera y de evitar la construcción en zonas inundables.

En conclusión, la revisión reafirma que el sistema CBSW constituye una solución constructiva sostenible y de bajo carbono, con excelente resistencia, ductilidad y durabilidad, cumpliendo con los estándares estructurales actuales. Su implementación demuestra un alto potencial para la vivienda asequible en países de ingresos bajos y medios, especialmente en regiones sísmicamente activas donde el bambú crece de forma natural.

Agradecimientos

Este viaje fue posible gracias a la Universidad Nacional de Costa Rica y, especialmente, a Marilyn Rojas Vargas, Michael Córdoba Alvarado, Luhana Marchena, quienes brindaron la organización, el transporte, la asesoría y el apoyo técnico necesarios para que este viaje fuera posible. Agradecemos también a Mauricio Cárdenas y Verónica María Correa Giraldo por acompañarnos en este viaje y por sus valiosos aportes.

Referencias

- Gonzalez, G. y Gutiérrez, J. (2003). *Cyclic Load Testing of Bamboo Bahareque Shear Walls for housing protection in Earthquake Prone Areas*. Internal report. Materials and Structural Models National Laboratory, School of Civil Engineering, University of Costa Rica.
- Gutiérrez, J. (2004). Notes on the seismic adequacy of vernacular buildings. In: *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, Canada. Paper No. 5011. https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_5011.pdf
- Kaminski, S. (2012). *Engineered bamboo houses for low-income communities in Latin America*. IStructE Educational Trust Pai Lin Li Travel Award 2011-2012 Report. IStructE.
- Kaminski S. (2013). Engineered Bamboo Houses for Low-Income Communities in Latin America. In: *The Structural Engineer*, October 2013, 14-23. https://www.researchgate.net/publication/282701710_Engineered_bamboo_houses_for_low-income_communities_in_Latin_America
- Kaminski S., Lopez L., Trujillo D., Escamilla E., Correa-Giraldo V. y Correal Daza, J. (2023). Composite bamboo shear walls – a shear wall system for affordable and sustainable housing in tropical developing countries. In: *SECED 2023 Conference*, September 2023, Cambridge, UK. https://www.researchgate.net/publication/374144998_Composite_bamboo_shear_walls_-_A_shear_wall_system_for_affordable_and_sustainable_housing_in_tropical_developing_countries
- Mendoza H., Villalobos C. (1990). *Capacidad Estructural de Paneles de Bambú* [Proyecto de graduación]. Universidad de Costa Rica
- Liese, W., Gutiérrez, J. y González, G. (2002). Preservation of Bamboo for the Construction of Houses for Low Income People. *Bamboo for Sustainable Development*, pp. 481-494.
- PNB (s. f.). *Drawings and archive material*. Costa Rica, PNB.