

Guadua caña brava embutida en hormigón como elemento estructural horizontal para vivienda urbana sustentable

Guadua caña brava embedded in concrete as a horizontal structural element for sustainable urban housing

EÍDOS N°22
Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo
ISSN: 1390-5007
revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos

¹Carmen Eloísa González Moya, ²Milton Eduardo Vásconez Mideros

¹Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad UTE, Quito, Ecuador,
cgonzalez_moya3@hotmail.com, ORCID: 0009-0008-5285-4637,

²Buró Arquitectura V&G, miltonvas_dis@yahoo.es, 0009-0002-6039-9597

Resumen:

El presente estudio expone resultados de la construcción de una losa monolítica, unidireccional y simplemente apoyada, utilizando la guadua caña brava rolliza embutida en el concreto como elemento estructural y de alivianamiento, conjuntamente con los componentes estructurales de refuerzo, combinación de anclajes y empotramientos de viga-losa, para el diseño de viviendas urbanas de zonas cálidas. Bajo el enfoque cualitativo y alcance exploratorio-descriptivo este trabajo procura determinar que las características de la guadua caña brava rolliza permiten la construcción de dichos elementos estructurales para losas de cubierta y entrepisos de viviendas urbanas, a diferencia de otras investigaciones que incursionan en el montaje de prefabricados, vigas y losas de concreto reforzadas con medios tallos o latillas de guadua, supeditadas a costosos tratamientos de emulsiones, lubricantes y soluciones impermeabilizantes. Los resultados de la investigación corroboran que una losa con guadua caña brava como elemento estructural es sustentable en términos de adecuación a disposiciones técnicas de carácter urbano, de fácil transferencia técnica y tecnológica, eficaz para el mejoramiento de tiempos en procesos constructivos, que actúa como alternativa constructiva para la producción social de vivienda y otorga ventaja financiera en la construcción porque regula la inversión con un sistema eficiente y de bajo costo. Por otro lado, admite innovaciones a nivel de diseño arquitectónico, funciona como mecanismo de control energético y acústico, permitiendo la construcción de vivienda progresiva o de variación de su superficie útil inicial en función de las necesidades del usuario.

Palabras clave: cables trenzados de caña guadua, guadua caña brava, mallas de control de dilatación, sistema estructural, técnica constructiva, vivienda sustentable.

Abstract:

The present study exposes the results of the construction of a monolithic, unidirectional and simply supported slab, using the plump guadua caña brava embedded in the concrete as a structural and lightening element, together with the structural reinforcement components, combination of anchors and beam embedments. -slab, for the design of urban housing in warm areas. Under the qualitative approach and exploratory-descriptive scope, this work seeks to determine that the characteristics of the plump guadua caña brava allow the construction of said structural elements for roof slabs and mezzanines of urban houses, unlike other investigations that venture into the assembly of prefabricated, beams and concrete slabs reinforced with half stems or guadua latillas, subject to expensive treatments of emulsions, lubricants and waterproofing solutions. The results of the investigation corroborate that a slab with cane brava guadua as a structural element is sustainable in terms of adaptation to urban technical provisions, easy technical and technological transfer, effective for improving times in construction processes, which acts as an alternative construction for the social production of housing and grants financial advantage in construction regulates investment with an efficient and low-cost system. On the other hand, it admits innovations at the level of architectural design, it works as an energy and acoustic control mechanism, and it allows the construction of housing progressively or to vary its initial useful surface depending on the needs of the user.

Keywords: construction technique, expansion control tights, guadua cane braided cables, guadua cane brava, structural system, sustainable housing.

1. INTRODUCCIÓN

Si bien el uso de la guadua en la construcción se remonta a experimentos que datan de 1914 realizados por H.K. Chou en Massachusetts del Institute of Technology, en Estados Unidos; a las investigaciones de K. Datta en la Technische Hochschule de Alemania en 1935; y posteriormente a los estudios de la Jefatura de Conservación de Whangpoo de China, con la construcción de concreto reforzado con bambú, en la segunda década del siglo XX (González, 2001), el boom de la utilización de la guadua en la construcción en nuestro país irrumpe con ímpetu en los años 90 del siglo XX, en un afán por realizar viviendas de interés social y la búsqueda de tecnologías alternativas.

A partir de entonces, diversos organismos internacionales multilaterales llenaron los espacios de promoción y uso del bambú. Desde los marcos mundiales del sistema de las Naciones Unidas como FIDA, PNUMA, FAO, UNOSSC, ONU-Habitat y FDIP (Junta de Desarrollo Industrial, 2021); hasta las entidades más próximas como el Proyecto CEELA impulsado por COSUDE (Confederación Suiza y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación), que opera en torno al concepto de construcciones sustentables en Ecuador, Perú, Colombia y México (Proyecto CEELA, 2023); IMBAR, del cual Ecuador es miembro junto a 49 países del Sur Global; INECOL de México (Organización Internacional del Bambú y el Ratán IMBAR, 2023) y la Fundación Raíz Ecuador con el proyecto Caemba (Casitas Emergentes de Bambú), nacida a raíz del terremoto de abril 2016 en la provincia de Esmeraldas.

Todos ellos fijaron metas para generar y transferir conocimiento científico y tecnológico de frontera sobre ecología y diversidad biológica, en beneficio de la sociedad, entablar diálogos de alto nivel en torno al desarrollo industrial de la guadua, la producción sostenible de vivienda, construcciones resistentes a desastres, mitigación y adaptación al cambio climático, innovación y desarrollo de mercado.

En el año 2016, debido al alto riesgo de vulnerabilidad sísmica que presentaba el país, es formulado el capítulo “Estructura de Guadua GaK”

en las normas NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción), referenciada en la Norma Técnica E-100 de Perú y la Norma Sismo Resistente NSR-10 de Colombia, dirigida a normalizar el diseño estructural de edificaciones empleando la Guadua angustifolia Kunth y otras similares en la construcción.

La arquitectura alternativa, ecológica o bioarquitectura contemporánea encontró en el uso de la guadua su justificación, por lo que transitó de las investigaciones y estudios específicos sobre sus propiedades a la exploración e innovación de las prácticas tradicionales y ancestrales de uso del bambú endémico, convirtiéndola en protagonista de una amplia gama de productos para la construcción y sistemas constructivos con diferentes técnicas, tecnologías y nombres comerciales.

En la actualidad, las aplicaciones más sobresalientes de la guadua como elemento estructural son susceptibles de clasificación, tomando como base la técnica que emplean. Ellas son:

- Edificaciones de caña guadua con técnicas ancestrales. Se refiere al empleo de caña guadua picada con quincha, cubierta de cade (hoja de palma de tagua), o el bahareque con caña entretejida y barro unidos a pilotes estructurales de madera. Aborda desde la fábrica de mano con procesos mejorados de ascendencia fundamentalmente vernácula, hasta la construcción normalizada. En este campo, son apreciables los aportes generados en los Simposios Internacionales del Bambú y la Guadua en Colombia entorno a modelos de construcción con la participación de mano de obra local (Hernández y Torres, 2020).

- Utilización de la guadua como soporte externo de losetas y cubiertas. Esta técnica aplicada a losetas prefabricadas incorpora elementos metálicos a la caña rolliza anclándolos a sus extremos; es utilizada externamente para sostener al elemento rígido de entrepiso o cubierta, por lo que requiere ser protegida del sol y de la lluvia para conservar sus propiedades. Este sistema resalta la cualidad tectónica de la articulación y su nombre comercial es “bambulosa” (Organización Internacional del Bambú y el Ratán IMBAR, 2023).

- Sistematización e industrialización de procesos para la construcción de prefabricados de bambú. Esta técnica está relacionada a la construcción de modulares prefabricados utilizando la guadua como alivianamiento y refuerzo de paneles. Es comercializada como biopaneles o bamboowall, por sus características es un bahareque (KALTIA, 2023). Esta práctica consta en varios reglamentos constructivos como estructuras ligeras.

- Manejo del concreto reforzado con tablillas de guadua en reemplazo del acero. Es la técnica más antigua y su práctica se remonta a experimentos realizados en 1914 en Estados Unidos y en 1918 en China basados en ensayos mecánicos de 220 muestras. Su nombre es acuñado como bambucreto en 2001 por (González, 2001). En este estudio, la guadua GaK es seccionada longitudinalmente y utilizada como tablillas amarradas con estribos de acero de Ø 4 mm y concreto para reforzar vigas y losas, utilizando tallos de bambú maduro y curado.

Una vez revisado el estado del arte entorno al uso de la caña guadua, se advierte que la regularidad del manejo seccionado de la caña, desaprovecha la cualidad estructural que posee la caña rolliza y la convierte en diferentes elementos de refuerzos de otros sistemas; tampoco son diferenciadas otras especies de guadua que coexisten junto a la GaK y que tienen mejores prestaciones como la guadua caña brava. Es por esto que la presente investigación recurre a un estudio exploratorio de familiarización con la materia prima y tecnología de armado de losa con caña guadua brava rolliza embutida en hormigón como elemento estructural.

2. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

El presente trabajo de tipo cualitativo y alcance exploratorio-descriptivo aplica un método de recolección de datos estructurado en dos sentidos: la fase de inmersión en el trabajo de campo donde se describe la manera en que se tiene acceso a la materia prima, selección y acopio de diversos materiales, hasta la producción de cada componente estructural; y la segunda, organizada con

datos visuales, experiencias personales, comportamientos y prácticas recurrentes que contextualizan la tecnología planteada. A medida que es reconstruida la realidad observada, son analizados los procesos y conceptualizados.

La práctica se efectuó en el área urbana de la ciudad de Quinindé ubicada al norte de la Región Costa en la provincia de Esmeraldas, en las coordenadas 0°20'N 79°29'O, de clima cálido húmedo que va de 23 °C a 35 °C, con una humedad relativa que va del 72 % al 92 %. (Meteored, 2023). Su población urbana es de 28 928 habitantes (GAD Municipal Quinindé, 2015).

En la parroquia urbana y cabecera cantonal Rosa Zárate de Quinindé, la percepción del clima es de dos temporadas: la más húmeda y la menos húmeda. La primera corresponde a 10 meses, de septiembre a agosto, tiene un promedio de lluvias torrenciales de 22 días por mes, que también son los más calurosos, con una sensación térmica que va de bochornoso a insoportable (Meteored, 2023); marzo tiene 31 días bochornosos y en febrero llueve 276 mm. Agosto es el mes menos húmedo con precipitaciones de 21 mm durante 3 o 4 días del mes; septiembre tiene menos días bochornosos (21 días) (Weather Spark, 2023). La precipitación media anual se encuentra en el orden de 1500 mm a 3200 mm (GAD Municipal Quinindé, 2015).

Esta situación vuelve a su población proclive a enfermedades de importancia epidemiológica como dengue, paludismo, gastrointestinales y dérmicas. La presencia de plagas invernales, la humedad ambiental y las altas temperaturas son los retos a enfrentar al momento de proponer el diseño de vivienda sustentable para esta localidad.

Frente a la crudeza del clima, las soluciones constructivo-habitacionales han evolucionado de casas elaboradas con guadua y técnicas ancestrales, hasta viviendas con paredes de bloque o ladrillo y techos de zinc. No obstante, este tipo de cubierta metálica magnificó las altas temperaturas dentro de la vivienda, así como las deficiencias acústicas y el deterioro por corrosión.

El anhelo de una casa fresca y ventilada elevó la demanda de entrepisos y cubiertas de hormigón armado. Pero el espacio doméstico se vio afectado nuevamente por el comportamiento térmico del hierro como excelente conductor del calor (80.2 W/mK) (Del Moral y Rodríguez, 2023), por lo cual una losa de cubierta transmite durante la noche el calor que recibe en el día, afectando el microclima de la vivienda. Además, este tipo de construcción amplificó la dependencia a artefactos de enfriamiento artificial, con elevados costos por requerimiento de electricidad.

Frente a estos retos, el presente trabajo enfocó la utilización de la guadua “caña brava” de crecimiento endémico en la localidad, por sus excelentes características físico-mecánicas como elemento estructural; y el manejo del hormigón como el elemento significativo de vivienda evolucionada, moderna, progresiva y energéticamente eficiente. De esta alianza nace el sistema de losa con guadua caña brava embutida en hormigón como elemento estructural horizontal para vivienda urbana sustentable de zonas cálidas.

De acuerdo al concepto de arquitectura sustentable para zonas climáticas cálidas de Latinoamérica propuesto por el Proyecto CEELA Ecuador (Proyecto CEELA, 2023), dicha sostenibilidad se sustenta en 15 criterios EECA (Eficiencia Energética y Confort Adaptativo), nueve de ellos referidos a principios de diseño y construcción mediante el aislamiento térmico de envolventes y seis de carácter técnico para el control de temperatura, humedad, calidad del aire, ruido e iluminación.

La tecnología seleccionada respalda el principio concerniente al aislamiento térmico de cubierta y entepiso de una vivienda para el control de la radiación solar directa. En los procesos se incorpora estándares Minergie (Minergie, 2023) tales como el aprovechamiento de la experiencia local, método simple de construir, construcción durable y adaptable (a normas, tipos de clima, trabajadores locales).

El armado de la losa con caña guadua embutida consideró 4 elementos

estructurales: mallas de guadua para control de dilatación superior e inferior, la caña brava rolliza madura (sin acondicionamiento químico), cables de guadua trenzados unidireccionales y perpendiculares a la caña rolliza.

La malla de guadua para control de dilatación tiene la suficiente rigidez para ser usada en estructuras secundarias, por lo cual es ubicada arriba y abajo de la caña rolliza para evitar rajaduras y posteriores filtraciones.

Los cables trenzados de bambú utilizados para mejorar la dureza de la losa, ofrecen una resistencia similar al acero (2500 kgf/cm²), cuyo peso sin embargo, es 97 % menor que el del acero (González, 2001).

El proceso constructivo de losa con caña embebida en el hormigón para vivienda urbana fue el siguiente:

- Selección y acopio de guadua a utilizar en la fundición de losa.
- Producción (características y forma) de cada componente estructural para la losa.
- Ubicación de anclajes y sujeción de cada componente estructural e instalaciones en la losa.
- Preparación del hormigón y uso de aditivos.
- Vertido del hormigón en la losa.

Selección y acopio de guadua a utilizar en la fundición de losa.

La identificación y selección de la guadua para la construcción de la losa fue primordial, debido a que en Ecuador existen 44 especies endémicas de guadua y 11 más introducidas en el territorio nacional. En el cantón Quinindé prolifera dos tipo de guaduales o “manchas de caña” que van desde los 80 a los 300 ms. n. m.

Si bien, la más conocida es la guadua *Angustifolia* Kunth identificada como “caña mansa” por cañicultores y trabajadores de la construcción de diversas zonas del litoral ecuatoriano, no es menos cierto que

existe otra especie conocida como “caña brava” o “uña de gato” con características análogas a la *Guadua Aculeata*, variedad nativa de México estudiada por (Zaragoza, Borja, Zamudio, Ordóñez y Bárcenas, 2014). El conocimiento ancestral sobre este tipo de guadua que domina el trabajador y proveedores del sector, tuvo transcendental importancia para identificar las diferencias del material estructural a emplear.

De esta manera, fueron seleccionadas aquellas cañas con culmos más robustos en relación al largo y densidad de fibras, entrenudos huecos de 20 a 30 cm, paredes de 2 cm de espesor en base y 1.5 en la sección más regular. La “caña brava” llega a medir hasta 25 m de altura y 25 cm de diámetro en su base (pata), todo lo cual le concede mejores características anatómicas y propiedades físico-mecánicas para ser utilizada en la construcción. En la mancha de caña es observada con grandes espinas en forma de gancho de gran tamaño en nudos y tallo, de ahí su segundo nombre de “guadua uña de gato”.

Las características que la diferencian de otras especies son: su color verde oscuro en entrenudos, con bandas de pelo blanco en la región del nudo, más robusta comparada con guaduas de la misma edad de la especie *angustifolia* Kunth (GaK), nudos más prominentes a medida que alcanza su madurez y sin las manchas blancas en los culmos como en la GaK madura.

Este guadua alcanza las mayores dimensiones de todos los bambúes que se desarrollan en el país y se encuentra en extensas áreas de la provincia de Esmeraldas sin mayor documentación de la superficie precisa, con particulares características de doble productividad por su densidad de 3000 a 8000 tallos por hectárea (Zaragoza, Borja, Zamudio, Ordóñez y Bárcenas, 2014) y un ciclo de crecimiento acelerado. Sin embargo, no hay mayores aportes al conocimiento de esta especie en el país.

En el mercado internacional de la región, la venta de guadua está asociada a estándares de calidad ofertada en los portafolios de servicios y productos de empresas proveedoras. Las clasifican

en relación con la especie, tipo de inmunización y preservación utilizada, presentaciones, tipo de corte según la fase lunar y avinagramamiento (tripe A, doble A y A), punto de maduración y estado fitosanitario. El precio está dado por metro lineal según su diámetro y longitud comerciales. En el mercado nacional la oferta está circunscrita a la guadua sin tratar y puesta en obra a USD 1 el metro lineal y con tratamiento USD 1.50.

La compra de guadua en el lugar de realización de la práctica se concentró en el contacto con el proveedor y dueño de la plantación, donde fue comercializada al natural y sin preservación alguna. Una vez en la obra se procedió a su colocación en forma vertical para el secado al ambiente en un sitio ventilado, durante 15 días previos a su utilización.

La segunda selección de la guadua fue realizada en obra para clasificarla, según la función a desempeñar: caña brava para losa, cables trenzados, esterillas para encofrados y latillas para mallas de control de dilatación. Caña mansa para puntales y esterillas (figura 1).

A partir del módulo de diseño de 3 m x 3 m, se diseñó una losa de 81 m². Por su armado en una sola dirección se empleó en los 9 m de lado 36 unidades de caña brava rolliza. Si empleamos dos cañas por m² para mallas de dilatación superior e inferior y una para cables trenzados por m², se requerirán 18 unidades para mallas y 9 unidades para cables. En total fueron empleadas 63 cañas bravas estructurales para una losa de 81 m², además de 27 unidades de caña mansa para puntales y 45 para esterillas.

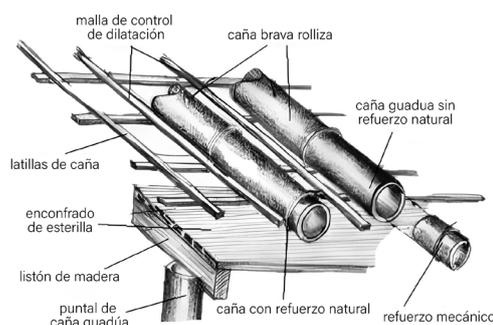


Figura 1. Elementos de la losa
Fuente: Archivo de los autores

Producción (características y forma) de cada componente estructural para la losa.

Para la estructura de la losa fue seleccionada la caña brava rolliza, semiseca, sin residuos orgánicos en la caña y sin rajaduras longitudinales. Fue escogida la sección más regular de la caña, esto es cuando tiene 16 cm de diámetro como máximo y el espesor de la pared del culmo de 1.5 cm y 9 m de largo. Los cables trenzados a ser colocados en la parte superior e inferior de la losa fueron

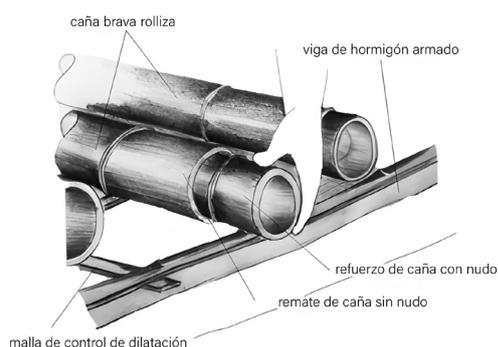


Figura 2. Refuerzo de extremo de caña sin nudo
Fuente: Archivo de los autores

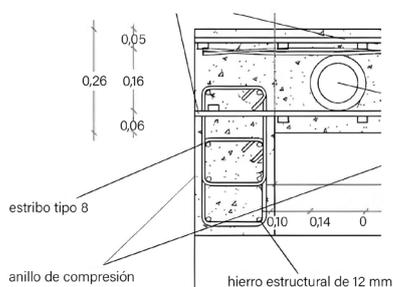


Figura 3. Estribo tipo 8.
Fuente: Archivo de los autores

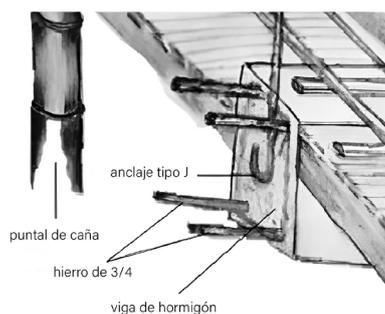


Figura 4. Hierro tipo J
Fuente: Archivo de los autores

escogidos de los sobrantes de la parte superior de la caña, es decir del tramo después de los 9 m, porque únicamente a partir de esta sección es posible entrelazar la caña; el material anterior a esta sección es muy difícil de trabajar por su dureza. La caña es preparada en tiras y retirada la pulpa o albura de la caña y con la parte impermeable de la caña se procede al trenzado y amarrado cada 60 cm hasta tener una longitud mínima de 9 m.

Las esterillas para encofrados (rollo abierto) y puntales quedaron seleccionados de las unidades de caña mansa y/o de la base de la caña brava (tramo de 2 m). Las mallas de control de dilatación fueron realizadas con caña brava en latillas de 2 a 3 cm por el corte longitudinal del tallo, armadas en dos sentidos con amarres de alambre cada 20 cm. Su preparación previa requiere el retiro de la pulpa de la caña a fin de evitar la absorción de agua del hormigón. La finalidad de estas mallas, además de controlar la dilatación, también es mejorar la resistencia de la losa.

Para evitar el aplastamiento de tallos que no terminan en nudo, son colocados canutos de caña con secciones de menor diámetro y con nudo (figura 2).

El personal utilizado para esta etapa fue el trabajador experto en el manejo de la caña y dos peones guiados por el experto. Para las subsiguientes etapas fue capacitado el gremio de albañiles de la localidad en el armado de la losa y en el mejoramiento de la dosificación del lastre (único material utilizado en el lugar) para obtener un hormigón de 210 kg/cm².

El resto de materiales utilizados para la losa fueron: estribos (de anclaje a la losa), cemento, lastre, agua y aditivos. Para el efecto se plantearon dos tipos de empotramientos losa-viga, ya sea como estribo o como pieza de amarre a la losa de guadua:

- El estribo tipo 8 (figura 3) utilizado en caso de tener muros portantes, es ubicado a lo largo del anillo de compresión, este otorga mayor unidad entre el anillo y la losa.

- El hierro tipo J para empotramiento losa-viga, en caso de tener un sistema puntal (figura 4).

Ubicación de anclajes y sujeción de cada componente estructural e instalaciones en la losa.

La construcción de la losa con caña guadua embutida simplemente apoyada inicia con las vigas ya fundidas con hormigón y hierro. Pero si no es así, es pertinente que en la fundición sean colocados los hierros tipo J cada 60 cm a lo largo de la viga. Este es un anclaje mecánico para evitar desplazamientos. La segunda forma de anclaje losa-viga es mediante el uso de estribos tipo 8 que sobresalen de la viga, estos son de varilla de 8 mm (figura 5).



Figura 5. Estribos para anclaje de losa
Fuente: Archivo de los autores

Quando las vigas ya están fundidas, el empotramiento se da únicamente por el anclaje físico de la losa con las vigas. Para lo cual se funde la losa 5 cm más baja que el borde superior de la viga, constituyéndose en el seguro o traba antideslizante de la losa, cuya función es formar un empotramiento que controle los desplazamientos provocados por empujes laterales o por movimientos sísmicos (figura 6). Este empotramiento no genera ningún elemento adicional en fachada.

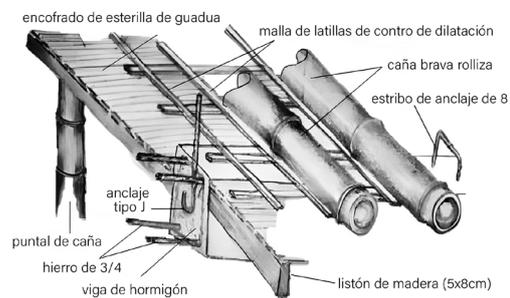


Figura 6. Anclajes y empotramientos
Fuente: Archivo de los autores

El encofrado elaborado con dos capas de esteras de guadua, es ubicado sobre los listones de madera (travesaños) colocados cada 50 cm de distancia, y estos a su vez colocados sobre los puntales de caña mansa. Una vez ubicado el encofrado se procede a situar la malla de control de dilatación inferior.

DETALLE DE LOSA DE HORMIGÓN ARMADO CON CAÑA BRAVA (1m de losa)

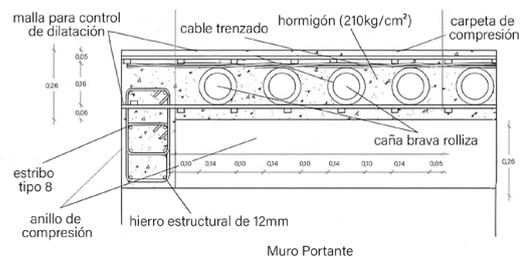


Figura 7. Detalle de losa
Fuente: Archivo de los autores

Sobre esta malla fueron colocadas las cañas bravas rollizas cada 10 cm en el sentido menor de la losa o en el sentido más delgado del tablero, asegurándose que los extremos de la caña terminen en nudo. Los espacios entre cañas al momento de colocar el hormigón se convierten en nervios de la losa, por lo que la función de la caña en la losa es mejorar la eficiencia del sistema y alivianar el peso de la estructura. La resultante es una losa nervada, unidireccional y alivianada (figura 7).



Figura 8. Cables trenzados, malla inferior, caña rolliza.
Fuente: Archivo de los autores

Los cables trenzados se colocaron en sentido contrario al armado de la losa, la función de este refuerzo estructural es mejorar la resistencia a la flexión de la losa (figura 8).

Para las instalaciones eléctricas en la losa se utilizaron cajetines octogonales profundos y conectados entre sí con manguera negra de $\varnothing \frac{3}{4}$, por su flexibilidad y resistencia. Aun cuando el sistema es rígido para la ubicación de instalaciones sanitarias la solución fue trabajar con cambios de dirección de la tubería, para lo cual se colocó las PVC de las instalaciones sanitarias y bajantes de aguas lluvia, paralelamente a la caña y el cambio de dirección fue realizado en los extremos o remates de la losa (figura 9).

Antes de verter el hormigón se coloca la segunda malla de latilla superior de la misma manera que la inferior. Al final, la malla inferior, la caña rolliza y los cables son sujetados con alambre a la malla superior.

Preparación del hormigón y uso de aditivos.

El hormigón fue elaborado en obra utilizando una concretera de un saco, con motor a gasolina y un vibrador para hormigón. La dosificación del hormigón debía ser 1:3:5 para una resistencia de 210 kg/cm², de consistencia plástica, con un asentamiento máximo de 7 cm en la prueba del cono de Abrams.

El problema presentado en la obra frente a este requerimiento fue que en la localidad únicamente era utilizado lastre para toda estructura de hormigón en vez de agregado fino y grueso, triturados. Esta situación provocaba que no se logre la resistencia y durabilidad requerida. Para remediar la situación y luego del análisis granulométrico del material disponible, se aumentó piedra de río de 6 cm al lastre, de acuerdo con la serie de Tyler.

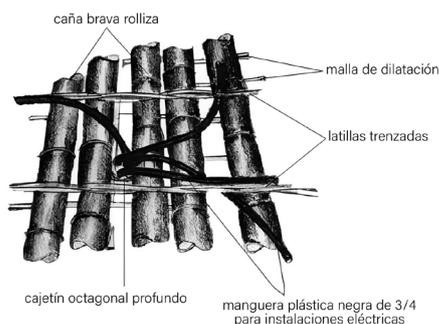


Figura 4. Hierro tipo J
Fuente: Archivo de los autores

El uso de aditivos de fraguado rápido, plastificantes o retardantes pueden ser aplicados a este tipo de losa. También sirve el agua de mar como acelerante, o elaborar una disolución salina de agua con sal en grano, ya que no existen componentes metálicos estructurales.

Vertido del hormigón en la losa

El hormigón es el último componente de la losa que se coloca y requiere ser vibrado para eliminar las burbujas de aire, su adecuación a las formas de la guadua y lograr una óptima compactación y resistencia.

Inmediatamente a la fundición de la losa fue enlucida su cara superior con una dosificación fuerte 1:5, dando caídas hacia los desagües de aguas lluvias y colocando un borde de mampostería en el perímetro de la losa para formar un espejo de agua a fin de evitar evaporaciones y mantener la losa en una temperatura adecuada. Este procedimiento es conocido como primer curado.

La losa con caña brava embutida como elemento estructural se desencofra 24 horas después de la fundición, lo que permite empezar tempranamente con los trabajos de enlucidos verticales y horizontales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La principal ventaja energética obtenida proviene del uso de guadua como material estructural de construcción, cuya conductividad térmica es 0.038 W/°K.m² (Velasco, Godoy, Freire y Ibarra, 2015). La caña rolliza embutida en el hormigón crea una cámara de aislamiento térmico y acústico sobre los espacios cubiertos por ella, proporcionando una sensación térmica de nivel "cómodo" (tomado con termómetro ambiental Brunton ADC SUMMIT) que está entre los 18 °C a 20 °C bajo cubierta cuando a la intemperie se encuentra de 28 °C a 32 °C.

En la losa de 81 m² construida con el sistema de guadua embutida en total fueron empleadas 135 unidades de caña; las 63 guaduas cañas bravas estructurales solamente tuvieron un peso total de 98 kg y un costo de USD 63, teniendo en

cuenta que para una losa tradicional de las mismas dimensiones se requiere 55 quintales de hierro que equivalen a 2500 kg de peso, con un costo aproximado de USD 2090.

Este resultado permite ponderar que el costo del material estructural en la losa de guadua es apenas un 6 % de lo que cuesta el material estructural de una losa tradicional. Por otro lado, el peso total de la guadua es apenas el 3 % del peso del hierro que se utiliza en una losa tradicional. Por lo tanto la losa con caña guadua embutida es accesible por su bajo costo y liviana por su peso.

El procedimiento aplicado también permite optimizar el uso de la guadua, haciendo de la variabilidad de la sección del culmo en la base y en el ápice, una oportunidad para utilizarla en diferentes elementos estructurales como mallas y cables trenzados.

Este sistema utiliza procedimientos estructurales-constructivos sencillos e incorpora el trabajo sistemático y participativo de trabajadores de la localidad a partir del aprovechamiento de su experiencia en el manejo de la guadua para tener una referencia precisa de sus características, forma de adquirirla, corte, limpieza y preparación de los diferentes elementos estructurales.



Figura 10. Preparación de latilla
Fuente: Archivo de los autores



Figura 11. Colocación de guadua
Fuente: Archivo de los autores



Figura 12. Preparación de cables
Fuente: Archivo de los autores

La caña rolliza madura al ser incorporada a la losa de concreto no sufre variaciones volumétricas durante el proceso de fraguado del concreto debido a que la superficie exterior de la caña rolliza es impermeable y fibrosa, al contrario de cuando se la utiliza seccionada o en tablillas y sin retirar la pulpa.

El empleo de elementos químicos además de encarecer el producto final también crea un efecto de disminución de la adherencia con el hormigón. Por otro lado, la lechada del hormigón contiene sustancias químicas del cemento y el mínimo porcentaje de absorción de esta agua por la caña, contribuye a mineralizarla y sellarla al fraguar el hormigón.

Una losa de hierro es desencofrada como mínimo 28 días después, cuando alcanza al menos un 80 % de la resistencia del hormigón, generando retrasos en la realización de actividades al interior del espacio cubierto. En cambio, la guadua “caña brava” embutida en el hormigón funciona como un encofrado permanente; esto quiere decir que, al desencofrar, la caña estructural resiste a la tracción por el volumen que ocupa en la losa en relación a la magnitud del hormigón. Ello



Figura 13. Encofrado
Fuente: Archivo de los autores



Figura 14. Casa con cubierta de losa con caña guadua embutida en hormigón.
Fuente: Archivo de los autores

permite retirar los puntales y esterillas a las 24 horas, tener menores tiempos de utilización de encofrados y optimizar la ejecución del proyecto (figura 13).

Como toda losa de hormigón armado, la losa con guadua embutida en hormigón y sus diferentes componentes estructurales, otorgan a la edificación posibilidades de crecimiento progresivo y tiene la misma factibilidad geométrica constructiva del concreto armado, admite diversas formas de configurar y jugar con el espacio con sutiles variaciones en la expresión arquitectónica (figura 14).

4. CONCLUSIONES

La solución constructiva a partir del uso de la guadua caña brava como material estructural, configura una losa alivianada, unidireccional, con refuerzos de latilla en forma de mallas, cuerdas trenzadas, simplemente apoyada sobre vigas de hormigón con hierro y estribos a manera de anillo de compresión, sobre un muro portante. No se utiliza en ningún otro elemento estructural como vigas o columnas.

Las propiedades mecánicas de la guadua caña brava la convierten en el material idóneo para la construcción de losas nervadas, por lo que el sistema constructivo propuesto requiere del conocimiento necesario sobre el material e identificación de las condiciones de uso.

Respecto de la falta de adherencia del hormigón con cualquier otro material, existe y es de consideración, sea este el hierro para construcción, la caña guadua o madera, entre otros; todos ellos a través del tiempo han sido modificados para atender esta desventaja estructural de los materiales de construcción lo cual es evidenciado especialmente en el hierro, a fin de que su uso sea muy efectivo. Por ejemplo, al inicio de la utilización del hierro en la construcción, este era liso, no soldable y de bajo límite de fluencia llegando de 1000 a 2400 kg/cm²; en la actualidad el hierro en su apariencia física es corrugado para mejorar su adherencia y su límite de fluencia es de 4200 kg/cm² en la varilla tipo TOR-40 y TOR-50, en este último tipo se ha llegado hasta los 6000 kg/cm² (Ferros La Pobra, 2021).

En el caso de la madera se utilizan mecanismos que mejoran la adherencia con el hormigón, como el uso de malla de tumbado colocada alrededor de la pieza de madera, o situando aleatoriamente clavos en la superficie de la pieza; por último, también son usadas en toda la superficie de madera tapas metálicas de envase o coronas metálicas sujetas con clavos, de la misma manera que es realizado el enlucido de un muro de tapial.

El problema que presentan los estudios de adherencia de la caña guadua realizados a principios del siglo XX (González, 2001), es que partieron del análisis únicamente de la superficie plana, lisa y fibrosa ubicada entre nudos, por lo que ha sido desestimado el rol de dicho nudo en cada sección de la caña, que además funciona a manera de estribo. Esta visión poco integral de la estructura de la caña equivale a decir que la parte no corrugada del hierro tiene una desventaja porque, siendo un elemento pesado y flexible, el corrugado no está al cien por ciento presente en la superficie de este, y la sección para adherirse al hormigón es muy delgada; en cambio, el nudo en la caña guadua tiene considerable volumen frente a su sección que es más liviana y de mayor rigidez, lo que aumenta ampliamente la adherencia.

Respecto de una posible dilatación de la guadua caña brava al estar en contacto con el hormigón, deductivamente tiene la siguiente reflexión: cualquier madera sufre dilatación al contacto con agua pero ello está en relación a sus propiedades higroscópicas y porosidad; el agua es absorbida por capilaridad, la misma que satura e impregna a la albura, esta cambia de volumen y se produce hinchamiento de la madera.

La caña guadua es una planta gramínea, herbácea, provista en un 86 % de tubos cribosos, fibra, haces vasculares, parénquima y el porcentaje restante es albura; la superficie exterior es compacta, impermeable y esmaltada, no se dilata ni contrae y por tener gran cantidad de sílice no se pudre en medio acuoso. Al ser utilizada la caña rolliza o entera, además de conservar sus propiedades estructurales, se evita que el agua del hormigón sea absorbida.

La contracción o cambio de volumen de la guadua dentro del hormigón, por pérdida de agua es la preocupación de técnicos, pero esta merma afecta a maderas en su albura y aún en ellas es mínima la contracción en dirección axial. El hormigón, en el proceso de fraguado evapora el agua e inicia su transformación de pasta a estado sólido, pero el hormigón seca más rápido que la caña guadua y actúa como envolvente rígido de una guadua madura que previamente fue deshidratada.

Es por ello que para mantener la hidratación del hormigón es necesario el curado de la losa, creando un espejo de agua que permite hidratarla hasta que se produzca el fraguado, pero una vez configurado este medio anaeróbico, ningún microorganismo puede invadir la caña guadua ni variar sus prestaciones estructurales. Debido a esta condición la guadua también es muy utilizada como soporte para la construcción de reactores y filtros anaeróbicos contra altas cargas contaminantes de DQO (Demanda Química de Oxígeno) de desechos líquidos. (Ipuz González y Reyes Cárdenas, 2015)

La sostenibilidad estructural de la losa con guadua caña brava embutida puede optar por el uso mixto de un sistema masivo o monolítico como el muro portante, o ser parte de un sistema esquelético donde la flexibilidad, equilibrio y articulación de sus partes pueden hacer la diferencia en la tectónica de la edificación.

Si bien en el país existe el Plan Nacional de Eficiencia Energética y 38 instrumentos normativos y legales que promueven soluciones inmobiliarias y contribuyen al cumplimiento de la política pública ambiental, el desconocimiento y la capacidad técnica para su aplicación aún es incipiente. Cada gobierno local es responsable de adoptar e implementar las normativas, pero el mejoramiento del microclima de la vivienda de zonas cálidas no ha sido una opción, por lo que hace falta fomentar la interacción entre promotores, profesionales y comunidades, a fin de suscitar el conocimiento en este tipo de edificaciones.

5. REFERENCIAS

- Del Moral, M., y Rodríguez, J. (31 de enero de 2023). *www. Ejemplo de.com*. Obtenido de https://www.ejemplode.com/38-quimica/3525-caracteristicas_del_hierro.html
- Ferros La Pobla. (17 de mayo de 2021). *ferroslapobla.com*. Obtenido de <https://ferroslapobla.com/evolucion-barras-acero-resistencia-adhesion>
- GAD Municipal Quinindé. (2015). *PDOT del GAD Municipal de Quinindé*. GAD Municipal.
- González, L. (2001). *Uso del bambú en el concreto reforzado*. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.
- Hernández, A., y Torres, D. (2020). Sistema Constructivo con Guadua Aculeata para la producción social de vivienda. *Revista Ciencia*. 22(1): 57-71.
- Hernández, H., Gagnon, D. y Davidson, R. (2015). Crecimiento y producción inicial de 15 especies de árboles tropicales de la Amazonía ecuatoriana de estados sucesionales diferentes. *Siembra*.
- Ipuz González, A., y Reyes Cárdenas, M. (2015). Diseño, construcción y arranque de un Reactor Anaerobio de flujo a Pistón (RAP) con guadua como medio de soporte, para el tratamiento de agua residual doméstica de un campamento de trabajadores de una piscícola. *Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Ambiental y Sanitaria*.
- Junta de Desarrollo Industrial. (2021). *Información sobre una organización intergubernamental*. ONUDI.
- KALTIA. (13 de febrero de 2023). *kaltia.wordpress*. Obtenido de <https://kaltia.wordpress.com/idi/>
- Meteored. (2 de marzo de 2023). *Meteored*. Obtenido de https://www.meteored.com.ec/tiempo-en_Rosa+Zarate-America+Sur-Ecuador-Esmeraldas--1-20119.html
- Minergie. (28 de febrero de 2023). *Minergie, construir mejor, vivir mejor*. Obtenido de <https://www.minergie.cl/es/?l>
- Organización Internacional del Bambú y el Ratán IMBAR. (9 de febrero de 2023). *Acerca de nosotros: Why Bamboo and Rattan?* Obtenido de IMBARLAC: <https://www.inbar.int/es/about-inbar/>
- Proyecto CEELA. (25 de febrero de 2023). *Proyecto CEELA*. Obtenido de https://proyectoceela.com/?utm_medium=website&utm_source=archdaily.cl
- Velasco, R., Godoy, L., Freire, L. y Ibarra, A. (2015). Potencia de aprovechamiento de la biomasa vegetal como aislamiento en climas extremos del Ecuador. *Enfoque UTE*, 23-41.
- Weather Spark. (2 de marzo de 2023). *support@weatherspark.com*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/>
- Zaragoza, I., Borja, A., Zamudio, F., Ordóñez, V., & Bárcenas, G. (2014). Anatomía del culmo de bambú. *Guadua aculeata. Madera y bosques*, 87-96.