

Comprobación Técnica, Social y Ambiental de Sistemas de Construcción Sostenible

Óscar Fabián Martínez¹, Luis Enrique Yate Calvo², Adriana Marcela Talero Vargas³
ofmartinez@sena.edu.co¹, Lyatec@sena.edu.co², amtalero6@misena.edu.co³
Grupo de investigación SENNOVA CTCM SENA Bogotá
Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera, Bogotá, Cundinamarca
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA



Figura 1: Fotografía archivos SENNOVA CTCM.

Resumen

El presente es un artículo de investigación tecnológica de un proyecto en proceso, el cual informa sobre los usos y caracterización de las estructuras, materiales y construcciones sostenibles usados en el SENA Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera.

La investigación contempla la fabricación de un prototipo a escala real de una estructura en la que se evidencien las cualidades primordiales que una construcción muy básica y sencilla debe contemplar para que sea usada en una ciudad, esta construcción debe disponer de características tales como espacios que resulten agradables, amplios, cómodos y seguros. La investigación busca probar la creación de un sistema de construcción sostenible que se enfoque primordialmente en las personas que habitarán en la construcción.

Conforme la sociedad progresa este sistema constructivo debe ser un sistema adaptable y que acepte fácilmente las nuevas y mejores formas de construir, que dicte la dinámica del mercado.

El crecer de manera sostenible y vivir en comunión con la naturaleza implica dejar de ser indiferentes ante la actual problemática ambiental y proponer alternativas al elevado consumo de energía en la construcción. El impacto que generan los actuales sistemas constructivos no se ha diagnosticado debidamente; por ello es importante determinar las causales de este impacto y generar así mismo soluciones desde la investigación aplicada como la que se viene desarrollando en el ámbito de SENNOVA-CTCM, donde se busca que la comunidad académica del centro, integrada principalmente por aprendices de las carreras técnicas y tecnológicas de Construcciones Civiles, Diseño mobiliario, Desarrollo gráfico de proyectos de arquitectura e ingeniería, Procesos productivos de la madera y Estructuras de guadua se integren en la creación de conocimiento y generen la sinergia necesaria para emprender un cambio social, a través de la implementación de nuevas y mejores técnicas constructivas; haciendo a su vez un uso responsable de los materiales disponibles.

Es así como se ha de lograr desarrollar un sentido de conciencia ambiental en los aprendices, quienes a través de las prácticas y estrategias implementadas en este proyecto contribuirán a la disminución del impacto ambiental, al poder contemplar el uso de materiales ancestrales y sostenibles en sus proyectos constructivos, convirtiéndose en referentes de aplicación de técnicas y tecnologías de construcción sostenible.

Palabras clave— Guadua, sostenible, construcción, ciudad, espacio.

Abstract

This is an article of technological research of a project in process, the information on the uses and characterization of the structures, materials and sustainable constructions used in the SENA Center of Technologies for Construction and Wood. The research contemplates the manufacture of a real-scale prototype of a structure that shows the essential qualities that a very basic and simple construction must contemplate for the sea used in a city, this construction must have features such as spaces that are pleasant, spacious, comfortable and safe. The research seeks to test the creation of a sustainable construction system that focuses primarily on people living in construction. As society progresses, this construction system must be an adaptable system that easily accepts new and better ways of building, that dictates the dynamics of the market.

Growth in a sustainable way and living in communion with nature implies ceasing to be indifferent to the current environmental problems and proposing alternatives to high energy consumption in construction.

The impact of current construction systems has not been correctly diagnosed; For this reason, it is important to determine the causes of this impact and also generate solutions from applied research such as the one that comes from the SENNOVA-CTCM field, where the academic community of the center seeks, mainly made up of apprentices from technical and technological careers. of Civil Constructions, Furniture design, Graphic development of architectural and engineering projects, Wood production processes and Guadua structures are integrated in the creation of knowledge and generate the necessary synergy to undertake social change, through the implementation of new and better construction techniques; making in turn a responsible use of the available materials. This is how it is necessary to develop a sense of environmental awareness in the apprentices, who through the practices and strategies implemented in this project will contribute to reducing the environmental impact, by being able to contemplate the use of ancestral and sustainable materials in their projects. constructive, becoming references for the application of sustainable construction techniques and technologies.

Keywords— Guadua, sustainable, construction, city, space.

Introducción

La sociedad requiere de nuevas y mejores alternativas para construir espacios habitables cuyo proceso de edificación sea más amigable con el ambiente, y debido al paulatino aumento en la densidad de la población en las ciudades, estos espacios cobran una vital importancia en el día a día de los individuos y en el correcto desarrollo social de las personas.

Construir edificios requiere gestionar aquellos elementos que conforman una ciudad, ejemplos básicos son los parques, estaciones públicas y especialmente viviendas, por lo cual comprobar técnica, social y ambientalmente estructuras fabricadas con materiales sostenibles debe ser abordado como un aspecto de desarrollo social, en la presente investigación se pretende realizar un prototipo de estructura en guadua que permita evaluar aspectos técnicos constructivos, ambientales y sociales que determinen si este tipo de estructuras pueden ser usadas como soluciones de vivienda.

Una de las razones primordiales por la cual la construcción urbana sostenible debe ser un componente imprescindible en la evolución de una ciudad es el hecho de la existencia de la conexión interior entre las personas y la naturaleza; por tanto, generar espacios donde las personas pasaran una importante parte de su tiempo, que

conjuntamente permita un adecuado desarrollo personal y social, así como un desplazamiento libre, fluido, y con una adecuada comunicación visual mediante el uso de materiales sostenibles como la guadua y técnicas modernas es una necesidad que debe ser abordada desde lo académico y práctico.

Antecedentes

Si entendemos como prioritario el deber gubernamental de erradicar la pobreza y propender por el progreso económico, social y cultural del país, es menester aceptar que desde diferentes entes de gobierno se han venido estableciendo políticas y leyes para promover el desarrollo del área inmobiliaria para atender el tema del déficit cuantitativo y cualitativo de vivienda que sufre el país, todo a través de programas que incentivan la construcción y compra de modelos habitacionales como la vivienda de interés social (VIS) y vivienda de Interés Prioritario (VIP), pero de acuerdo a los resultados del censo nacional de población y vivienda 2018, el 36,6% de los hogares del país presentó necesidades habitacionales y el 26,8% de los hogares habitan en viviendas con problemas cualitativos según. conminándonos a pensar que las políticas de vivienda o su implementación no son adecuadas a los recursos de los que dispone el país o las necesidades que tiene.

Tabla 1. Déficit Habitacional en Colombia, (CNPV-2018).

Déficit Habitacional CNPV 2018 - Resultados	Porcentaje		
	Cuantitativo	Cualitativo	Habitacional
Total*	9,8	26,8	36,6
Cabeceras	6,1	18,7	24,8
Centros poblados y rural disperso	23,7	57,2	81,0

Fuente: DANE, CNPV 2018

* Nota: los porcentajes están calculados sobre un total de **14.060.645** en el total nacional, excluyendo los hogares que habitan en viviendas indígenas y étnicas. En las cabeceras el total de hogares es de **11.118.577** y en centros poblados y rural disperso son **2.942.068** hogares.

Establecer la ruta crítica de la que se alimenta el déficit de vivienda a nivel nacional (Tabla 1), se percibe complejo debido al descontrolado crecimiento de las ciudades principales del país, fenómeno causado principalmente por el desplazamiento de la población rural hacia los grandes centros urbanos, esta población que se ha visto obligada a abandonar sus hogares en busca de las oportunidades perdidas, como consecuencia de la violencia de grupos armados ilegales y a la falta de inversión y gestión del campo por parte del gobierno central.

Una consecuencia visible de este fenómeno es la poca reacción de las entidades públicas para brindar oportunidades hacia la población desplazada, que se ve relegada a subsistir por medio de la economía informal, dentro de este contexto la construcción se erige como uno de los pilares sobre los que se sustenta el desarrollo económico de un país como Colombia, donde este sector genera alrededor 1.397.000 empleos (DANE, 2019), las principales actividades que se generan en este sector están relacionadas con mano de obra, actividad que genera el mayor volumen laboral de la construcción, es importante aclarar que anteriormente no existían requisitos previos para el personal operativo que desarrollaba actividades de edificación, por lo cual este gremio absorbía en gran medida a aquellas personas que en situaciones de desigualdad y sin preparación previa, buscaban generar ingresos para subsistir, máxime cuando este sector históricamente ha brindado oportunidades laborales a personas con baja escolaridad, principalmente en labores operativas, lo que propiciaba la informalidad, aspecto que ha venido mejorando en los últimos años, debido al fortalecimiento de lo relacionado con los temas de seguridad y salud en el trabajo por lo que es entendible que los grandes grupos económicos quieran convertirse en partícipes de las reformas que se establezcan para solucionar las necesidades de la población Colombiana, incluida la más vulnerable, pobre y desposeída del país.

En Colombia es fácil permear las instituciones públicas, lo que da pie a la participación e injerencia de diferentes gremios, esta participación, que puede no ser tan diáfana como se requiere, hace que las soluciones finalmente no lleguen a quienes más las necesitan.

Para cambiar esto no solo es necesario concretar nuevos criterios normativos en la legislación existente, o priorizar los incentivos para la vivienda rural y urbano- marginal, sino que se debe incentivar la creación de modelos habitacionales que contemplen el uso de materiales sostenibles y de adquisición local, que puedan responder

así de una manera efectiva a la real situación económica de los habitantes en condición de vulnerabilidad del país. Asimismo, se debe promover entre los diferentes actores del sector constructor el uso adecuado de productos y sistemas constructivos amigables con el medio ambiente, así como la actualización de conocimientos en la normatividad vigente.

Estudios como "El desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente", (Suárez Tamayo & Molina Esquivel, 2014) y "Contaminación Industrial en Colombia" (ONeil, Maurer, & Polania, 1992) demuestran cómo el crecimiento industrial y económico que tanto preocupa a los gobiernos va en directa contraposición de los indicadores ambientales, crisis que se profundiza debido a que en las últimas décadas. el desplazamiento y migraciones de diferente índole han venido contribuyendo aceleradamente al diario crecimiento de las ciudades, principalmente en los países en vías de desarrollo; esta visión de corto plazo, liderada por los gobiernos de turno, no permite entrever una posibilidad de crecimiento continuo y sostenible, más allá de ahondar la profunda brecha social entre los migrantes y los residentes.

La industria de la construcción, como actividad vital para el desarrollo económico y social de nuestro país está enmarcada dentro de un modelo que hace uso de materiales no renovables como la arcilla, agregados pétreos, hierro, cobre, diversas clases de polímeros, entre otros, esta actividad aporta cerca del 60% de la contaminación en Colombia y genero más de 22 millones de residuos en 2011, según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

El Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera (Regional D.C.) a través de la política SENNOVA, ha enfocado esfuerzos desde el año 2014 para la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías de construcción sostenible, que permitan satisfacer necesidades constructivas a través de sistemas y materiales que reduzcan significativamente el impacto ambiental y la explotación de los recursos naturales, que de alguna forma sean más eficientes energéticamente y que reduzcan ostensiblemente el uso de las materias primas no renovables.

Algunos de los experimentos y alternativas que se han desarrollado, como la construcción de estructuras livianas para laboratorios eco-sostenibles en Saldaña (Tolima), dentro del marco del proyecto "El campo una empresa sostenible", y el proyecto de fabricación de tableros laminados a partir de esterilla de guadua, han zanjado las bases para el inicio y gestión de la presente investigación,

la cual permitirá incorporar estos sistemas en condiciones reales de construcción, para comprobar y mejorar todo lo que se ha concluido en procesos anteriores. (fig. 1) a través del diseño y construcción de una edificación sostenible mediante la participación de aprendices, instructores e investigadores de la formación profesional, especialmente de los programas de Tecnólogo en desarrollo gráfico de proyectos de arquitectura e ingeniería, Técnico en construcciones livianas en seco, Tecnólogo en diseño mobiliario, Tecnólogo en procesos productivos de la madera y Tecnólogo en obras civiles.



Figura 1 Laboratorio Eco-sostenible (Fuente propia)

Para el correcto desarrollo de una construcción sostenible se requiere la comprobación de la favorabilidad ambiental, la aceptación social, la viabilidad económica, la cuantificación de la eficiencia energética y la eficiencia técnica de los sistemas constructivos; partiendo de estas premisas los sistemas constructivos sostenibles desarrollados por el Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera (Regional Distrito Capital.), se pondrán a prueba a través del diseño y construcción de una edificación real en la cual se implementen, validen y mejoren dichos sistemas y los materiales propuestos.

Es también necesario a través de este proyecto, hacer visible al mercado, la sociedad y la industria de la construcción, nuevas posibilidades de satisfacer las necesidades constructivas con sistemas alternativos, generando asimismo cambios culturales en el consumo de materiales contaminantes. (POVEDA BURGOS, 2017).

El proyecto de Comprobación Técnica, Social y Ambiental de Sistemas de Construcción Sostenible, no pretende ser una solución, sino brindar una opción para la reducción de

la contaminación ambiental a través de un sistema funcional, económico, sostenible, eficiente y escalable.

La eficiencia técnica de los sistemas de construcción sostenible desarrollados por el Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera en los procesos de investigación de años anteriores será puesta a prueba a través del diseño y construcción de una edificación sostenible mediante la participación de aprendices, instructores e investigadores de la formación profesional, buscando así mejorar el acceso a información de calidad sobre técnicas de construcción de bajo impacto a través de la plataforma de investigación SENNOVA, para luego mediante la participación activa de la comunidad de aprendices se extienda este conocimiento a sus respectivas localidades.

Se tendrá como fin último documentar nuestro trabajo y proporcionar documentos de acceso abierto a través del sitio web <https://sennovactcm.wixsite.com/sennovactcm>, y toda la red de conocimiento del SENA a nivel nacional, contribuyendo a aumentar las habilidades de los trabajadores de la construcción, migrantes, estudiantes, profesionales y demás personas interesadas en temas sobre técnicas de construcción sostenible y de bajo impacto a través de talleres, que propicien el desarrollo de estrategias para maximizar la participación de la comunidad, esta iniciativa busca también generar comunidades inclusivas, que por medio del montaje de una estructura arquitectónica, mejore el vínculo entre los sistemas de aprendizaje formales e informales.

Debido al carácter interdisciplinar del proyecto lo primero fue aclarar el significado de construcción sostenible: desde el punto de vista semántico "es una obra construida o edificación que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente". (RAE, 2019).

Desde un punto de vista práctico son "aquellas que, siendo respetuosas con el medio ambiente, aprovechan todos los recursos disponibles para reducir el consumo energético, por tanto, ayudan a ahorrar en las facturas domésticas, algo que siempre se agradece". (Vivienda Saludable, 2019)

Según el Ministerio de Vivienda de Colombia es "aquella que está en sincronía con el sitio, hace uso de energía, agua y materiales de un modo eficiente y provee confort y salud a sus usuarios. Todo esto es alcanzado gracias a un proceso de diseño consciente del clima y la ecología del entorno donde se construye la edificación". (Ministerio de Vivienda de Colombia, 2015).

Con este marco se definieron los aspectos principales para tener en cuenta en el diseño, los cuales se enmarcaron en las siguientes premisas:

- Tipos de materiales
- Ubicación
- Ventilación
- Uso de energías renovables
- Habitabilidad

Para el correcto desarrollo del proyecto se tiene en cuenta como factor primordial la capacidad de adaptación al entorno y su disposición final; para poder así recabar el mayor provecho de la iluminación natural y los recursos disponibles.

El sistema se diseñó para tener la capacidad de integrarse con la naturaleza, ser modular, escalable y fácilmente replicable, para ello se hizo necesario contemplar los estudios de impactos futuros en la zona en la que se va a implementar dicho proyecto, haciendo uso de los recursos disponibles sin que este aprovechamiento afecte las fuentes naturales y la sostenibilidad del entorno.

De la misma forma se le da jerarquía al uso de las TIC, conectando los electrodomésticos y otros elementos instalados en la construcción a dispositivos móviles por medio de sistemas domóticos, permitiendo de esta forma un mayor control y eficiencia de estos.

Se contempló el uso de fuentes de energía renovables como placas fotovoltaicas o sistemas de calefacción eficientes como el suelo radiante infrarrojo, pero debido al alto costo y baja eficiencia de las baterías actuales se aplazó su implementación, lo que si se estableció como aspecto básico es que el sistema permita una eficiente ventilación natural, que evite la estanqueidad del aire. La habitabilidad de la construcción se evaluará en cuanto al confort térmico, distribución y amplitud de espacios, así como el impacto generado en la calidad de vida de los usuarios.

Los resultados del proyecto pueden ayudar a contemplar la construcción con materiales sostenibles, como una alternativa de desarrollo social a mediano y largo plazo.

Sin embargo, el proyecto es solo el inicio de una investigación más amplia que busca responder a inquietudes como ¿Será posible construir espacios completamente autónomos y auto sustentables y con materiales altamente sostenibles a un precio asequible?

Este proyecto en conjunto con iniciativas similares, que paulatinamente se están implementando, pueden ayudar a una mayor concienciación sobre sostenibilidad.

Metodología

Se realiza una caracterización previa para determinar el alcance de la ciencia de estudio con relación a la construcción sostenible y bajo la modelación a escala real se generarán pruebas que caractericen esfuerzos básicos.

En conjunto con los semilleros de investigación del Tecnólogo en Diseño de Mobiliario y Tecnólogo en Desarrollo de Proyectos de Arquitectura se realizará el diseño Cad pertinente, teniendo en cuenta la metodología Ulrich (fig. 2) luego se analizará cuales diseños CAD cumplen con los requerimientos mínimos y son los que se ajustan a las propiedades de los materiales propuestos, conforme a lo que proponen (Ashby, Shercliff, & Cebon, 2013) en *"Materiales: Ingeniería, Ciencia, Procesamiento y Diseño."* (fig. 3), se fabricará una maqueta escala 1:15, para verificar las uniones y finalmente un prototipo escala 1:1 para realizar pruebas de esfuerzos gravitacionales y horizontales.

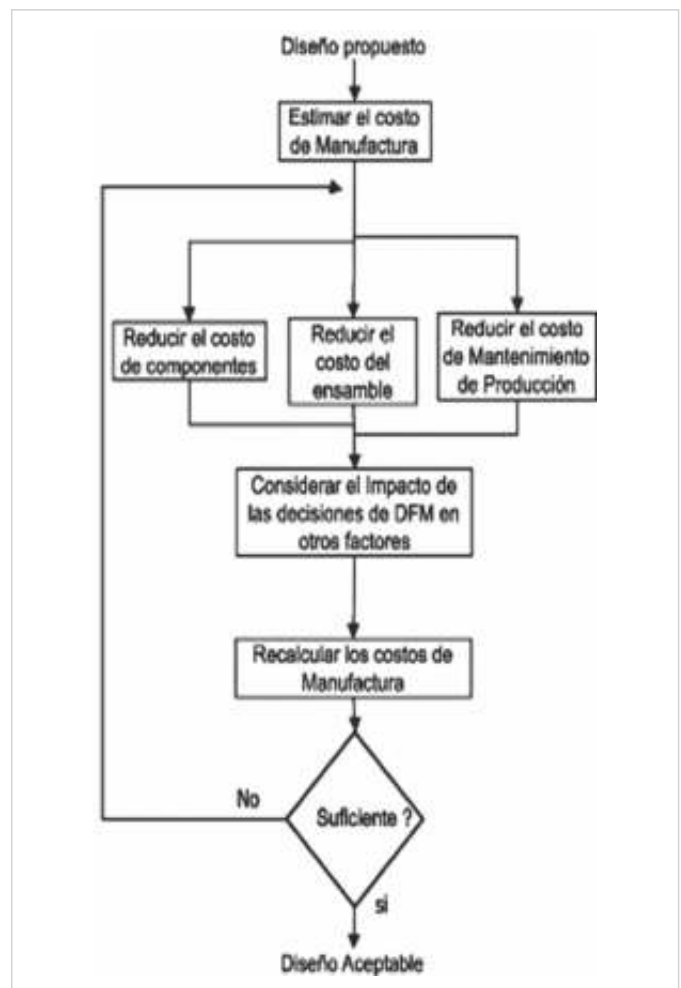


Figura 2, Metodología ulrich

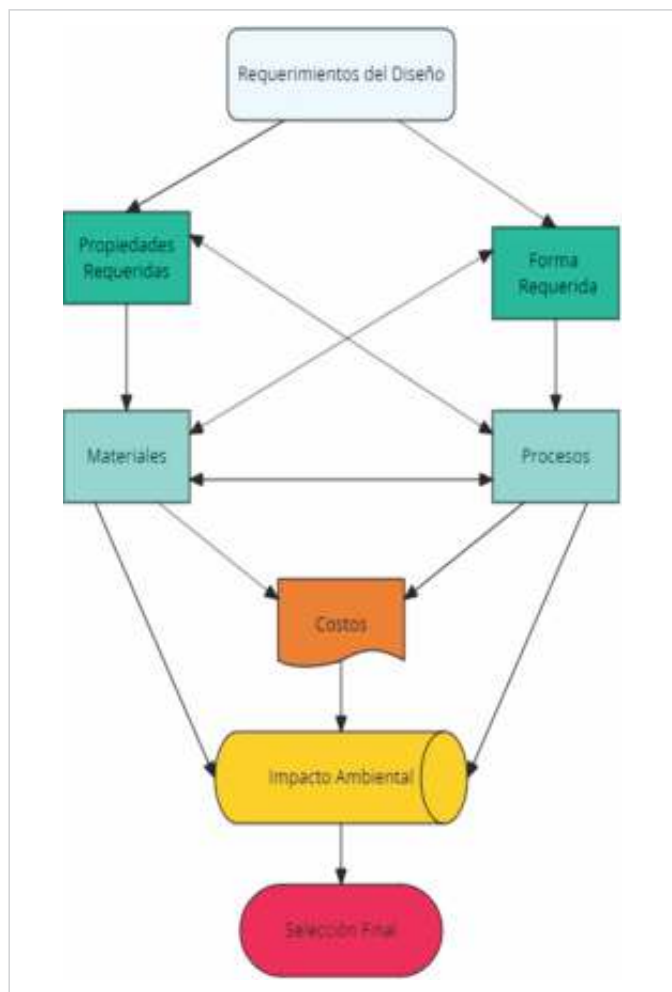


Figura 3, Fuente Ashby, Shercliff Cebon (2013).

Para este proyecto se usaron 25 guaduas de la especie angustifolia kunth cultivadas en la región del eje cafetero y comercializadas por la empresa Arme Ideas en Guadua, con una edad media de 5 años, a las cuales se les realizó el mapeado físico (Ver Tabla 2, fig. 4,5,6), la fórmula usada para el cálculo del área es la siguiente: $A = \pi/4 [D^2e - (De - 2t)^2]$; donde De es el diámetro exterior, y t el espesor medio de la guadua.

Tabla 2. Dimensiones de elementos en guadua.

Guadua	Longitud	Diámetro exterior	Espesor	Área Neta cm2
G1	450.00	11.50	1.3	16257.7
G2	450.00	11.73	1.25	16582.9
G3	450.00	12.12	1.20	17134.2
G4	450.00	11.80	1.15	16681.9

G5	450.00	11.56	1.26	16342.6
G6	450.00	11.81	1.05	16696.0
G7	450.00	11.62	1.12	16427.4
G8	450.00	12.31	1.25	17402.9
G9	450.00	11.89	1.86	16809.1
G10	450.00	11.67	1.15	16498.1
G11	450.00	11.84	1.62	16738.4
G12	450.00	11.24	1.45	15890.2
G13	450.00	11.95	1.84	16893.9
G14	450.00	11.93	1.01	16865.6
G15	450.00	11.68	1.30	16512.2
G16	450.00	11.74	1.12	16597.0
G17	450.00	11.56	1.14	16342.6
G18	450.00	12.15	1.23	17176.7
G19	450.00	11.83	1.12	16724.3
G20	450.00	11.97	1.08	16922.2
G21	450.00	12.10	1.22	17106.0
G22	450.00	11.89	1.18	16809.1
G23	450.00	11.95	1.23	16893.9
G24	450.00	12.05	1.19	17035.3
G25	450.00	12.30	1.23	17388.7

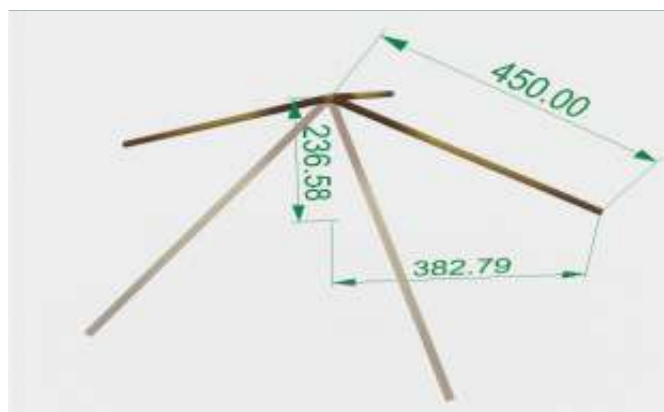


Figura 4: Fuente propia.

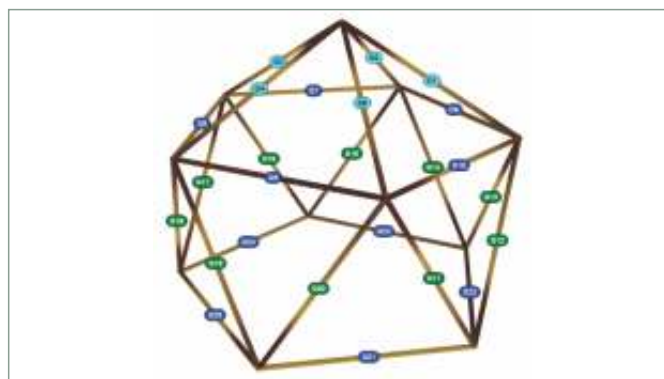


Figura 5: Fuente propia.

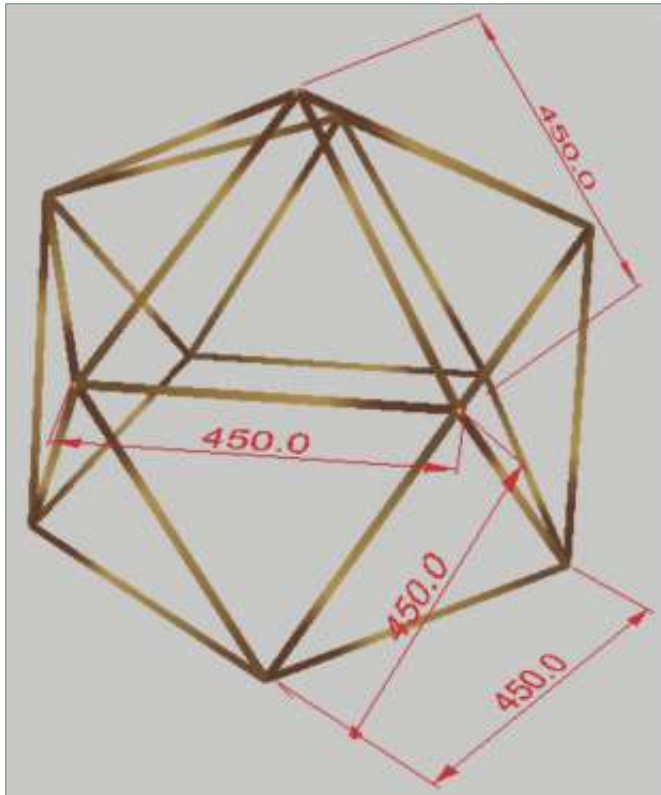


Figura 6: Fuente propia.

Acorde con la legislación vigente y estipulada en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente "Todas las uniones de la estructura se consideran articuladas y no habrá transmisión de momentos entre los diferentes elementos que conformen la unión" ("NSR-10, G.12.7.2", 2019), se realiza una prueba de esfuerzo gravitacional con un peso central de 1200 kg, equivalente a 11760 Kn (11.76 Mpa), que permitirá determinar la capacidad de carga de la estructura, así como su estabilidad, se determinan los esfuerzos máximos admisibles y los módulos de elasticidad con respecto a lo consignado en la norma de sismo resistencia, que son estimados para guaduas con contenido de humedad de 12%, en la tabla 3 se presentan los valores recomendados en la NSR-10

Tabla 3, Esfuerzos admisibles y módulo de elasticidad promedio para Guadua con humedad de 12% según la NSR-10.

Guadua	Longitud (cm)	Diámetro exterior(cm)	Espesor (cm)	Área Neta (cm ²)
G1	450.00	11.50	1.3	16257.7

Tabla 4, Momentos Acumulativos del módulo comparativo

Momentos de primer orden	
x:	3.84153502e+09 (+/- 1)
y:	1.95811325e+09 (+/- 1)
z:	134120438 (+/- 0.1)
Momentos de segundo orden	
xx:	2.11986534e+13 (+/- 1e+04)
yy:	5.52229271e+12 (+/- 1e+03)
zz:	5.13411684e+10 (+/- 10)
Momentos de producto	
xy:	1.07953968e+13 (+/- 1e+04)
yz:	3.76902289e+11 (+/- 1e+02)
zx:	7.39427785e+11 (+/- 1e+02)
Momentos de Inercia del Área alrededor de los Ejes de Coordenadas Universales	
Ix:	5.57363388e+12 (+/- 1e+03)
Iy:	2.12499946e+13 (+/- 1e+04)
Iz:	2.67209461e+13 (+/- 1e+04)
Radios de Giro del Área alrededor de los Ejes de Coordenadas Universales	
Rx:	2828.24626 (+/- 1e-06)
Ry:	5522.39432 (+/- 1e-06)
Rz:	6192.61268 (+/- 1e-06)
Momentos de Inercia del Área alrededor de los Ejes de Coordenadas del Centro de Gravedad	
Ix:	4.51715019e+10 (+/- 10)
Iy:	4.51715019e+10 (+/- 10)
Iz:	3.9292308e+10 (+/- 10)
Momentos de área principales de inercia de alrededor de los ejes principales y de centroide	
I1:	1.9646e+10 Dirección (0.96629, 0.25744, 1.5078e-15)
I2:	1.9646e+10 Dirección (-0.25744, 0.96629, 5.0992e-15)
I3:	2.5525e+10 Dirección (-1.4428e-16, -5.315e-15, 1)
Radios de Giro del Área alrededor de los Ejes de Coordenadas del Centro de Gravedad	
Rx:	254.61282 (+/- 1e-07)
Ry:	254.61282 (+/- 1e-07)
Rz:	237.466183 (+/- 1e-07)

La normatividad contempla que se debe utilizar la guadua en sistemas estructurales donde solo se vea sometida a esfuerzos axiales (tensión o compresión); "ya que son inestables a esfuerzos laterales", estos sistemas estructurales deben ser del tipo tridimensionales de vector activo cuyas características principales son:

- Elementos lineales (sometidos a tensión o compresión).
- La transmisión de las fuerzas se realiza por descomposición vectorial.
- Uniones articuladas.
- La estabilidad se debe basar en una correcta triangulación.

Se realiza una verificación de los esfuerzos actuantes, (Tabla 4) para evaluar las fuerzas internas en los elementos calculadas a partir de la simulación en un sistema CAD, este esfuerzo fue calculado para una vara de guadua con diámetro externo aproximado de 12 cm y espesor de pared de 12 mm, por ser un producto fácilmente encontrado en el mercado y ampliamente usado en construcción.

Se utiliza el diseño de conexión barcom, desarrollado por el Dr. Ing. Andry Widyowijatnoko en su tesis de doctorado "Aplicación de juntas de compresión radial de bambú para Tensión y estructuras derribadas". (Widyowijatnoko & Fitranto Aditra, 2018) afirman que la adaptación de esta unión es apta en estructuras con esfuerzos axiales, como se realizó en el Edificio de las Tres Montañas en la isla Serangan, Bali, así como el domo de guadua que construyeron docentes y estudiantes de la Facultad de Arquitectura de la Universidad la Gran Colombia en la plazoleta de la Universidad, (fig. 7); cuyo trabajo consistió en armar las aristas del domo con varas de guadua, en conjunto con una unión que permite hacer un desplazamiento de las cargas a nivel de una compresión radial, este sistema hace parte de la tesis doctoral del arquitecto Widyowijatnoko, donde demuestra la fiabilidad del sistema de construcción con bambú o guadua.

Este diseño permite conectar el bambú con una pieza de acero, (fig. 8) la cual puede ser reutilizada muchas veces y llegando a soportar hasta 21.64 kN, probando así su eficiencia ante la fuerza a tensión axial a la que se verán sometidos los culmos; el sistema lo componen, además:

- Varillas roscadas de acero zincado, de 3/8 de pulgada.
- Tuercas y arandelas de acero zincado.
- Platina de 3 mm de espesor.
- Alma de madera para cada extremo del culmo de guadua.
- Zuncho metálico doble de 3/8 de pulgada para cada extremo del culmo de guadua.



Figura 7: (Universidad la Gran Colombia, 2016).



Figura 8: (Universidad la Gran Colombia, 2016).

Resultados esperados

- Comprobar la reducción de la huella ecológica de los materiales propuestos por el CTCM.
- Deducir la aceptación social del sistema constructivo y sus materiales ecológicos.
- Comprobar la viabilidad económica por metro cuadrado construido, versus los indicadores de construcción convencional.
- Demostrar la practicidad para el transporte y utilización de los materiales ecológicos propuestos por el CTCM.
- Se plantea que los aprendices e instructores de los programas Técnicos y Tecnológicos vinculados, puedan incorporar en sus competencias profesionales el conocimiento de nuevos sistemas de construcción sostenible como resultado de la experiencia de participación en un proyecto de implementación de técnicas ancestrales y nuevas tecnologías (ver fig. 9 y 10)



Figura 9 y 10: Prototipo 1:1, para ensayos de resistencia Fuente propia

Conclusiones

La comprobación de tecnologías de construcción sostenible nos ha permitido demostrar la utilidad de materiales alternativos que preserven el medio ambiente, y que beneficien a la población de bajos recursos económicos, asimismo permitió demostrar que la guadua por ser de carácter ancestral, de fácil acceso y manipulación, puede dignificarse como elemento constructivo de gran valor, permitiendo que las poblaciones vulnerables la utilicen como recurso primordial para edificar sus viviendas. La implementación de técnicas y materiales modernos como los que se plantearon, ayudan a que la guadua se comporte como un elemento estructural y compositivo de una sociedad que vea en la sostenibilidad un pilar de progreso.

Estos sistemas constructivos brindan herramientas y técnicas apropiadas para la población vulnerable que construye o reforma sus viviendas con materiales y técnicas no adecuadas, permitiendo así la posibilidad de contar con estructuras viables y económicas. La implementación de este proyecto ha demostrado la preocupación y empeño del SENA en desarrollar tecnologías que preserven el medio ambiente, y que a futuro puedan ser incorporadas en las competencias técnicas de los programas de formación en las disciplinas de la construcción.

A partir de la apropiación de conocimientos y experiencias de estudiantes e instructores, se podrá dar testimonio y divulgar a la comunidad académica, el aprendizaje logrado mediante escritos científicos y conferencias.

La investigación respondió al objetivo propuesto de construir una estructura ambientalmente sostenible, sobre la cual realizar pruebas estructurales y de costos, lo que arrojó resultados interesantes como:

- El uso de guadua es altamente sostenible para construcciones de vivienda no rural.
- El aprendizaje experiencial de las prácticas personales de los aprendices y semilleros vinculados al proyecto, permitieron reflejar y evidenciar las competencias requeridas dentro de un entorno laboral, estas competencias se enmarcaron dentro del saber actuar (conocimiento teórico, ejecución de procedimiento, conocimiento experiencial), habilidades de desempeño (motivación y habilidades sociales) y capacidad para trabajar en equipo con diversos materiales y contextos (medio ambiente, gestión de recursos).
- El desarrollo del proyecto permitió que diferentes técnicas de trabajo pudieran entrecruzarse.
- El uso de diversidad de elementos de carácter tradicional y contemporáneo, logró mostrar un uso responsable y adecuado de técnicas y materiales de construcción más allá de lo convencional.

Agradecimientos

El presente proyecto no hubiera sido posible sin el apoyo del SENA CTCM y SENNOVA CTCM, igualmente se destaca la importante y continua colaboración del Arq. Fabian Martínez y el Ing. Jorge Mario Paternina, quienes aportaron su experiencia y orientación en la ejecución del proyecto, los aportes técnicos y personales de Marcela Talero (Diseñadora de Mobiliario), Evelyn Avellaneda (Técnica), Julián Barragán (Fotografía) y Juan Carlos Palacio (Semillero) permitieron llevar a feliz término la presente investigación, a mi familia, esposa e hijos quienes me dieron su apoyo constante e ilimitado.

Bibliografía

- Ashby, M. F., Shercliff, H., & Cebon, D. (2013). *Materiales: Ingeniería, Ciencia, Procesamiento y Diseño* (Tercera ed.). Oxford, Reino Unido: Butterworth-Heinemann. Recuperado el 16 de Septiembre de 2019.
- DANE. (8 de octubre de 2019). *Boletín técnico Indicadores económicos alrededor de la construcción (IEAC) I trimestre de 2019*. Obtenido de www.dane.gov.co: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib_const/Bol_ieac_ltrim19.pdf.
- Ministerio de Vivienda de Colombia. (2015). www.minvivienda.gov.co. Recuperado el 21 de Agosto de 2019, de <http://www.minvivienda.gov.co/cambioclima-tico/mitigacion/construccion-sostenible>.
- O'Neil, W., Maurer, M., & Polania, D. (Diciembre de 1992). Contaminación Industrial en Colombia. *Coyuntura Económica*, XXII(4), 151-175. Recuperado el 4 de octubre de 2019, de <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/2319>.
- Poveda burgos, G. F. (2017). www.docplayer.es. Recuperado el 28 de Agosto de 2019, de <https://docplayer.es/41189945-Construccion-de-viviendas-con-cana-guadua-en-el-ecuador-una-realidad-amigable-y-sustentable.html>.
- RAE. (14 de septiembre de 2019). <https://www.rae.es/>. Obtenido de <https://dle.rae.es/?id=AS1j177>.
- Suárez Tamayo, S. &. (2014). El desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 357-363. Recuperado el 10 de julio de 2020, de https://scielo.org/es/http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000300008&lng=es&tlng=es.
- Vivienda Saludable. (2019). <https://www.viviendasaludable.es/>. Recuperado el 20 de septiembre de 2019.
- Reglamento Colombiano de construcción Sismo Resistente- Título G estructuras de madera y estructuras de Guadua. (1997). [Ebook] (pp. G103-G110). Bogotá. Retrieved from <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/7titulo-g-nsr-100.pdf>.
- Widyowijatnoko, A. & Aditra, Rakhmat. (2018). Application of bamboo radial compression joint for tension and knock-down structures. *Indonesian Journal of Science and Technology*. 3. 40-46. 10.17509/ijost.v3i1.10807.