



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v9i3.3533>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

Biomimetic approach applied to the design of a single-family home in Portoviejo

Abordagem biomimética aplicada ao projeto de uma residência unifamiliar em Portoviejo

Roldán Cedeño Lizbeth Rossemary ^I

lroldan7260@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0008-5400-3115>

María Giuseppina Vanga Arvelo ^{II}

maria.vanga@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0143-838>

Bolívar Humberto Ortega Bravo ^{III}

bolivar.ortega@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1805-8732>

Correspondencia: lroldan7260@utm.edu.ec

***Recibido:** 04 de junio de 2023 ***Aceptado:** 12 de julio de 2023 * **Publicado:** 30 de agosto de 2023

- I. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
- II. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
- III. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

Resumen

El presente artículo científico se enfoca en la biomímesis, una disciplina que busca imitar las formas, sistemas y procesos de la naturaleza para impulsar soluciones innovadoras en diversos campos. La investigación propone el diseño de una vivienda sostenible y rentable en Portoviejo, Manabí, basada en principios biomiméticos para mantener una temperatura constante en condiciones de calor. Se describe la metodología que incluye investigación teórica, encuestas a profesionales de arquitectura e ingeniería, y el uso de materiales y técnicas inspiradas en la naturaleza. El artículo propone el diseño de una vivienda sostenible inspirada en el nido de termitas, con ventilación natural y uso de materiales ecológicos como el cob y la caña *Guadua Angustifolia Kunth*. Se obtuvieron resultados como planos arquitectónicos, diseño estructural y un presupuesto para guiar a futuros proyectos sustentables basados en biomímesis. Se destaca la importancia de la educación en sostenibilidad y la colaboración entre profesionales y municipios. Se resalta el crecimiento limitado de la construcción sostenible en la ciudad. Las limitaciones incluyen la percepción de costos y el desconocimiento técnico. El estudio busca promover un enfoque armonioso con la naturaleza, contribuyendo a la sustentabilidad socio-ecológica y socio-económica en la industria de la construcción. Se concluye que la biomímesis ofrece una forma innovadora y sostenible de diseñar infraestructuras que sean eficientes, resistentes y respetuosas con el medio ambiente.

Palabras Claves: arquitectura inspirada en las termitas; biomímesis aplicada a la arquitectura; confort térmico; construcciones sostenibles; pintura fotocatalítica.

Abstract

This scientific article focuses on biomimicry, a discipline that seeks to imitate the forms, systems and processes of nature to promote innovative solutions in various fields. The research proposes the design of a sustainable and profitable home in Portoviejo, Manabí, based on biomimetic principles to maintain a constant temperature in hot conditions. The methodology is described, which includes theoretical research, surveys of architecture and engineering professionals, and the use of materials and techniques inspired by nature. The article proposes the design of a sustainable house inspired by the termite nest, with natural ventilation and the use of ecological materials such as cob and *Guadua Angustifolia Kunth* cane. Results such as architectural plans, structural design and a budget were

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

obtained to guide future sustainable projects based on biomimicry. The importance of sustainability education and collaboration between professionals and municipalities is highlighted. The limited growth of sustainable construction in the city is highlighted. Limitations include perceived cost and lack of technical knowledge. The study seeks to promote a harmonious approach with nature, contributing to socio-ecological and socio-economic sustainability in the construction industry. It is concluded that biomimicry offers an innovative and sustainable way of designing infrastructures that are efficient, resilient and respectful of the environment.

Keywords: termite-inspired architecture; biomimicry applied to architecture; Thermal comfort; sustainable constructions; photocatalytic paint.

Resumo

Este artigo científico tem como foco a biomimética, disciplina que busca imitar as formas, sistemas e processos da natureza para promover soluções inovadoras em diversos campos. A pesquisa propõe o projeto de uma casa sustentável e rentável em Portoviejo, Manabí, baseada em princípios biomiméticos para manter uma temperatura constante em condições de calor. É descrita a metodologia que inclui pesquisas teóricas, pesquisas com profissionais de arquitetura e engenharia e utilização de materiais e técnicas inspiradas na natureza. O artigo propõe o projeto de uma casa sustentável inspirada no cupinzeiro, com ventilação natural e utilização de materiais ecológicos como sabugo e cana *Guadua Angustifolia Kunth*. Resultados como plantas arquitetônicas, projeto estrutural e orçamento foram obtidos para orientar futuros projetos sustentáveis baseados na biomimética. É destacada a importância da educação para a sustentabilidade e da colaboração entre profissionais e municípios. Destaca-se o crescimento limitado da construção sustentável na cidade. As limitações incluem custo percebido e falta de conhecimento técnico. O estudo procura promover uma aproximação harmoniosa com a natureza, contribuindo para a sustentabilidade socioecológica e socioeconômica da indústria da construção. Conclui-se que a biomimética oferece uma forma inovadora e sustentável de projetar infraestruturas eficientes, resilientes e respeitadoras do meio ambiente.

Palavras-chave: arquitetura inspirada em cupins; biomimética aplicada à arquitetura; Conforto térmico; construções sustentáveis; tinta fotocatalítica.

Introducción

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

La palabra biomímesis proviene del griego “bio” y “mímesis” que significan vida e imitar respectivamente. Uno de los diseños más notables de esta ciencia es el diseño de la cabina de los trenes de alta velocidad ya que adoptan una forma que permite una mejor función tomando como diseño la forma del pico de varias especies (Ruiz, 2021).

La industria de la construcción representa una gran importancia para la economía, así como oportunidades de generar un cambio climático y desafíos globales. Por ello se deben tomar acciones que tengan en cuenta aspectos ambientales, económicos y sociales desde la sostenibilidad y rentabilidad (Beermann, 2021).

La biomímesis o biomimética “... es una disciplina que incorpora el estudio de formas, sistemas y procesos encontrados en el mundo natural para guiar hacia soluciones innovadoras y ser aplicada a productos, ambientes y servicios” (Sánchez, 2019, p. 28). Parte de la infraestructura que la humanidad que se ha creado ha sido a través del aprendizaje de la naturaleza, por ello, formarse como una sociedad que se inspira en la biomímesis es esencial para desarrollar proyectos que sean sustentables.

La biomímesis aplicada a la ingeniería civil está dividida en dos grandes grupos: estructural y en los materiales utilizados. Para estructuras es posible edificar casas, edificios, barrios a partir de diseños sostenibles, que son adaptables y con un comportamiento estructural eficiente frente a las cargas. Para los materiales, la biomimética ofrece cambios radicales que permitirán mayor eficiencia y ser auténticamente ecológicos (Jiménez, 2018).

En países de la península arábiga como Catar, existen edificaciones sustentables, un ejemplo es el Qatar Cacti Building, el cual cuenta “... con un similar sistema al de los cactus regionales para la transpiración y gestión de energía, debido al alto impacto solar sobre la superficie del mismo, como el que soportan dichos cactus” (Ruiz, 2021, p. 8). Además, este edificio se diseñó con un sistema de oberturas, las cuales regulan la temperatura detectada, también tiene una cúpula con un depósito de agua como el cactus, que se utiliza como masa de regulación térmica.

Las termitas son insectos que construyen sus nidos de una manera eficaz tomando en cuenta aspectos estructurales, térmicos, ventilación, entre otros. En sus nidos se albergan hasta dos millones de termitas, por ello deben de tener un sistema de refrigeración que les permita aislar el calor de afuera cuando las temperaturas llegan hasta los 40 grados. Para realizar este sistema de ventilación, en la base del nido cavan un tipo de acondicionador de aire, este enfría el aire a través de cámaras de barro húmedo, que mediante conductos se unen a mantos de acuíferos que hay en el subsuelo, mientras que

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

el aire caliente se envía a la parte superior mediante un ducto. Existen varios tipos de termitas, pero el trabajo antes descrito corresponde a las africanas *Macrotermes* de Costa de Marfil (Pérez, 2019).

La construcción de estos nidos se realiza de la siguiente manera:

...una termita agarra una partícula de tierra, la mezcla con agua y saliva y la cementa en su lugar. La próxima termita vendrá y colocará su masa de material junto al anterior, y esto continuará hasta que finalmente se construya una pared. (Sánchez, 2021. Pg. 31)

Existe un edificio construido que implementó este sistema de construcción, el Eastgate Center en Zimbabwe, edificado en 1996 por Mick Pearce. El edificio permanece fresco durante el día ya que tiene poros que absorben el aire fresco de la noche, se almacena el aire caliente de las maquinas, calor humano y radiación. Por la tarde, el aire caliente impulsado por ventiladores sube a través de chimeneas para facilitar el ingreso de aire fresco al edificio (Rubio, 2020).

Un ejemplo de ventilación autosuficiente es la torre Gherkin, está ubicada en Londres, posee un sistema de fachada de doble piel, quiere decir que tiene dos revestimientos de manera perpendicular que permita una mejor circulación de aire dentro de los dos paneles, por esto cada piso del edificio está bien ventilado y regula la temperatura (Itatí, Vedoya & Morán, 2019).

Otro ejemplo de construcciones a partir de la naturaleza es el Hospital de Navarra, ubicado en España. Fue inaugurado en el año 2009, mantiene el equilibrio entre la forma y la función propia del edificio. El edificio maneja tres biotipos: el camello, cuya anatomía se expande si la función lo requiere; en el edificio se generan bultos y agujeros cuando es necesario para acoger y disimular las distintas maquinarias que el edificio tecnológico necesita. Otro biotipo es el oso polar, como ejemplo de piel multifuncional; este animal tiene una piel negra bajo su pelusa blanca, lo que le permite absorber calor de la luz del sol, su pelaje en realidad es un tubo hueco translucido que le permite captar los rayos solares, esto fue lo que se aplicó en los bloques del Centro de Investigación Biológica, así sus espacios interiores transmiten seguridad y confianza. Por último, la fachada del edificio se inspira en el follaje de los árboles, con su contraste claro y oscuro; este efecto permite la iluminación solar, ventilación natural y protección del medio ambiente (Espinoza, 2017).

Sin embargo, en América Latina, no existen construcciones biomiméticas, hay edificaciones sustentables y sostenibles, pero no son inspirados en la naturaleza. En Ecuador, existen edificios ecológicos que ayudan a mejorar el medio ambiente, pero no ha habido proyectos en donde se involucre a la naturaleza como base de construcción.

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

Lo antes mencionado hace surgir varias interrogantes: ¿Es importante estudiar la naturaleza como fuente de inspiración para resolver problemas humanos que ya han sido resueltos por la naturaleza? ¿Es posible diseñar una vivienda basada en la biomímesis? ¿Cuál es el costo de diseñar una vivienda inspirada en la naturaleza?

Por lo expuesto anteriormente, surge la idea de realizar este proyecto, diseñar una vivienda sostenible y rentable con bases en la naturaleza, un domicilio formado desde la biomimética que sea capaz de mantener siempre su misma temperatura, ya que, en Portoviejo, Manabí, la temperatura y sensación térmica en el verano son altas, por ello esta vivienda cumpliría con las necesidades de la sociedad y ayudará al cuidado del ambiente.

La importancia de diseñar una vivienda de este tipo es que aportará como punto de partida para la implementación de un nuevo pensamiento en la sociedad, donde se aprenderá a vivir en armonía con la naturaleza y se garantizará un futuro más sustentable y que esté comprometido con el medio ambiente. La biomímesis es un tema que abarca a ciencias como la economía, medicina, química, entre otras, por ello es de gran importancia que los profesionales se instruyan acerca de este tema, sobre todo ingenieros civiles y arquitectos, ya que la implementación de la biomimética en proyectos de construcciones garantizará la sustentabilidad de manera socio-ecológica y socio-económica.

Metodología

El tipo de investigación según su finalidad es básica, ya que con ella se buscó el conocimiento de la realidad de los fenómenos de la naturaleza, para contribuir a una sociedad cada vez más avanzada y que la humanidad responda de mejor manera a los retos que se le presenten en términos constructivos. El diseño de la investigación es de enfoque cuantitativo no experimental, ya que se realizaron dos encuestas como instrumento para recolectar datos, con muestreo no probabilístico de tipo intencional. Se aplicó a usuarios no profesionales con un total de 145 personas encuestadas y también a profesionales de arquitectura e ingeniería civil sobre la disposición a trabajar bajo esquemas biomiméticos a un total de 40 encuestados; se obtuvieron resultados cuantificables tal y como se dan en su contexto natural que luego fueron analizados. La recolección de la información se hizo por medio de la plataforma WhatsApp y el instrumento fue diseñado con Google Forms. Se indagaron los referentes teóricos necesarios para darle carácter científico a la investigación y poder así ser desarrollada, definir el alcance y la delimitación de la investigación, realizar el diseño arquitectónico, el diseño estructural, el presupuesto, y elaborar las conclusiones y recomendaciones.

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

En cuanto a los materiales y formas a plasmar en el diseño, se puede indicar que, según las investigaciones ya realizadas, se seleccionarán materiales de emisión y absorción selectiva para mitigar el impacto de la radiación. Se consideró el uso de la paja y el barro. Otras opciones son la cal, el yeso, arcilla y pinturas minerales, que tienen propiedades higroscópicas, son fríos al tacto y pueden liberar el agua que absorben en función de la humedad. Una idea a incluir en el diseño es la incorporación de agua en el ambiente, ya que esta absorbe el calor de su entorno para su proceso natural de evaporación. Se considerará la orientación del aire, los suelos elevados (mejor exposición a la brisa, protección contra inundaciones, defensa contra los insectos), emular las estructuras de las ramas y las cubiertas de las hojas de los árboles, uso de colores como el blanco, entre otros. Se estudiará cómo las termitas trabajan la eficiencia térmica regulando el calor y la humedad de sus nidos, tomando en cuenta la altura y profundidad de sus construcciones, uso de chimeneas, trazado de pequeñas aberturas (refrigeración por evaporación), entre otros.

También se estudiará la arquitectura vernácula de la zona, tentativamente estudiando la forma de los techos y sus materiales, el levantamiento de cubiertas, la disposición de los espacios, entre otras, y se verá la posibilidad de combinarlos con los resultados del estudio biomimético del lugar.

Con el desarrollo de la investigación propuesta, se aspira obtener los siguientes resultados, en concordancia a los objetivos planteados, como los planos arquitectónicos de vista de planta y fachada de la vivienda unifamiliar inspirada en la biomímesis, que se ajuste a los parámetros de temperatura y humedad de la ciudad de Portoviejo; se calculará el diseño estructural de la vivienda planteada; y se realizará un presupuesto que sirva de guía para futuros proyectos basados en esta ciencia.

Resultados y discusión

Dentro de los resultados se tienen los datos obtenidos en la encuesta realizada a usuarios en general no profesionales, como puede apreciarse en la tabla 1.

Tabla 1: Encuesta a usuarios no profesionales

INDAGACIONES	RESPUESTAS EN %						
	Si	No	Tal vez	Mayor	Igual	Menor	No sabe
Posibilidad de inspirarse en la naturaleza para dar soluciones	82,21	7,49	10,3				

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

sostenibles a los desafíos de la construcción							
Probabilidad de haber escuchado acerca de viviendas ecológicas y sostenibles	77,9	14,5	7,6				
De acuerdo con que los profesionales realicen más construcciones sostenibles	95,9	0	4,1				
Acogida a realizar construcciones con materiales de bajo impacto ambiental	95,9	0,7	3,4				
Probabilidad de vivir en una casa construida con materiales sostenibles	77,9	0,7	21,4				
Posibilidad de construir una vivienda unifamiliar que se mantenga siempre fresca, teniendo en cuenta los parámetros de humedad y temperatura en Portoviejo	55,1	9	35,9				
Variación del costo de una construcción sostenible en relación a una tradicional				26,9	13,1	34,5	25,5
Acogida a comprar una vivienda sostenible si el precio es igual al de una vivienda común	61,4	4,1	34,5				

La encuesta reveló que el 82,21% de los encuestados están de acuerdo en que es posible inspirarse en la naturaleza para abordar desafíos constructivos sostenibles. Esta cifra refleja una actitud positiva hacia la biomímesis, donde los procesos naturales se utilizan como fuente de inspiración. Tal como mencionan López y Puebla (2020), que tomando como ejemplo el proyecto Norman Foster, uno de

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

los rascacielos más altos de Londres, determinan que es gracias a la naturaleza que se lograron resolver problemas a la hora de construir dicha edificación.

Asimismo, un 77,9% de los encuestados han escuchado sobre viviendas ecológicas y sostenibles, lo que indica un nivel significativo de conciencia pública sobre la sostenibilidad en la construcción. Como menciona Ramchandani (2020), el planeta enfrenta daños crecientes, contaminación y una disminución de recursos, y es donde la ingeniería sostenible está emergiendo como una disciplina de creciente relevancia. Esta disciplina se enfoca en concebir soluciones, tecnologías y proyectos que mantengan un equilibrio con su entorno, evitando el agotamiento de recursos y minimizando el impacto ambiental. Por esto cada día es más común escuchar de proyectos sostenibles en otras partes del mundo.

Una cifra destacable es el 95,9% de aceptación de que los profesionales de la construcción deberían enfocarse más en proyectos sostenibles. Esto sugiere un interés genuino en promover prácticas constructivas que sean respetuosas con el medio ambiente. En línea con esto, un 95,9% también está de acuerdo en utilizar materiales de construcción con un bajo impacto ambiental. Según Collantes (2018), las construcciones sustentables se han convertido en una opción cada vez más común en el campo de la edificación, ya que posibilitan un uso más eficiente de los recursos energéticos al mismo tiempo que demuestran un profundo respeto por el entorno natural. Además, utilizando materiales como tapial, adobe y cob se ayuda a reducir el impacto ambiental que generan los materiales comunes de construcción.

En relación con la disposición a vivir en viviendas sostenibles, el 77,9% de los encuestados respondieron de manera favorable, mientras que solo un 0,7% rechazó la idea. Aunque un 21,4% respondió con "tal vez", estos resultados indican una tendencia positiva hacia la aceptación de construcciones sostenibles. En cuanto a la posibilidad de construir viviendas unifamiliares en Portoviejo que se mantengan frescas sin la necesidad de aire acondicionado, solo un 9% piensa que no es posible y un 35,9 % piensa que tal vez sea posible y más de la mitad de los encuestados (55,1%) cree que es posible. Esto resalta el potencial de la construcción sostenible para lograr confort térmico sin recurrir a soluciones energéticamente intensivas. Según Amario y Escobar (2022), las viviendas autosustentables buscan el respeto por el entorno que les rodea, ya que los materiales de construcción que se emplean permiten aprovechar recursos del entorno como la tierra, que garantizan un propio confort térmico reduciendo recursos de tecnologías e induciendo a la responsabilidad ambiental. Las

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

personas entonces tomando conciencia del cambio climático actual y muchos otros factores, buscan soluciones o estarían dispuestos a vivir en casas sostenibles.

En lo que respecta al costo, un tema recurrente en la implementación de soluciones sostenibles, un 34,5% de los encuestados cree que la construcción sostenible es menos costosa que la tradicional. Aunque el 25,5% no tiene certeza al respecto, esta percepción podría atribuirse a la falta de información sobre los beneficios a largo plazo de las construcciones sostenibles. Sin embargo, actualmente, el mercado de materiales naturales y reciclados es limitado y los costos son más altos en comparación con los materiales convencionales de construcción. En ciertos casos, estos materiales pueden tener tarifas comparables al estándar, pero debido a su escasa disponibilidad, su adquisición resulta complicada, lo que eleva los costos constructivos de las viviendas, en resumen, muchas veces las construcciones sostenibles son mucho más costosas que las construcciones estándares (Gamero *et al.*, 2020).

Finalmente, los datos recolectados destacan que un 61,4% de las personas considerarían vivir en una vivienda sostenible si el precio fuera comparable al de una construcción tradicional. Aunque el 34,5% respondió con "tal vez", estos resultados sugieren que la disposición a adoptar soluciones sostenibles está ligada en gran medida al aspecto económico.

En cuanto a los resultados de la encuesta realizada a ingenieros civiles y arquitectos, se tienen los siguientes resultados mostrados en la tabla 2.

Tabla 2: Encuesta a profesionales de la construcción – Ingenieros civiles y Arquitectos

INDAGACIONES	RESPUESTAS EN %						
	Si	No	Tal vez	Mayor	Igual	Menor	No sabe
Posibilidad de saber qué es biomímesis	10	77,5	12,5				
Probabilidad de realizar construcciones biomiméticas	45	2,5	52,5				
Aceptación las construcciones de infraestructuras sostenibles	100						

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

Realización construcciones con materiales sostenibles	5	77,5	17,5				
Posibilidad de haber visto alguna construcción sostenible en la ciudad de Portoviejo	7,5	72,5	20				
Acogida a recibir capacitaciones sobre construcciones sostenibles	97,5		2,5				
Posibilidad para resolver problemas de los procesos de diseños y construcción basándose en el comportamiento de la naturaleza	35	5	60				
Variación del costo de una construcción sostenible en relación a una tradicional				80		12,5	7,5
Consideración del crecimiento de la construcción sostenible en los últimos años					De 0 a 5% (75%)	Recién está creciendo (5%)	20
Posibilidad de construir una vivienda unifamiliar que se mantenga siempre fresca, teniendo en cuenta los parámetros de humedad y temperatura en Portoviejo.	47,5	12,5	40				

La encuesta revela que el 77,5% de los profesionales no está familiarizado con el término "biomímesis", lo que refleja un conocimiento limitado sobre esta innovadora forma de diseño y construcción, esto coincide con lo que menciona Osorio (2019), que indica que la biomímesis es un concepto de escasa notoriedad, únicamente unas cuantas personas están versadas en su significado. Esta rama del conocimiento, también denominada biomimética, está adquiriendo un creciente protagonismo en áreas que abarcan desde las ciencias sociales, naturales y humanas hasta las

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

disciplinas formales y aplicadas, y se ha evidenciado un notable incremento en su influencia durante los últimos diez años.

Aunque las construcciones biomiméticas se basan en principios naturales, solo el 45% de los encuestados está dispuesto a considerar esta técnica, mientras que el 52,5% responde con "tal vez". Esta ambigüedad puede atribuirse a la falta de comprensión sobre la biomímesis. Pero como menciona Calle (2023), con la biomímesis se tienen otros enfoques en el diseño, utilizar esta técnica para construir da un avance al concepto de sostenibilidad, por lo que los profesionales deberían implementar esta técnica.

También la encuesta revela un fuerte apoyo hacia la construcción de infraestructuras sostenibles, con un 100% de profesionales de acuerdo. Además, un alto porcentaje (97,5%) muestra interés en recibir capacitación en construcción sostenible, lo que sugiere un deseo de aprender y adoptar enfoques más ecos amigables en el diseño y construcción.

En cuanto a la observación de construcciones sostenibles en la ciudad de Portoviejo, el 72,5% de los profesionales no ha identificado tales estructuras, lo cual se alinea con investigaciones previas que confirman la ausencia de estas construcciones en la ciudad. La falta de experiencia en construcciones con materiales sostenibles es notoria, con un 77,5% de los encuestados sin haber realizado este tipo de proyectos. Se evidencia el desconocimiento técnico que existe para trabajar con materiales renovables o materiales con bajo impacto ambiental. Esto se da por varias causas, por ejemplo, desinterés de los constructores y la existencia de normativas para proteger al ambiente que son solo teóricas, pero no se aplican a la hora de construir (Mendoza y Vanga, 2020).

En cuanto al crecimiento de la construcción sostenible, el 75% de los profesionales opina que ha crecido en un rango del 0% al 5%. Esta percepción podría estar relacionada a que, en Ecuador, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) emite un certificado llamado Punto Verde, cuyo objetivo según el Art. 5 del Acuerdo Ministerial 140 R. O 387 es el siguiente:

Incentivar a los sectores estratégico, productivo, servicios y de la construcción del Ecuador a implementar estrategias preventivas de eficiencia de recursos, buenas prácticas ambientales, producción más limpia y disminución de la contaminación como herramientas para el mejoramiento del desempeño ambiental y posicionamiento competitivo en el mercado nacional, regional e internacional. (2015, p. 7)

En relación con la viabilidad de basarse en la naturaleza para resolver problemas en el diseño y construcción, el 60% de los profesionales cree que solo "tal vez" sea posible. Esta respuesta indica

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

que, a pesar del interés en la construcción sostenible, persiste cierta duda sobre la aplicabilidad de la biomimesis. Sin embargo, la biomimética da soluciones a problemas medioambientales. Mediante esta ciencia se aprende a utilizar con inteligencia los procesos naturales del entorno y aplicarlos para obtener una bioeconomía que ayuda en las construcciones y fomenta una sociedad de conocimiento, volviendo la economía humana eficiente, en términos ambientales (Zamudio, 2019, p. 322).

En relación con la posibilidad de mantener temperaturas frescas en viviendas unifamiliares, el 47,5% de los encuestados cree que es posible, mientras que el 40% responde con "tal vez". Los profesionales aun usan procesos y técnicas convencionales que no son sustentables (Flores, 2021). Con las respuestas de los encuestados, se sugiere que existe cierta incertidumbre sobre la capacidad de lograr confort térmico sin la dependencia de sistemas de aire acondicionado, sin embargo, con investigaciones antes realizadas, se ha determinado que es posible este tipo de construcciones, y uno de los ejemplos claros es el edificio Eastgate Center en Zimbabwe, ya antes descrito.

En cuanto a los costos, el 80% de los profesionales considera que las construcciones sostenibles son más costosas que las tradicionales. Aunque el 12,5% considera que son menos costosas y el 7,5% no tiene una opinión clara, lo que indica que la percepción de los costos sigue siendo un factor importante en la adopción de prácticas sostenibles.

En cuanto al resultado de la investigación que dio origen al diseño biomimético, se indica que la propuesta se basa en el nido de las termitas, su forma será irregular de forma circular tal como el nido de dichos animales. La vivienda contará con una abertura en el centro, con un vitral que se podrá abrir y así funcione también como chimenea. Esta provocará ventilación en la vivienda, aunque no haya viento, además el objetivo no es solo hacer entrar aire fresco, sino que se incremente el flujo de aire del interior mediante la radiación (León, 2017). Esto se basa en el comportamiento natural que tienen las cuevas, ya que estas poseen un sistema de ventilación eficaz, haciendo que el aire que penetra desde el exterior sea transportado como vapor modificando la temperatura interior (Gázquez *et al.*, 2022).

Otro punto a tomar en cuenta es la orientación de la vivienda, y en Portoviejo no hay grandes diferencias entre norte y sur porque existe una baja latitud y tampoco nada significativo al este, no obstante, una orientación al oeste genera temperaturas bajas en las mañanas, pero superiores durante la noche, por lo que esta última es la menos recomendable. Los vientos que son predominantes provienen del noreste en la mayoría del tiempo ‘‘del sudeste en mayo, junio, agosto y octubre con bajas velocidades medias que oscilan entre 1,4 m/s en febrero y agosto y 1,9 m/s en mayo’’ (Veliz &

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

González, 2019, p. 37). La orientación sin embargo será de norte a este, mientras que el de las termitas es de norte a sur. Según investigaciones, la temperatura por las noches en Portoviejo se mantiene de 19 a 22 grados centígrados, que es relativamente bajo a los niveles que se presentan durante el día, por lo que este sistema se puede llevar a cabo.

La vivienda será de dos pisos, el material de construcción para las paredes de la vivienda será el cob. Dicho material consiste en una combinación de arcilla, arena, paja y agua; estos ingredientes se mezclan y toman una consistencia rígida como una masa que se puede apilar y moldear fácilmente. Las construcciones de este material son conocidas por sus lados redondeados y consta con mucha flexibilidad de diseño (Sumerall, 2015).

También dentro del diseño, está la implementación de un árbol dentro de la vivienda, se recomienda colocar un guayacán ya que es un árbol que va de 2 a 5 metros de altura, presenta ramas desde la base y su tronco tiene un diámetro de hasta 20 centímetros (Bucaram, 2021). Además de ser un árbol de raíz profunda que no dañaría la estructura, daría un ambiente más armónico. Hay que tener en cuenta que se debe podar cada cierto tiempo para que adopte la forma deseada dentro de la vivienda y sus ramas no lleguen a interferir con vigas o columnas.

De forma adicional, un detalle no estructural pero importante, dentro de los materiales, estaría el uso de la pintura foto-catalítica que es sostenible y destaca por tres propiedades fundamentales: reduce la contaminación del aire, elimina malos olores y previene bacterias y hongos en las construcciones. Este tipo de pintura puede ser utilizada en fachadas, cubiertas y en superficies de interiores (Espiga, 2016, pg. 53). Según Martínez (2019), esta pintura está inspirada en un proceso de la naturaleza como lo es la fotosíntesis, es por ello que elimina uno de los mayores contaminantes del ambiente, el dióxido de nitrógeno, y genera materia orgánica de la luz del sol. Además, al poderse aplicar a cualquier superficie, no generaría daños en la madera la vivienda a diseñar.

Por otro lado, la vivienda podría tener un pozo provenzal que consiste en un sistema que utiliza energía geotérmica para así regular la temperatura de la vivienda, esto se logra colocando tuberías subterráneas aproximadamente a dos metros de profundidad por donde circulará el aire de forma natural sin quemar ningún combustible fósil (GECO, 2021). Mediante este sistema de tubería, se logrará el confort térmico deseado; este modelo será adaptando la forma de los ductos que poseen los termiteros. Este sistema se complementarían con el material cob para poder dar una temperatura adecuada a la vivienda, cumpliendo con el objetivo inicial.

A continuación, el plano arquitectónico propuesto para la vivienda en la figura 1 y 2.

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

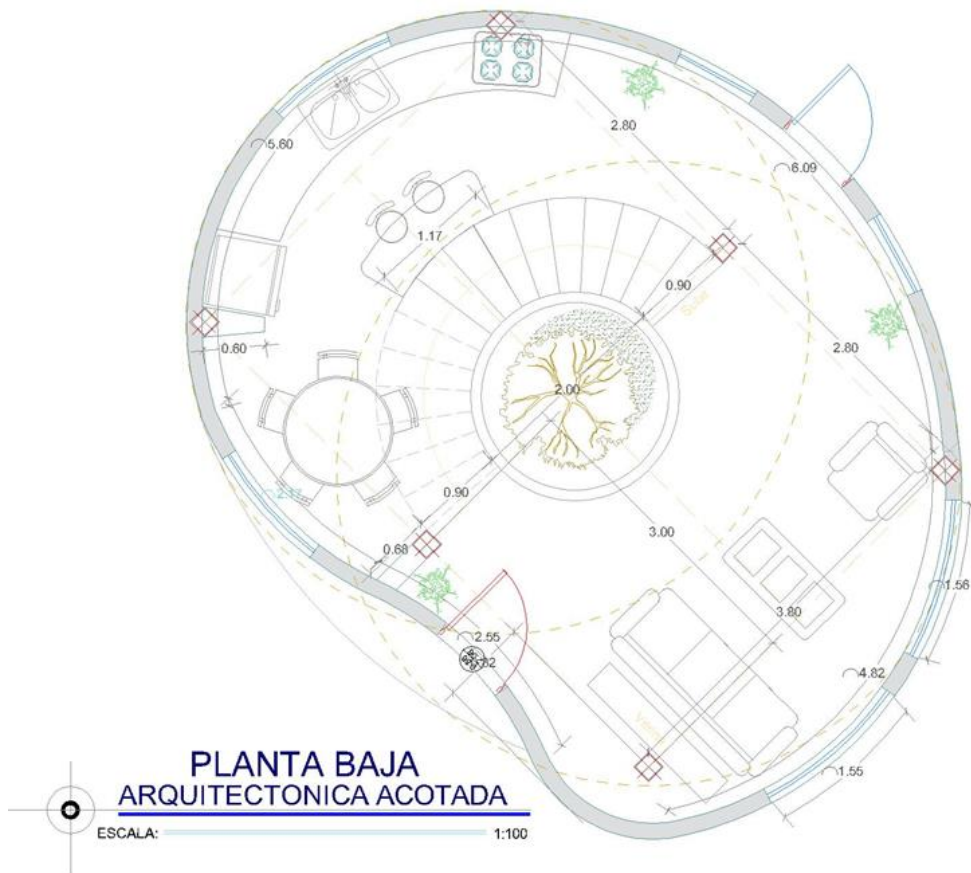


Figura 1: Plano arquitectónico de la planta baja.

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

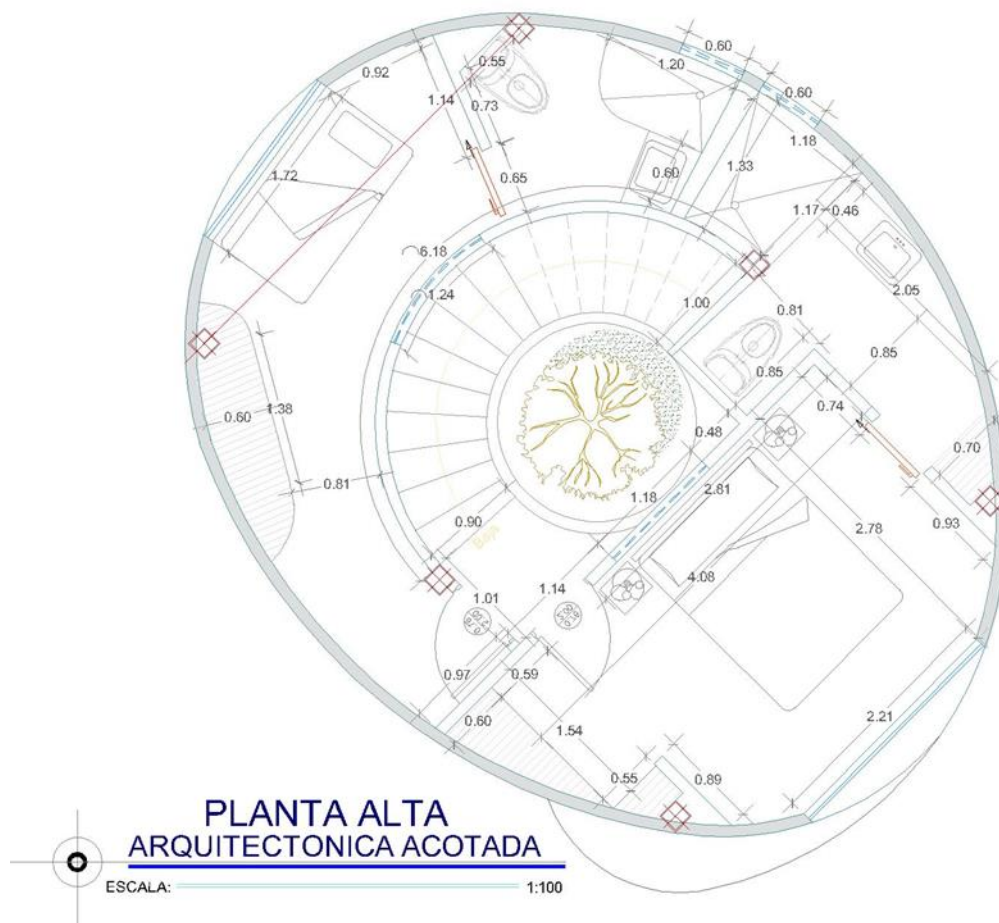


Figura 2: Plano arquitectónico de la planta alta.

El material principal de la estructura de la vivienda será de caña Guadua Angustifolia Kunth (GaK), ya que este material se utiliza como forma de columna, viga, viguetas, pie derecho, entramados, entrepisos, entre otros; cualquier tipo de estos elementos estructurales debe cumplir con aspectos que aseguren la calidad de estos. Según Vanga *et al.*, “Uno de los materiales que hace que las viviendas sean sostenibles y que ha demostrado tener propiedades físico mecánicas ideales para la construcción es la caña guadua” (2021, p. 68). Algunas de las recomendaciones son que los culmos de GaK no deben presentar perforaciones causadas por ataques de insectos. No se consideran óptimos los culmos que presenten pudrición por hongos (NEC-SE-GUADÚA, 2016). Todas las construcciones con caña Guadua Angustifolia Kunth deben tener un sistema estructural que cumpla con los requisitos de resistencia sísmica indicados en la NEC-SE-DS (2014a, 2014b y 2014c) y la NEC-SE-VIVIENDA (2014a y 2014b) relativa a vivienda de hasta dos pisos con luces de hasta 5m.

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

El estudio a nivel estructural de la vivienda es importante para poder establecer garantía a la estructura, siguiendo las Normas Ecuatorianas de la Construcción. Se tomarán en cuenta las características físico-mecánicas según la NEC-SE-GUADÚA (2016) que indica el % de humedad al 16% y establece cambiar las características de esfuerzos últimos y módulos de elasticidad. Se aseguró que cumpliera con lo establecido para esbeltez de los elementos cortantes, elementos sometidos a flexión e inercias, entre otros.

Para un correcto análisis estructural se trabajó con las cargas muertas, cargas vivas y sobre carga permanente según indica la NEC-SE-CG (2014), relativa a Cargas Gravitatorias, usándose para la cubierta una carga viva de 0,7 kN/m² y una carga muerta de 1,0 kN/ m². Se realizó el estudio sísmico modelando la estructura en un programa computacional de elementos finitos para establecer parámetros que indica la NEC-SE-DS (2014 a) relativa a Diseño Sísmico, en la cual se escogió la zona sísmica, coeficientes de tipos de suelos (dado que el suelo que se consideró fue de tipo “D” que indica que es un suelo desfavorable). Se estableció el cortante basal, derivas de piso, cargas horizontales, modos de vibración de la estructura y periodos de vibración.

Dado que la estructura es del material GaK y según las normativas está establecido que al juntar culmos se aumentará la resistencia por inercias, y por sus características de peso y flexibilidad, es considerada perfecta para soportar sismos, siempre y cuando se sigan los parámetros normativos de construcción y diseño técnico. Se deberá considerar usar mano de obra especializada para la ejecución de obra de bambú para garantizar la calidad y durabilidad de esta.

La capacidad admisible para el cálculo de la cimentación según el estudio de suelo será de 0.68 kg/cm². Según el estudio de suelo es tipo D. El estudio de suelo indicó que el nivel freático se encuentra 2 metros de profundidad. El terreno escogido para diseñar la vivienda será cerca del parque forestal en la parroquia 12 de Marzo de la ciudad de Portoviejo, en la Avenida Urbina. Como referencia para determinar el tipo de suelo del lugar, se tuvo en cuenta el Informe No. GPM-CMCC-2022-0977 del estudio de suelo que realizó la Prefectura de Manabí en el 2022 para el proyecto “Rehabilitación y mejoramiento del Parque Forestal de la Parroquia 12 De Marzo del cantón Portoviejo” (2022).

La densidad o el peso por unidad de volumen de la GaK está entre 700 a 900 kg/m³, en la cual se escoge el número mayor en zonas tropicales como lo es en el caso de Portoviejo, Manabí, dónde se eligió trabajar 900 kg/m³ porque su contenido de humedad es de 16%. En la NEC indican valores de esfuerzos admisibles, esfuerzos límites y módulos de elasticidad como se muestra en la tabla 3. Las

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

indicaciones son de acuerdo con un contenido de humedad específico (CH=12%), es decir, que se deben modificar estos valores si el contenido de humedad cambia como es el caso de Portoviejo, que es 16% (NEC-SE-GUADÚA, 2016).

Tabla 3: Valores modificados para Portoviejo de MPa (CH=16 %) para esfuerzo admisible, esfuerzo último y módulos de elasticidad

VALORES MODIFICADOS DE ESFUERZO ADMISIBLE PARA PORTOVIEJO, MPA (CH=16 %)				
Fb (Flexión)	Ft (Tracción)	Fc (Compresión)	Fp* (Compresión)	Fv (Corte)
12,45	16,91	11,62	1,246	1,068
VALORES MODIFICADOS DE ESFUERZO ÚLTIMOS PARA PORTOVIEJO, MPA (CH=16 %)				
Fb (Flexión)	Ft (Tracción)	Fc (Compresión)	Fv (Corte)	
37,35	104,13	30,71	0,89	
VALORES MODIFICADOS DE MÓDULOS DE ELASTICIDAD PARA PORTOVIEJO, MPA (CH=16 %)				
Modulo percentil 5	Modulo percentil 5		Modulo mínimo	
E0,5	E0,05		Emin	
11280	7050		3760	

Fp*: Compresión perpendicular al eje longitudinal.

Los valores de esfuerzos admisibles y coeficientes de modificación para Portoviejo serán los indicados en la tabla 4.

Tabla 4: Valores de Esfuerzos Admisibles (con los factores de reducción de resistencia) en la sollicitación Portoviejo, MPa (CH=16%) y Coeficientes de modificación

VALORES DE ESFUERZOS ADMISIBLES EN LA SOLICITACIÓN PORTOVIEJO MPA (CH=16%)	

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

	Fb (Flexión)	Ft (Tracción)	Fc (Compresión)	Fp* (Compresión)	Fv (Corte)
Fki	12,81	17,138	11,956	12,628	10,824
Fi	0	2,85633	0	0	0,328

COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN

Coef. Mod.	Fb (Flexión)	Ft (Tracción)	Fc (Compresión)	Fp* (Compresión)	Fv (Corte)
Cd	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Cm	0,83	0,89	0,83	0,89	0,89
Ct	1	1	1	1	1
Cl	0,98	1	1	1	1
Cf	1,18	1	1	1	1
Cr	1	1	1	1	1
Cp	1	1	1	1	1
Cc	1	1	1	1	1
Fi	12,45	16,91	11,62	1,246	1,068
F'i	10,75	13,54	8,68	0,998	0,855

Fp*: Compresión perpendicular al eje longitudinal.

Una vez obtenidos los valores indicados, se procede a indicar el proceso de diseño como se muestra en la figura 3 y la tabla 5, según la NEC-SE-GUADÚA (2016).

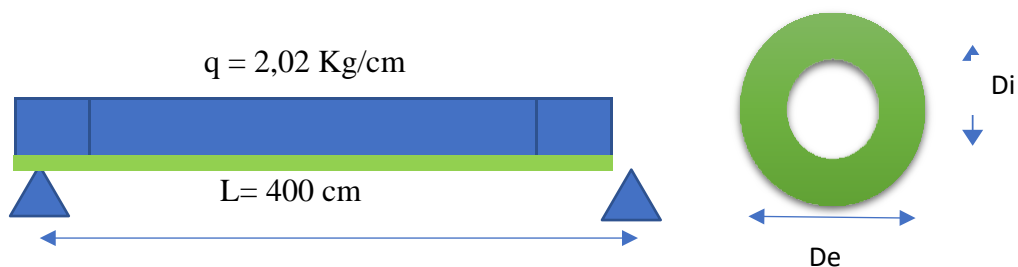


Figura 3: Viga de sección expuesta a carga.

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

Tabla 5: Resultados del pre diseño

DATOS	
Diámetro mayor (De)	10 cm
Diámetro menor (Di)	6 cm
L mayor	400 cm
RESULTADOS	
Conicidad (% con)	0,01
Inercia (I)	3367,8 cm ⁴
Deflexión	1,62 cm
Deflexión admisible	1,66 cm
$d < dadm$	CUMPLE
POR ESFUERZOS ADMISIBLES A FLEXIÓN	
Área neta (A)	50,26 cm ²
Momento actuante (M)	40200 kg/cm ²
Módulo de sección (S)	85,45 cm ³
Esfuerzo a flexión actuante (fb)	4,70 MPa
Esfuerzo admisible modificado (F'b)	10,75 MPa
$fb < F'b$	CUMPLE
POR ESFUERZOS CORTANTES PARALELOS A LAS FIBRAS	
Fuerza cortante (V)	5039,12 N
Esfuerzo cortante paralelo a las fibras (fv)	0,91 MPa
Esfuerzo admisible para corte paralelo a las fibras modificado (F'v)	0,86 MPa
$fv < F'v$	NO CUMPLE
APLASTAMIENTO	
Fuerza aplicada en el sentido perpendicular a las fibras (R)	1985,54 N
Esfuerzo actuante en compresión perpendicular a la fibra (fp)	0,47 MPa
Esfuerzo admisible en compresión perpendicular a la fibra modificado (F'p)	0,99 MPa

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

$f_p < F'_p$	CUMPLE
ESFUERZOS A TENSIÓN AXIAL	
Fuerza de tensión axial aplicada (T)	34042,07 N
Esfuerzo a tensión actuante (ft)	6,77 MPa
Esfuerzo de tensión admisible modificado (F't)	13,54 MPa
$f_t < F'_t$	CUMPLE
Longitud Efectiva (le)	6000 mm
ESBELTEZ	
Radio de giro (r)	4,12 cm
Esbeltez (λ)	145,52 cm
límite entre las columnas intermedias y las columnas largas (Ck)	73,10 MPa
Módulo de elasticidad percentil 5 (E0,05)	7050
COLUMNA INTERMEDIA	
$73 < 145,52 < 150$	
ELEMENTOS SOLICITADOS A FLEXIÓN CON TENSIÓN AXIAL	
ft	6,77 MPa
F't	13,54 MPa
fb	4,70 MPa
F'b	10,75 MPa
$0,93 < 1$	CUMPLE
ELEMENTOS SOLICITADOS A FLEXO-COMPRESIÓN	
Coefficiente de magnificación de momentos (Km)	-0,1
Carga de compresión actuante (Na)	58408 N
Carga crítica de Euler (Ner)	8258 N
Esfuerzo de compresión paralela a la fibra actuante (fc)	1,01 MPa
Esfuerzo de compresión paralela a la fibra admisible (F'c)	8,68 MPa
fb	4,7 MPa
Fb	10,75 MPa
$0,071 < 1$	CUMPLE

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

Para el cálculo de la sobrecarga permanente se consideraron los valores como masillado, acabados entre pisos y el peso de las paredes. Se debe tener en cuenta que el pre diseño es aplicado a un solo culmo, por ello el esfuerzo cortante paralelo a las fibras no cumple, ya que el GaK presenta menos resistencia a cortante y por ello se usan más de dos culmos en las vigas.

Para realizar el correcto análisis de la estructura de GaK de la vivienda, dicho diseño fue llevado al programa Etabs (figura 4), donde se evaluaron varios aspectos como el ingreso de cargas y datos según corresponde. Se tuvieron en cuenta las cargas muertas en cubierta con un total de 27.52kg/m^2 , carga viva en cubierta que en la NEC-SE-CG (2014, p. 27) indica la carga de uso para cubiertas, la cual es $0,7\text{ kN/m}^2$ o $71,38\text{kg/m}^2$. También se calculó las cargas muertas del piso mediante peso unitario de la losa o piso, de los culmos de GaK y consideraciones extras, el peso propio de la guadua es de $2,5\text{ kg/ml}$. Se hizo una sumatoria del peso total más el peso muerto de la GaK y no supera los 100 kg/m^2 , es por eso por lo que se aumentó la carga muerta a 101.97 kgf/m^2 . Para la carga viva de piso en la NEC-SE-CG (2014, p. 29) indica la carga de uso para piso de vivienda en la cual es 2 kN/m^2 o 200kg/m^2 .

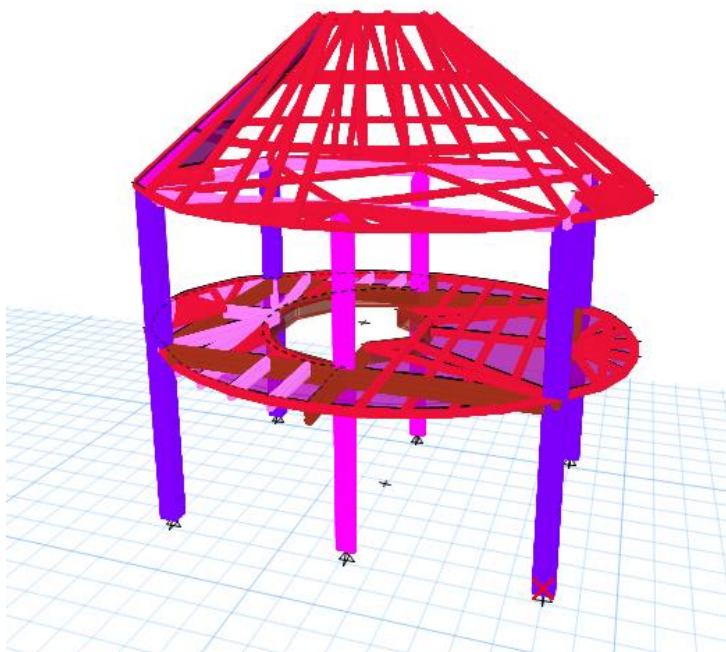


Figura 4: Modelo tridimensional en ETBAS.

Se realizó el Espectro de diseño tomando en cuenta factores de sitio, coeficientes de seguridad, factores de reducción, entre otros:

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

- . Se escogió el valor de Z más alto según el sitio que es Portoviejo, donde se encuentra ubicado el coeficiente de zona 0,5 según la NEC-SE-DS (2014c, p. 100) la caracterización es “Muy Alta”.
- . Para el tipo de Suelo se escogió uno de los más desfavorables en la cual es el tipo “D” ya que el suelo en Portoviejo es de baja resistencia por sus agregados.
- . El coeficiente η respecto a la relación de amplificación espectral indica 1.80 para las costas de Ecuador (excepto Esmeraldas) (NEC-SE-DS, 2014a, p. 34).
- . Los factores $F_a = 1.12$, $F_d = 1.11$ y $F_s = 1.4$ se escogieron de acuerdo a su tipo de suelo y zona sísmica.
- . El coeficiente de importancia es igual a 1 porque la estructura no tiene mas de dos pisos.
- . El factor de reducción en GaK según lo aplica la norma en definición a la sección 3.2 del capítulo NEC-SE-VIVIENDA (2014a) concluye que es $R=2$. No obstante se tomaron en consideraciones los factores de irregularidad en planta y elevación en la cual lo indica la NEC-SE-DS (2014b, p. 51).

$$\phi_E=0,9 \text{ y } \phi_P=0,9 \quad R = 2 * \phi_E * \phi_P \quad R=2 \times 0,9 \times 0,9 \quad R = 1,62$$

En el programa se escoge la sección de las normas de construcción NEC-SE-DS (2014a y 2014b) en la cual usa todas las ecuaciones ya mencionadas para el valor de la Aceleración Espectral (figura 5).

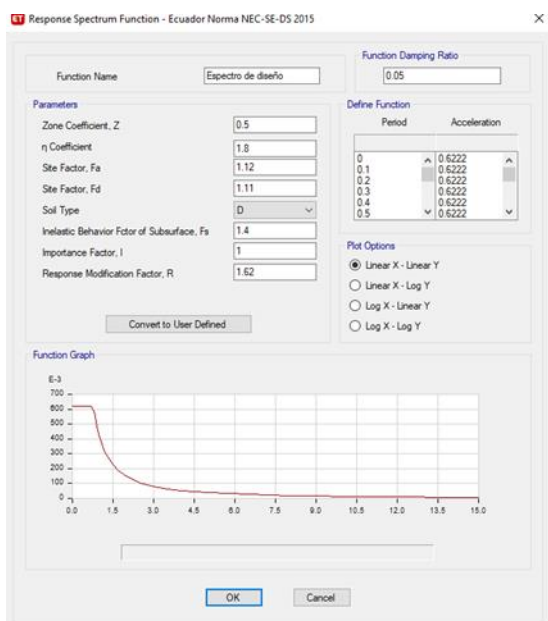


Figura 5: Aceleración espectral.

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

En cuanto al cálculo de cortante basal “V” de diseño (coeficiente sísmico) podemos indicar que se usará para el análisis del programa, el cual se tomará en cuenta para la ciudad de Portoviejo.

$$V = \frac{IS_a(T_a)}{R\phi_p\phi_E}$$

Para determinar los límites del espectro de respuesta Sa en Portoviejo, se debe determinar el periodo Tc. Los datos se describieron en el espectro de diseño.

$$T_c = 0.55x f_s \frac{fd}{fa} = 0.55x 1.4x \frac{1.11}{1.12} = 0.763$$

$$S_a = \eta Z F_a = 1.8x 0.5x 1.12 = 1.008$$

Finalmente reemplazando la ecuación del cortante basal, se obtiene el coeficiente sísmico de:

$$V = \frac{IS_a(T_a)}{R\phi_p\phi_E} = \frac{1x0.763}{2x0.9x0.9} = 0.622$$

Para sacar el cortante basal completo con el peso de la estructura, se multiplica el valor del coeficiente con el peso V= C x W (tabla 6).

Tabla 6: Equivalencia de fuerzas laterales

EQUIVALENCIA DE FUERZAS LATERALES				
Dirección	Periodo usado	C	W (kN)	V(kN)
X+Ecc.Y	0 a 1.94	0.622	7.853	4.88
Y+Ecc.X	0 a 1.94	0.622	7.853	4.88

En cuanto a las deflexiones por efecto de cargas vivas y muertas la expresión para calcular la deriva máxima inelástica de cada piso será la siguiente según la NEC–SE-DS (2014b, p. 69).

$$\Delta M = 0,75 * R * \Delta E$$

ΔM = deriva máxima inelástica

ΔE = desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas

R= factor de reducción de resistencia

$$\Delta M_x = (0,75) (1,62) (0,00782) = 0,00708 = 0,95 \% < 2\%$$

$$\Delta M_y = (0,75) (1,62) (0,00539) = 0,0065 = 0,65 \% < 2\%$$

El análisis de las derivas de piso, tanto en el sentido X como en el sentido Y de las estructuras, muestran que se está dentro del límite mencionado en la NEC–SE-DS (2014 b), el cual se ha fijado

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

en 2% siendo los valores de las derivas de piso bastante pequeños, dado que la guadua tiene la capacidad de ser elástica entre sus fibras le permite mayor absorción de energía.

También se obtuvieron los resultados de los modos de vibración como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7: Factores de dirección modal

FACTORES DE DIRECCIÓN MODAL						
Case	Mode	Periodo	UX	UY	UZ	RZ
		sec				
Modal	1	0,95	1,00	0,00	0,00	0,00
Modal	2	0,84	0,00	0,99	0,00	0,01
Modal	3	0,76	0,00	0,01	0,00	0,99
Modal	4	0,23	0,00	0,09	0,91	0,00
Modal	5	0,18	0,68	0,06	0,25	0,02
Modal	6	0,16	0,84	0,02	0,14	0,00
Modal	7	0,15	0,93	0,00	0,07	0,00
Modal	8	0,13	0,00	1,00	0,00	0,00
Modal	9	0,11	0,03	0,00	0,97	0,00
Modal	10	0,09	0,10	0,33	0,56	0,00
Modal	11	0,09	0,12	0,29	0,59	0,01
Modal	12	0,09	0,03	0,06	0,90	0,00

Modo de vibración 1: En el modo de vibración 1 la estructura se desplaza en sentido X y sentido Z de manera no tan significativamente, ya que la caña guadua tiene la particularidad de ser flexible y elástica.

Modo de vibración 2: En el modo de vibración 2 la estructura tendrá rotación, pero con desplazamientos casi nulos, la estructura no sufrirá daños en ese sentido ya que la guadua es flexible y funciona bien a compresión. No obstante, se debe realizar las cubiertas con uniones empernadas y aseguradas.

Modo de vibración 3: En el modo de vibración 3 la estructura tendrá desplazamientos aceptables por la geometría de la cubierta. Habrá desplazamientos en el sentido “Y” y rotación aceptable.

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

Finalmente, las columnas serán de caña guadua (GaK) hasta de 4,25m en sección tipo cruz de 5 culmos y las diagonales serán de 1 culmo; no obstante, por cuestiones de seguridad las columnas de GaK reposarán en dados de hormigón armado como indica el plano de cimentación estructural; el hormigón tendrá entre el 1 al 3% de área de acero corrugado estructural como lo establece la NEC-2015. Las Vigas principales tipo cercha con vigas compuestas en latillaje uniedo culmos de hasta 6 culmos en la parte inferior. Para las vigas secundarias es un solo culmo cada 60cm. Todas las vigas tendrán sus características según indica la NEC-SE-GUADÚA (2016) .

La cimentacion sera de zapatas aisladas de 1,2m x 1,4 m de 25cm de espesor, se realizará un muro de hormigon ciclopeo, la capacidad portante del hormigón debe cumplir los $f'c=210\text{kg/cm}^2$ a los 28 días de fraguado, se realizará pruebas de laboratorio para determinar la resistencia. El acero de refuerzo debe cumplir los $f_y=4200\text{kg/cm}^2$. El hormigón Ciclopeo tendrá una relación 60-40, es decir 60% de hormigón de cemento con una resistencia de 180kg/cm^2 , y un 40% de piedra bola. El relleno y mejoramiento para el suelo será con sub-base clase 3 debidamente hidro-compactado. Se recomienda utilizar material filtrante en los suelos que evidencien niveles freaticos altos (figura 6).

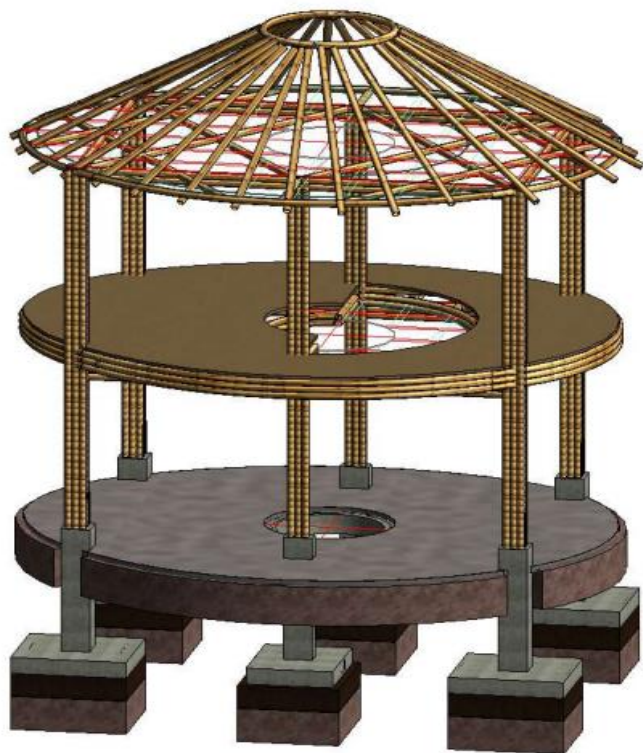


Figura 6: Imagen 3D de la estructura de GaK y cimentación.

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

A continuación se presentan los planos de cimentación en las figuras 7, 8 y 9.

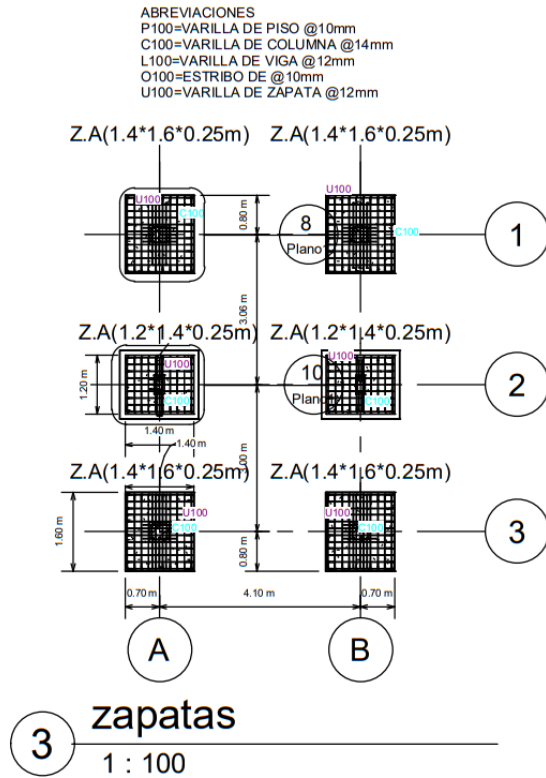


Figura 7: Vista en planta del plano de zapatas.

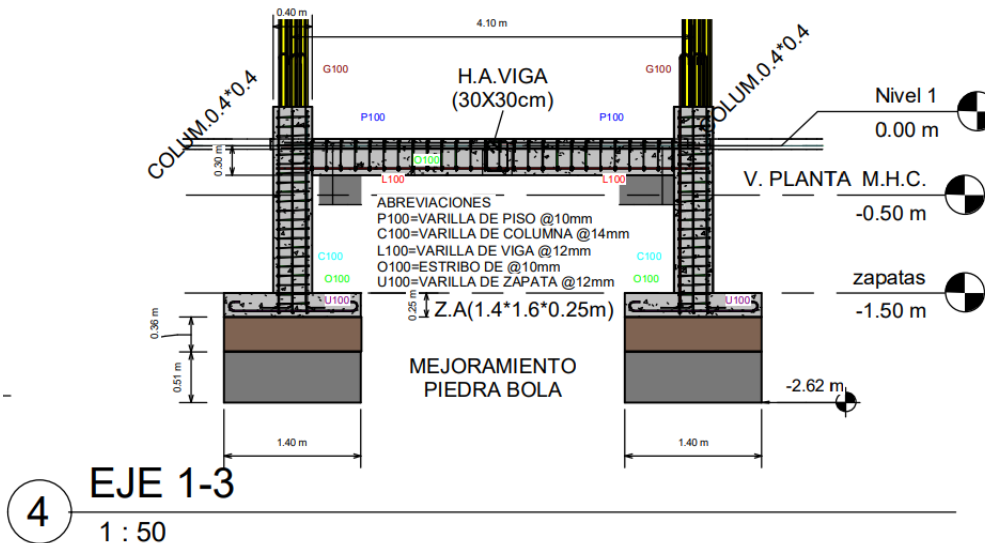


Figura 8: Vista en elevacion de zapatas y columnas.

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

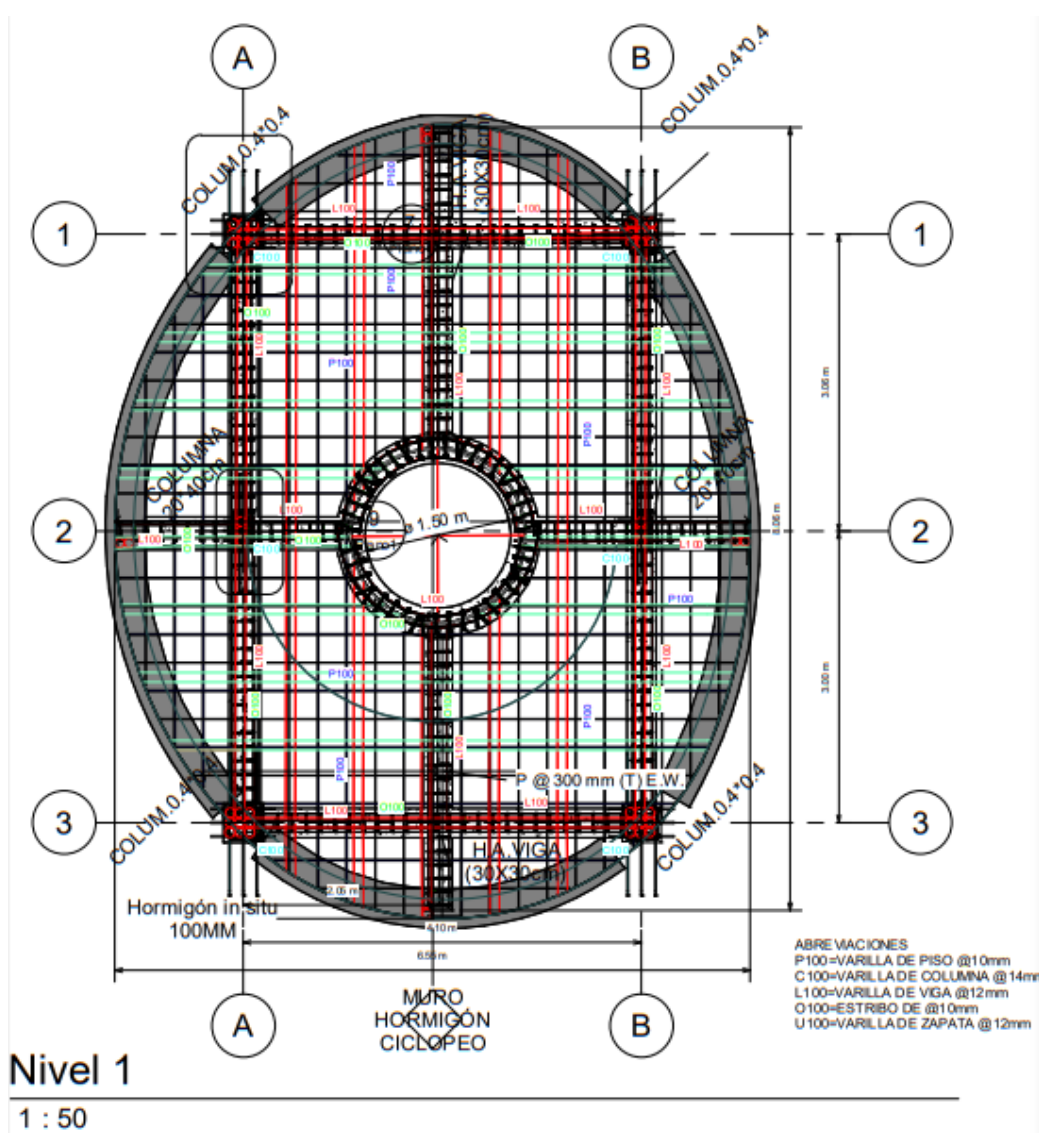


Figura 9: Vista en planta de armadura de zapatas y muro de hormigón ciclópeo.

El resultado final de la vivienda para habitar se puede apreciar en las figuras 10, 11 y 12.

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo



Figura 10: Fachada de la casa.



Figura 11: Dormitorio (planta alta) y Cocina (planta baja).

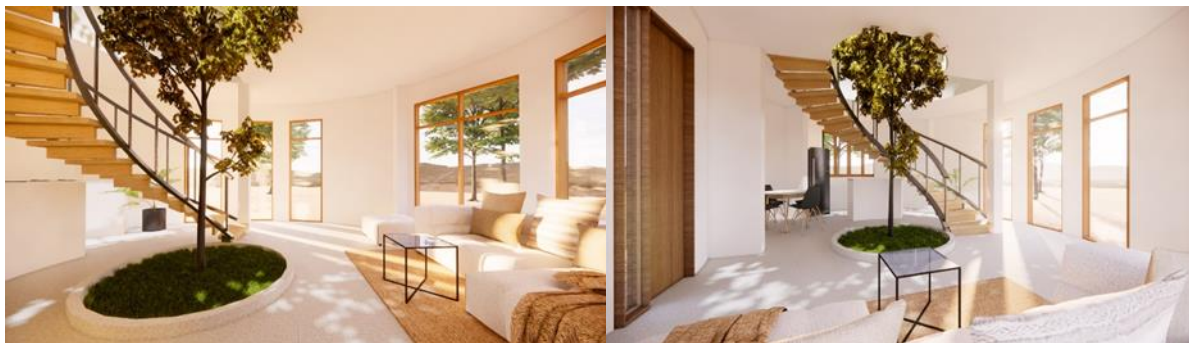


Figura 12: Interior de la vivienda.

Seguidamente, se presenta en la tabla 8 el presupuesto de la vivienda.

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

Tabla 8: Presupuesto general de la vivienda

Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	PRELIMINARES				
1.1	Replanteo y nivelación	m ²	41,93	1,25	52,41
1.2	Excavación y desalojo	m ³	10,72	7,17	76,86
2	CIMENTACIÓN				
2.1	Relleno con piedra bola bajo cimiento	m ³	6,27	13,8	86,53
2.2	Relleno con mejoramiento para cimientos	m ³	3,19	14,23	45,39
2.3	Muro de hormigón ciclópeo 180kg/cm2	m ³	4,77	116,14	553,99
3	ESTRUCTURA				
3.1	Acero de refuerzo fy= 4200 kg/cm2	kg	1.051,75	1,7	1.787,98
3.2	Hormigón simple de 210 kg/cm2	m ³	4,54	160	726,4
3.3	Viga de Hormigón (30x30 cm)	m ³	2,72	170	462,4
3.4	Culmo Guadua 10 cm para columnas (L = 6m)	m	282,24	6	1.693,44
3.6	Culmo Guadua 10 cm	m	464,1	6	2.784,60
3.7	Viga en latilla GaK 10 cm	m	140,44	1,75	245,77
3.8	Pernos de anclaje (incluye tuercas y arandelas)	u	221	6	1.326,00
4	CONTRA PISO				
4.1	Contra piso hormigón simple	m ³	3,94	160	630,4
4.2	Latilla GaK para piso	m ²	41,93	1,75	73,38
5	MAMPOSTERÍA				
5.1	Mampostería de Cob espesor 30 cm	m ³	17,48	110	1.922,80
5.2	Mampostería de Cob Espesor 20 cm	m ³	11,65	110	1.281,50
5.3	Enlucido vertical y horizontal	m ²	278,4	15	4.176,00
6	INSTALACIONES ELÉCTRICAS				
6.1	Puntos de 110 tomacorrientes	u	15	32	480
6.2	Interruptor para luz	u	6	1,99	11,94

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

7 INSTALACIONES SANITARIAS Y DE AGUA POTABLE					
7.1	Tubería de 4" para desagüe	m	25	1,05	26,25
7.2	Tubería de 110 mm para desagüe	m	28	2,11	59,08
7.3	Tubería de 1/2 para agua potable	m	22	8,78	193,16
7.4	Fregadero de lava plato de acero inoxidable	u	1	110	110
7.5	Lavamanos	u	1	60	60
7.6	Inodoro	u	2	130	260
7.7	Juego de Duchas	u	2	30	60
8 ACABADOS					
8.1	Ventanas de vidrio y madera	m ²	22,19	80	1.775,20
8.2	Puertas de madera laminada doble tambor	u	5	195	975
8.3	Pintura Fotocatalítica	m ²	278,4	29,73	8.276,83
8.4	Empaste de pared	m ²	278,4	5,5	1.531,20
8.5	Escalera de madera con pasamanos	u	1	2.400,00	2.400,00
9 CUBIERTA					
9.1	Cubierta de hojas de palma seca	m ²	58	5,15	298,70
10 ORNAMENTACIÓN					
10.1	Árbol de guayacán	u	1	5	5
TOTAL					34.448,21

Conclusiones

En conclusión, la biomímesis ha demostrado ser una herramienta valiosa en la ingeniería civil, al aprovechar los principios y estrategias encontradas en la naturaleza para diseñar soluciones más eficientes y sostenibles. Al estudiar las estructuras y comportamientos de los seres vivos, como el estudio del nido de las termitas como fuente de inspiración para construcciones, los ingenieros civiles pueden aplicar estos conceptos en la creación de infraestructuras más resistentes y duraderas.

La biomímesis permite una mayor optimización en el uso de materiales, energía y recursos, reduce el impacto ambiental y promueve la resiliencia de las estructuras frente a desafíos como terremotos u otros desastres naturales. Además, esta disciplina fomenta una relación más armoniosa entre la

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

infraestructura construida y el entorno natural, buscando soluciones que se integren de manera respetuosa en el paisaje y promoviendo la regeneración de los ecosistemas. En definitiva, la biomímesis en la ingeniería civil ofrece un enfoque innovador y sostenible para la construcción de infraestructuras, mejorando la eficiencia, la durabilidad y el respeto por el medio ambiente.

Esta investigación se enfocó en diseñar una vivienda sostenible y rentable basada en la biomímesis, utilizando el nido de termitas como inspiración para su forma y sistema de ventilación. Se realizaron cálculos estructurales utilizando caña Guadua Angustifolia Kunth (GaK) como material principal, ya que es un material renovable y amigable con el medio ambiente, por ello es óptimo para la construcción por su bajo consumo de energía y de recursos naturales. Se llevó a cabo análisis sísmico para garantizar la resistencia y seguridad de la estructura.

Los resultados obtenidos muestran que es factible diseñar una vivienda biomimética sostenible que cumpla con los parámetros de temperatura y humedad de la ciudad de Portoviejo. Se identificó que la vivienda puede beneficiarse de un sistema de ventilación basado en el nido de las termitas, utilizando una abertura central, y un material en las paredes que permita de manera natural regular la temperatura interior, además de la implementación de un pozo provenzal para lograr aún mejor confort térmico.

La vivienda propuesta cuenta con características que la hacen eco amigable, como el uso de materiales naturales como la caña guadua, pintura foto-catalítica para reducir la contaminación del aire y un diseño que aprovecha las características climáticas de la zona.

Respecto a la diferencia de precios entre viviendas ecológicas y viviendas construidas con materiales convencionales, no es tan significativa, además de que la inversión en una vivienda ecológica puede brindar beneficios a largo plazo en términos de eficiencia energética, sostenibilidad y menor impacto ambiental. Aunque los costos iniciales pueden ser ligeramente mayores, los ahorros en costos operativos y el impacto positivo en el medio ambiente hacen que la opción ecológica sea cada vez más atractiva para aquellos que buscan un hogar consciente y responsable con el entorno.

Para el cálculo estructural, el análisis y revisión de la información preliminar acerca de la caña Guadua Angustifolia Kunth ayudó a realizar un resumen de los parámetros principales estipulados en la NEC-SE-GUADÚA (2016) para mejorar los criterios de diseño de la estructura. Al construir estructuras con materiales mixtos de manera correcta y con la metodología y normas adecuadas, se garantiza la calidad y durabilidad de la estructura ante posibles cargas naturales. La construcción y uniones entre vigas y columnas hace que la estructura le dé más soporte y la transmisión de energía

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

sea más eficaz; aunque sean valores un poco elevados en desplazamientos la GaK, se da esa ventaja ante los otros materiales de construcción. Se llegó a la conclusión de que, al incrementar la inercia en columnas se aumenta la capacidad de absorber energía producida por las fuerzas verticales; no obstante, se concluye que la GaK tiene una buena capacidad de flexibilidad en sus fibras.

La biomímesis es una herramienta valiosa en la ingeniería civil y la construcción, ya que permite desarrollar proyectos que sean sustentables, eficientes y amigables con el medio ambiente. Implementar soluciones inspiradas en la naturaleza puede contribuir a un futuro más sostenible y comprometido con el cuidado del medio ambiente.

Para Ecuador, se destaca la importancia de fomentar la investigación y aplicación de la biomímesis en proyectos de construcción, para aprovechar los recursos naturales y crear edificaciones que se integren armónicamente con el entorno. Proyectos como el propuesto en este artículo podrían sentar las bases para un nuevo pensamiento en la sociedad, donde se aprenda a vivir en armonía con la naturaleza y se promueva un desarrollo sustentable. Es crucial que profesionales, especialmente ingenieros civiles y arquitectos, se instruyan acerca de la biomímesis y la implementen en sus proyectos para garantizar la sustentabilidad socio-ecológica y socio-económica.

Es por ello que se recomienda promover la conciencia ambiental. Es fundamental educar a la población sobre la importancia de las construcciones sostenibles y sustentables. Se deben llevar a cabo campañas de sensibilización para fomentar la adopción de prácticas y materiales eco-amigables en el sector de la construcción. Además, promover la educación y concientización sobre las ventajas y beneficios de las construcciones de este tipo en Ecuador. Esto incluye la divulgación de información sobre las prácticas y tecnologías disponibles, así como la capacitación de profesionales y la sensibilización de la población en general.

También es esencial que las universidades incorporen la biomimética como parte del currículo en las carreras de ingeniería civil y arquitectura. Esto permitirá formar profesionales capacitados para diseñar soluciones más sostenibles y eficientes inspiradas en la naturaleza. La biomimética abarca diversas áreas del conocimiento, por lo que se recomienda fomentar la colaboración interdisciplinaria entre arquitectos, ingenieros civiles, biólogos, ecologistas y otros expertos en ciencias naturales para desarrollar proyectos biomiméticos más completos y efectivos.

Se recomienda promover el uso de materiales ecológicos, como la caña *Guadua Angustifolia* Kunth, que es una alternativa sostenible para la construcción de estructuras. Esto ayudará a reducir la huella ambiental de las edificaciones y fomentar la conservación de recursos naturales. La biomimética es

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

una disciplina en constante evolución, por lo que se recomienda continuar la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías y soluciones basadas en la naturaleza. La mejora constante de estas prácticas permitirá avanzar hacia un futuro más sostenible y armonioso con el entorno natural.

Referencias

- Amario, M. & Escobar, C. (2022). Vivienda autosustentable con disminución de CO₂ en su construcción. Colombia: Universidad Católica de Pereira.
<https://repositorio.ucp.edu.co/handle/10785/9384>
- Beermann, K. (2021). Inspección al ciclo de vida de proyectos de construcción sostenible: hacia una hoja de ruta basada en biomimetismo y economía circular. Memorias del Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología – APANAC, 451-456. doi.org/10.33412/apanac.2021.3220
- Bucaram, J. (31 de mayo del 2021). Guayacán el árbol que despierta la vida. El Misionero. Periódico oficial de la Universidad Agraria del Ecuador. Ed #860.
http://archivo.uagraria.edu.ec/web/el_misionero/El-Misionero-860.pdf
- Calle, V. (2023). El diseño regenerativo local para la transición, un enfoque desde la biomímesis. Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación, (195), 167-180. DOI:
<https://doi.org/10.18682/cdc.vi195.9637>
- Collantes, H. (2018). Utilización de la tierra como material de construcción de viviendas (Tesis de grado). Universidad Privada del Norte, Perú.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/26261>
- Espinoza, L. (2017). Arquitectura biomimética Centro de Investigación Biológica, Hospital de Navarra, España. Revista Arquitectos, 24 (32), 33-38.
<https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Arquitectos/article/view/1980/1918>
- Espiga, L. (2016). Materiales fotocatalíticos y sus aplicaciones en construcción. (Tesis de maestría). Universidad de Cataluña, España.
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/84141/Mem%C3%B2ria_LisbonaLucia%20Espiga.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Flores, P. (2021). La construcción sostenible en Latinoamérica. Limaq, (007), 161-173. DOI:
<https://doi.org/10.26439/limaq2021.n007.5183>
- Gamero, E.; Ruiz-Roso, M.; Trinidad, M.; García, R. & Cuéllar, S. (2020). Utilización de materiales naturales y reciclados para alcanzar edificios de energía casi nula - Proyecto Life Renatural NZEB en LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia (editor). CIES2020-XVII Congreso Ibérico e XIII Congreso Ibero-americano de Energía Solar, (pp. 1087-1090). México. <https://repositorio.lneg.pt/handle/10400.9/3466>

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

- Gázquez, F.; Quindós, L.; Rábago, D.; Fuente, I.; Celaya, S. & Sainz, C. (2022). The role of cave ventilation in the triple oxygen and hydrogen isotope composition of condensation waters in Altamira Cave, northern Spain. *Revista de Hidrología*, 606, 127416. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127416>
- GECO. (2021). Canadian well: what it is and how it works. <https://es.gecoexpo.com/blog/energy-climate/canadian-well-what-it-is-and-how-it-works.html>
- Itatí, A.; Vedoya, D. & Morán, R. (2019). El diseño arquitectónico sustentable basado en procesos naturales. *Revista Arquitecno*, (14), 37-38. DOI: <http://dx.doi.org/10.30972/arq.0144148>
- Jiménez, C. (2018). *Diseño Biomimético* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, España. https://oa.upm.es/52147/1/TFG_Jimenez_Arevalo_Carlos.pdf
- León, J. (2017). *La Chimenea Solar. Parámetro de diseño de un sistema pasivo de generador de movimiento* (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. España. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/115038?show=full>
- López, A & Pueblas, M. (2020). *Arquitectura biomimética y biomímesis*. Universidad de Alicante, España. <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/101905>
- MAATE - Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (4 de noviembre del 2015). Acuerdo Ministerial 140 R.O 387 - Incentivos Ambientales. <https://www.ambiente.gob.ec/punto-verde1/>
- Martínez, G. (2019). *Pintura fotocatalítica - La pintura que es capaz de purificar el aire*. <https://www.ingenieriayconstruccioncolombia.com/pintura-fotocatalitica/>
- Mendoza, J. & Vanga, M. (2020). Realidad y expectativa sobre la construcción sostenible en Ecuador. *Revista San Gregorio*, (43), 197-209. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2528-79072020000400197
- NEC-SE-CG - Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014). Cargas (no sísmicas). <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SE-CG-Cargas-No-Sismicas.pdf>
- NEC-SE-VIVIENDA - Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014a). Vivienda de hasta dos pisos con luces de hasta 5m parte 1. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/12.-NEC-SE-VIVIENDA-parte-1.pdf>

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

- NEC-SE-VIVIENDA - Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014b). Vivienda de hasta dos pisos con luces de hasta 5m parte 2. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/13.-NEC-SE-VIVIENDA-parte-2.pdf>
- NEC-SE-DS - Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014a). Peligro Sísmico, diseño sismo resistente parte 1. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>
- NEC-SE-DS - Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014b). Peligro Sísmico, diseño sismo resistente parte 2. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>
- NEC-SE-DS - Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014c). Peligro Sísmico, diseño sismo resistente parte 3. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>
- NEC-SE-GUADÚA - Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2016). Estructuras de Guadua. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/NEC-SE-GUADUA-VERSION-FINAL-WEB-MAR-2017.pdf>
- Osorio, R. (2019). Biomímesis, inspiración natural para la innovación. *Revista Cintex*, 24(2), 10-11. DOI <https://doi.org/10.33131/24222208.349>
- Pérez, C. (2019). Construcciones de la naturaleza. Sus técnicas (Tesis de grado). Universidad Politécnica de Valencia, España. <http://hdl.handle.net/10251/120069>
- Prefectura de Manabí. (2022). Estudio de suelo SPT para la rehabilitación y mejoramiento del Parque Forestal de la parroquia 12 de Marzo del cantón Portoviejo. Informe No. GPM-CMCC-2022-0977-INF [pdf].
- Ramchandani, S. (2020). Biomimética y solidos celulares (Tesis de maestría). Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona, España. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/346841>
- Rubio, V. (2020). Biomímesis aplicada a la arquitectura. Universidad de Belgrano, Argentina. <http://repositorio.ub.edu.ar/handle/123456789/9320>
- Ruiz, V. (2021). Biomímesis en los albores de la arquitectura. España: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/343554/TFE_VICENTERUIZ_LABIO

Enfoque biomimético aplicado al diseño de una vivienda unifamiliar en Portoviejo

MIMESIS EN LOS ALBORES DE LA ARQUITECTURA_09_03_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Sánchez, A. (2021). Construcciones animales. Los espacios instintivos de la naturaleza (Tesis de grado). Universidad Politécnica de Madrid, España.
https://oa.upm.es/66417/1/TFG_Ene21_Sanchez_Otero_Alvaro.pdf
- Sánchez, D. (2019). La Biomimesis: más que una herramienta de inspiración para el Diseño. *Revista Artificio*, (1), 24-36. <https://revistas.uaa.mx/index.php/artificio/article/view/2297/2132>
- Sumerall, A. (2015). Build a cob house. Italia: Green Books.
<https://www.calameo.com/read/006548080fe25508be6ca>
- Vanga, M.; Briones, O.; Zevallos, I. & Delgado, D. (2021). Bioconstrucción de vivienda unifamiliar de interés social con caña guadúa para Manabí. *Novasinerгия*. 4(1). 53-73. DOI: <https://doi.org/10.37135/ns.01.07.03>
- Véliz, J. & González, D. (2019). Vivienda de interés social en Portoviejo. *Ambiente térmico interior*. *AUS*, (26), 35–41. <https://doi.org/10.4206/aus.2019.n26-07>
- Zamudio, H. (2019). 14 Biomímesis: La nueva cultura de la sustentabilidad para el desarrollo humano. En C. Sierra (editor). *Re-descubriendo el mundo natural – La biomímesis en perspectiva*, (pp. 315-340). Colombia: Libros Universidad Nacional Abierta ya Distancia.
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/book/article/view/4073>