

**Diseño preliminar de una estructura eco-amigable para ser ubicada en las zonas verdes de
la Universidad Libre seccional Socorro**

Ailyn Dayana Rentería Moreno

**Universidad Libre De Colombia
Seccional Socorro**

Facultad de Ingeniería Ambiental

Socorro, Santander

2022

**Diseño preliminar de una estructura eco-amigable para ser ubicada en las zonas verdes de
la Universidad Libre seccional Socorro**

Autor:

Ailyn Dayana Rentería Moreno

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental

Dirigido Por:

Director

Juan Pablo Gómez Cardona, Ph.D.

Director

Wilmer S. Sepúlveda, Ph.D.

Universidad Libre de Colombia, Seccional Socorro

Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias

Programa de Ingeniería Ambiental

Socorro, Santander

2022

Dedicatoria y agradecimientos

A través de estas cortas líneas quisiera extender mis más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que con sus aportes soportados en fundamentos científicos y prácticos contribuyeron a la realización del presente trabajo de grado.

Muy especialmente a mis directores, por la acertada orientación, discusión crítica y soportes científicos aportados para el buen desarrollo del presente trabajo; por brindarme su tiempo, dedicación, paciencia y enseñanzas en cada una de las etapas de trabajo, en muchas ocasiones necesite de sobremanera su apoyo y valoro inmensamente el hecho de que siempre estuvieron allí para guiarme y darme una voz de aliento en la continuación de este camino.

Agradezco a la universidad por darme la oportunidad de recibir una educación privilegiada y por todos los esfuerzos constantes que hace para formar profesionales con sentido humano. En ustedes yace un invaluable propósito de vida.

Por último, pero no menos importante dedico este trabajo a la persona que me ha apoyado de manera incondicional a lo largo de mi existencia y a quien agradezco la lucha constante con el más profundo cariño: mi madre, todas las bendiciones sean para ella. Querida madre, con tu sacrificio y esmero forjaste los cimientos sobre los que hoy se empieza a construir mi vida profesional, este es sin duda una ofrenda a tu gran paciencia y apoyo incondicional.

«Educarnos en el sentimiento de gratitud, significa buscar y valorar la gentileza que se encuentra detrás de las acciones que nos benefician. Nada de lo que se hace en nuestro favor ocurre porque así tenga que ser: todo se origina en la voluntad positiva que ha sido dirigida hacia nosotros»

Albert Schweitzer

Premio Nobel de Paz 1952

Resumen

Se presentan los resultados del proyecto “*Diseño preliminar de una estructura eco-amigable para ser ubicada en las zonas verdes de la Universidad Libre Seccional Socorro*” que tuvo como propósito diseñar una construcción sostenible a nivel de materiales y de consumo energético. Dicha construcción se diseñó bajo la metodología de desarrollo de nuevos productos.

Los resultados presentados son: en primer lugar, un análisis basado en criterios de sostenibilidad a través de una matriz de despliegue de la función de calidad (*Quality Function Deployment QFD*), de una encuesta a la comunidad universitaria donde se indagó sobre sus expectativas y necesidades, así como, la frecuencia de carga de sus dispositivos móviles dentro del campus. En segundo lugar, tres prototipos que fueron diseñados basados en los resultados de dicho análisis, y posteriormente sometidos a votación. En el tercer resultado se listan los materiales elegidos para ser usados en la construcción tras realizar la consulta y evaluación de sus características. Por último, se presenta el diseño del sistema solar fotovoltaico, acorde a la demanda energética.

El modelo de construcción sostenible, resultado de este proyecto, de llegar a construirse, podría llegar a tener un impacto significativo en la forma como actualmente se realizan las construcciones en la región. Asimismo, de implementarse, podría constituirse como un proyecto piloto con potencial para acceder a un sello LEED de construcción sostenible. Una estructura eco-amigable a modo de prueba piloto en la Universidad podría ayudar a promover mejores prácticas de construcción en la región repercutiendo en impactos positivos a nivel social (cultura en torno al tema), ambiental (disminución emisiones CO₂) y económico.

Palabras clave: construcción sostenible, energías renovables, materiales de construcción sostenible, criterios de sostenibilidad.

Abstract

The results presented are: First, an analysis based on sustainability criteria through a quality function deployment (QFD), applied to a survey performed to the community to know their expectations and needs. Second, three prototypes based on the results of the previous analysis and subsequently chosen by the community through a poll. Second to last, the materials chosen to be used in the construction after consulting and evaluating their characteristics. And last, the final architectural and photovoltaic designs.

The result of this project could have a significant impact on the way construction is currently carried out in the region, and if it is implemented, it could apply for a label LEED of sustainable building

Keywords: sustainable construction, renewable energies, sustainable construction materials, sustainability building.

Tabla de contenido

Introducción	9
--------------------	---

1. Planteamiento del problema.....	11
1.1 Descripción del problema	11
1.2 Justificación	12
1.3 Objetivos.....	12
1.3.1 Objetivo General.....	12
1.3.2 Objetivos Específicos.....	13
2. Marco de Referencia	13
2.1 Selección de materiales.....	13
2.2 Uso de energías alternativas.....	15
2.3 Marco teórico.....	17
2.3.1 Construcciones Sostenibles.....	17
2.2.2 Sellos de certificación sostenible en el mundo	18
2.2.3 Sellos de certificación de construcción sostenible Colombia	20
2.2.4 Energías Renovables	20
2.2.5 Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE).....	21
2.2.5 Energía Solar Fotovoltaica.....	22
2.4 Normatividad	29
2.4.1 Construcciones Sostenibles.....	29
2.4.2 Energías alternativas	31
3. Metodología	33
3.1 Enfoque de la investigación	33
3.2 Técnicas de recopilación de la información.....	33
3.3 Población y muestra.....	33
3.4 Localización del proyecto	34
3.5 Radiación solar.....	35
3.6 Variables de la investigación	36
3.7 Equipos, instrumentos y materiales	37
3.8 Procedimiento	38
3.8.1 Etapa 1. Mediciones de consumo & expectativas de los usuarios	38
3.8.2 Etapa 2. Modelo de construcción Eco-amigable.....	39
3.8.3 Etapa 3. Selección de materiales Eco-amigables	40
3.8.4 Etapa 4. Diseño de un sistema eléctrico de energía solar fotovoltaica	40
3.9 Detalle metodológico	41
3.9.1 Mediciones indirectas de consumo y expectativas de los usuarios frente a las construcciones sostenibles.....	41
3.9.2 Análisis Criterios de Sostenibilidad mediante el uso de matriz QFD	43
3.9.3 Selección de materiales de construcción mediante la evaluación de criterios de sostenibilidad.....	43
3.9.4 Diseño final.....	44

4. Mediciones de Consumo y Expectativas de los Usuarios	45
4.1 Descripción de la muestra	45
4.2 Resultados: Medición de consumo indirecto	46
4.3. Expectativas de los usuarios	47
4.3.1 Necesidades elucidadas por los usuarios.....	47
4.3.2 Preferencias de los usuarios hacia facilidades locativas	48
4.3.3 Percepciones de los usuarios hacia criterios de SB.....	49
4.4 Conclusiones de las Mediciones Indirecta de Consumo y Expectativas de los Usuarios	51
5. Diseño preliminar de una construcción eco-amigable	53
5.1 Diseño de una construcción eco-amigable: <i>Quality Functional Deployment</i> (QFD)	53
5.2 Diseño preliminar de estructuras eco amigables.....	57
5.3 Conclusiones.....	61
6. Selección de criterios y materiales de construcción de la estructura eco-amigable.....	63
6.1 Criterios de Sostenibilidad para evaluar materiales	63
6.2 Búsqueda en literatura científica acerca de “nuevos” materiales de construcción sostenible.....	64
6.3 Evaluación de los materiales de construcción sostenible.....	76
6.4 Diseño preliminar de la estructura basado en los materiales seleccionados	81
6.5 Conclusiones.....	83
7. Diseño de un sistema electrico de energía solar fotovoltaica para el diseño preliminar de la construcción sostenible	¡Error! Marcador no definido.
7.1. Toma de datos	85
7.2 Materiales para el sistema integrado de generación de energía limpia	85
7.2.1 Elección Tipo de Sistemas	85
7.2.2 Elección del panel	85
7.2.3 Elección de inversor.....	89
7.3 Cálculos de diseño sistema integrado generación de energía solar fotovoltaica.....	89
7.3.1 Cálculo de cantidad de paneles solares a usar.....	89
7.3.2 Cálculo de inversor	90
7.3.3 Generación mensual energía limpia.....	92
7.3.4 Cálculo de ahorro económico	94
7.3.5 Cálculo de excedentes	94
7.4 Diseño final sistema integrado de energía solar fotovoltaica.....	96
7.5 Diseño final construcción sostenible.....	97
7.6 Conclusiones.....	97
8 . Conclusiones Generales y Perspectivas Futuras	97
9. Referencias Bibliográficas	99

<i>Tabla 1. Variables Relacionadas con el Diseño Energético</i>	36
<i>Tabla 2. Variables Relacionadas con la Selección de Materiales</i>	37
<i>Tabla 3. Equipos, Instrumentos y materiales usados en la investigación</i>	37
<i>Tabla 4. Descripción de la Muestra</i>	45
<i>Tabla 5. Cálculo de Demanda Energética</i>	46
<i>Tabla 6. Criterios de Sostenibilidad por evaluar</i>	63
<i>Tabla 7. Materiales de construcción sostenible consultados</i>	65
<i>Tabla 8. Materiales de construcción sostenible y algunas aplicaciones</i>	67
<i>Tabla 9. Ranking puntaje global de los materiales analizados</i>	80
<i>Tabla 10. Criterios evaluados por LEED</i>	82
<i>Tabla 11. Empresas líderes en fabricación de paneles solar</i>	86
<i>Tabla 12. Mejores Paneles Solares</i>	87
<i>Tabla 13. Paneles ofrecidos por SunPower</i>	88
<i>Tabla 14. Propiedades panel Maxeon 3</i>	89
<i>Tabla 15. Mejores inversores del mercado</i>	89
<i>Tabla 16. Propiedades Inversor Fronius SYMO 3.7- 3-S</i>	91
<i>Tabla 17. Mitigación de CO₂ proyectada en los parques solares de la Universidad Libre Socorro</i>	93
<i>Tabla 18. Propiedades de costo energía</i>	94
<i>Tabla 19. Cálculo de potencia entregada</i>	96

Lista de ecuaciones

<i>Ecuación 1 Calculo número paneles</i>	90
<i>Ecuación 2 Generación mensual energía solar</i>	92
<i>Ecuación 3 Disminución mensual emisiones de CO₂</i>	92
<i>Ecuación 4 Calculo ahorro monetario</i>	94
<i>Ecuación 5 Cálculo de Excedentes posibles de entregar a la ESSA</i>	95

Lista de figuras

<i>Figura 1 Sistema de generación fotovoltaico</i>	22
<i>Figura 2 Tipos de Paneles solares disponibles en el mercado</i>	23
<i>Figura 3 Tipos de inversores disponibles en el mercado</i>	24
<i>Figura 4 Sistema con inversor de cadena</i>	25
<i>Figura 5 Sistema de micro inversor</i>	26
<i>Figura 6 Sistema conectado a la Red</i>	26
<i>Figura 7 Sistema fuera de la red</i>	27
<i>Figura 8 Sistema generación off grid</i>	28
<i>Figura 9 Sistema de Generación Híbrido</i>	29
<i>Figura 10 Localización del proyecto</i>	34
<i>Figura 11 Coordenadas Universidad Libre Seccional Socorro, Campus Universitario Majavita</i>	35
<i>Figura 12 Promedio Radiación Solar Unilibre Socorro</i>	36
<i>Figura 13 Valoración creación de nuevos espacios dentro del campus universitario</i>	48
<i>Figura 14 Expectativas de los Usuarios</i>	49
<i>Figura 15 Evaluación de Criterios de Sostenibilidad</i>	50
<i>Figura 16 Quality Functional Deployment (QFD)</i>	55

<i>Figura 17 Pesos relativos de los criterios de diseño</i>	56
<i>Figura 18 Diseño preliminar N° 1 (Modelo A)</i>	58
<i>Figura 19 Diseño Preliminar N° 2 (Modelo B)</i>	58
<i>Figura 20 Diseño preliminar N° 3 (Modelo C)</i>	59
<i>Figura 21 Resultado modelo elección</i>	60
<i>Figura 22 Casa hecha con Maíz en Muttersholtz, France</i>	67
<i>Figura 23 Casa de Kodiak Steel homes, EE. UU.</i>	67
<i>Figura 24 Casa de Havelock Wool en Nueva Zelanda</i>	68
<i>Figura 25 Casa de NANOSTEAD, en Carolina del Norte</i>	68
<i>Figura 26 Cork House en Berkshire, Inglaterra</i>	69
<i>Figura 27 Casa en fardos de paja</i>	69
<i>Figura 28 Casa en el árbol De Guadua en Cundinamarca, Colombia</i>	70
<i>Figura 29 Cabina de Caza en Plástico reciclado en Canadá</i>	70
<i>Figura 30 Baldosa Ferrock</i>	71
<i>Figura 31 Casa de Hempcrete en Asheville, Carolina del Norte</i>	71
<i>Figura 32 Pared Reforzada con Espuma de poliuretano</i>	72
<i>Figura 33. Techo con construcción en Enviroboard</i>	72
<i>Figura 34. Museo de Arte moderno MoMA, NUEVA YORK</i>	73
<i>Figura 35. Casa Socia Rural en Boyacá, Colombia</i>	73
<i>Figura 36. Timbercrete House - Rustic - Exterior - Australia</i>	74
<i>Figura 37 The Paper House en Rockport, Massachusetts</i>	74
<i>Figura 38. Huatoc, Casa en tierra en Barichara, Colombia</i>	75
<i>Figura 39. Evaluación de materiales según criterios ambientales</i>	76
<i>Figura 40 Evaluación de materiales según criterios sociales</i>	77
<i>Figura 41 Evaluación según criterios económicos</i>	78
<i>Figura 42 Dispersión de puntos materiales evaluados: dimensión económica vs ambiental</i>	79
<i>Figura 43 Dispersión de puntos materiales evaluados: dimensión económica vs social</i>	80
<i>Figura 44 Modelo final propuesto</i>	82
<i>Figura 45 Sello verde de calidad Paneles de SunPower</i>	88
<i>Figura 46 Consulta disponibilidad de Red eléctrica</i>	95
<i>Figura 47 Conexión Paneles e inversor</i>	96

Introducción

En los últimos años, en la Universidad Libre seccional Socorro se ha venido desarrollando y consolidando una visión ambiental sostenible. Dentro de ésta, son remarcables las acciones en términos de ahorro y generación de energía eléctrica mediante la instalación de sistemas fotovoltaicos. Parte del presente proyecto de grado se alinea con el macroproyecto del grupo de investigación GIAM-Z en torno a la generación de energía limpia. Por otra parte, el presente proyecto, se centra en un diseño preliminar a modo de construcción piloto de una estructura eco-amigable, diseñada con materiales sostenibles, los cuales son menos tóxicos, económicos y amigables con el medio ambiente, incluso, en muchos casos suelen ser materiales poco convencionales, pero con gran disponibilidad regional.

El diseño preliminar propuesto que puede servir como base para la construcción futura de una estructura eco-amigable, y esta al llegar a construirse, podría llegar a tener un gran impacto en la modalidad como actualmente se llevan a cabo las construcciones sostenibles en la región. Básicamente, podría ser tomado como una construcción piloto para la demostración a la comunidad en general incluido el sector productivo. En el diseño preliminar propuesto sobre el cual se centra el presente trabajo de grado, se realiza una comparación entre los criterios de sostenibilidad establecidos por la normatividad nacional colombiana, lo establecido para obtener sellos verdes de construcción, y las expectativas de los usuarios; algo muy valorable cuando se habla de construcciones sostenibles.

El diseño preliminar propuesto bajo conceptos de construcción sostenible, puede ser considerado como documento base de la fase de prefactibilidad de la construcción de un modelo piloto de construcción sostenible escalable, pues se realizó el diseño haciendo uso de SB, desde el factor social integrando la opinión de la comunidad universitaria, desde el factor ambiental con integración de sistemas de uso y ahorro eficiente de agua y luz, mitigación de impactos negativos por materiales de construcción y desde el factor económico se buscó reducir costes futuros en mantenimientos y reparaciones priorizando este criterio en la matriz de evaluación de función de calidad QFD. Dicho esto, se entiende el proyecto piloto de estructura eco-amigable como un instrumento para contribuir en la concientización y cultura en torno a las investigaciones de resistencia y durabilidad de materiales con arraigo local.

En este sentido, se encontró que es necesario contar con información de los usuarios frente a una construcción sostenible, que es deseable que la estructura cuente con sistema de generación de energía limpia, y que, es muy importante hacer un análisis de la información ponderada sobre materiales de construcción sostenible. El proyecto culmina con el diseño preliminar de una estructura eco-amigable, el cual fue realizado bajo criterios de construcción sostenible, es decir, teniendo en cuenta el mejoramiento de prácticas durante todo el ciclo de vida de las edificaciones.

El documento está estructurado como sigue: en el primer capítulo se aborda el planteamiento del problema. En el segundo y tercero, se expone todo lo referente al marco teórico y la metodología,

respectivamente. En el cuarto capítulo, se muestran los resultados obtenidos de la encuesta realizada a la comunidad universitaria, donde se indagó sobre sus expectativas y necesidades, así como, la frecuencia de carga de sus dispositivos móviles dentro del campus. En el quinto, se analiza dicha encuesta usando criterios de sostenibilidad a través de una matriz de despliegue de la función de calidad (Quality Function Deployment QFD), y se describen tres prototipos que fueron diseñados basados en los resultados, y posteriormente sometidos a votación. En el sexto, se realizó la consulta, evaluación y selección de posibles materiales a ser usados en la construcción. Por último, en el séptimo, se describe el diseño del sistema de generación de energía solar fotovoltaica.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción del problema

Las construcciones juegan un importante rol en nuestras vidas. Ello debido a que en estas es donde comúnmente vivimos, trabajamos e incluso juegan un papel día a día de protección contra el ambiente externo (Z.-S. Chen et al., 2019). A la par de su importancia en nuestras vidas, las construcciones tienen una considerable demanda de energía, electricidad, agua y materiales. Por ejemplo, en los Estados Unidos, las construcciones suman el 39% del uso de energía, 12% del consumo de agua, 68% del consumo de electricidad y son responsables del 38% de las emisiones de dióxido de carbono (Z.-S. Chen et al., 2019). Esto ha conllevado a que, en el sector de la construcción, al igual que en otros sectores de la economía, cada día ganen más peso la inclusión de criterios de sostenibilidad. En la construcción, la inclusión de dichos criterios es conocido como Sustainability Building (SB).

Debido a los altos impactos negativos sobre el medio ambiente que pueden ser atribuidos al sector de la construcción, diversos países a nivel mundial cada vez más adoptan criterios de SB. Si bien es cierto que existen más de 600 estándares que promulgan la SB, a nivel mundial los más reconocidos son el LEED-NC (USA), BREEAM Offices (UK), CASBEE (Japón) y el Green Globes (Canadá) (Marzouk et al. (2014); Rocha-Tamayo, (2011)). Los criterios versan sobre dimensiones como estético, salud y confort, localización, costo del ciclo de vida, materiales empleados y el uso de energías renovables. Dentro de dichos criterios, la selección de materiales y el uso de energías alternativas son de gran importancia, debido a que tienen un impacto directo y fuerte sobre la SB. Esto ha conllevado, por una parte, a una explosión considerable de investigaciones dirigidas a desarrollar materiales de construcción sostenible (Bakhoum et al. (2015); Chaitanya et al. (2019); Erika et al. (2018); Hussain & Kamal, (2015); Liu et al. (2019); Yang et al. (2019), entre otros) mientras que, por otro lado, el uso de energías alternativas en las construcciones cada vez es una regla común (Ayupova et al., 2019). Adicionalmente, se ha encontrado que la generación y el uso de algunas formas de energía afectan en gran medida al medio ambiente. En investigaciones recientes del grupo de investigación GIAM-Z de la universidad libre se puede constatar que anteriores investigaciones han confirmado la directa correlación entre el incremento en la temperatura media global (TMG), con las emisiones de dióxido de carbono antropogénicos, las cuales se deben al consumo de energía eléctrica convencional Gómez et al. (2018)

En cuanto a los materiales, además del uso de criterios como el costo del ciclo de vida, aún existen vacíos en cuanto al establecimiento de otros criterios que puedan ser usados dentro de los procesos de selección de materiales sostenible con el medio ambiente y que puedan ser empleados en la SB (Marzouk et al., 2014). Más aún cuando la SB depende y debe ser adaptada a cada región. Aprovechando que gracias al estudio realizado en el campus universitario Majavita sobre la radiación solar se puede evidenciar que la universidad Libre seccional Socorro, posee gran potencial de captación solar contando con

aproximadamente 5.34kWh/m²d con 5.3 pico de radiación solar [Gómez et al. \(2018\)](#) se busca que este quiosco eco-amigable cumpla con el criterio de uso de energías alternativas. Bajo este contexto, el siguiente trabajo de grado que persigue el diseño de un quiosco eco-amigable, pretende contribuir, al menos en parte, a nutrir la información acerca de la SB centrandone una especial atención sobre los procesos de selección de materiales sostenibles eco-amigables y en el uso de energías alternativas. Para este propósito, se tomará como base una construcción eco-amigable que en un futuro podría ser instalada en las zonas verdes de la Universidad Libre seccional Socorro.

Se resalta que los resultados derivados del desarrollo del presente proyecto pueden ser extrapolados, al menos en cierta medida, a las condiciones de la región en donde se encuentra ubicada la Universidad Libre en su seccional Socorro.

1.2 Justificación

Existen diversas formas desde cómo una investigación puede ser justificada. De acuerdo con [Sampieri \(2014\)](#), el presente proyecto se justifica desde el punto de vista de la relevancia social, ya que se tendrán en cuenta los aspectos que los usuarios consideran son importantes a la hora de hacer una construcción sostenible, relacionados entre sí con los criterios de sostenibilidad SB. Ahora bien, en el caso de que, en un futuro, la universidad decidiese con base en los resultados del presente trabajo construir una estructura eco-amigable, podría ser considerado como un modelo piloto y, por lo tanto, tendría un gran eco en la región y en especial dentro del sector de la construcción al disponerles de información respecto a SB y su conexión con criterios de sostenibilidad, algo que, en la región, es incipiente, se encuentra en fases tempranas.

También, el presente proyecto se justifica desde el punto de vista metodológico. Si bien es cierto que a nivel mundial existe una gran diversidad de iniciativas relacionadas con la SB, en la región, estudios al respecto son limitados. Mediante el desarrollo del presente trabajo, se pretende aportar formas de cómo se pueden vincular-incorporar las expectativas de los usuarios al interior de diseños de las construcciones mientras al mismo tiempo se aboga por formas más sostenibles de construcción.

Por último, el diseño de una estructura eco-amigable producto de este trabajo de grado, podría ser implementado en las zonas verdes de la universidad Libre seccional Socorro, como zona de descanso, con acceso a energía solar fotovoltaica y criterios de construcción sostenible adaptando para ellos lo establecido por los sellos verdes de construcción en Colombia.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar de forma preliminar una estructura eco-amigable que podría ser ubicada en las zonas verdes de la Universidad Libre seccional Socorro, haciendo uso de materiales de construcción sostenible y con acceso a energía solar fotovoltaica, contribuyendo al conocimiento y al fortalecimiento de la cultura entorno a las edificaciones bajo criterios de sostenibilidad.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Mediante la aplicación de una encuesta, calcular el consumo de energía eléctrica al interior de las aulas del campus universitario e indicar las expectativas de los usuarios en cuanto a la funcionabilidad de una estructura eco-amigable que pueda ser ubicada en las zonas verdes de la universidad Libre seccional Socorro en su campus universitario Majavita como zona de estudio/esparcimiento.
- Identificar un modelo preliminar de construcción eco-amigable que podría ser ubicado en las zonas verdes de la Universidad Libre seccional Socorro y que incorpore las expectativas de los usuarios.
- Seleccionar materiales de construcción sostenibles que podrían ser empleados dentro del diseño preliminar de una estructura eco-amigable, haciendo uso de matrices de ponderación basadas en criterios de sostenibilidad.
- Diseñar un sistema integrado (eléctrico-electrónico) de generación de energía solar fotovoltaica como parte constitutiva del diseño preliminar de una construcción eco-amigable y que podría ser ubicada en las zonas verdes de la Universidad Libre seccional Socorro, en su campus universitario Majavita.

2. Marco de Referencia

Tal y como se señaló en la descripción del problema, a nivel mundial existe un interés generalizado hacia la SB y dentro de éste, dos factores importantes han llamado la atención; los materiales de construcción empleados y el uso de energías alternativas. Aunque no se desconoce la importancia que representan criterios como el ahorro de agua, tanto los materiales empleados como el uso de energías, tienen un impacto directo y visible sobre la SB [Marzouk et al., \(2014\)](#). En este sentido, los antecedentes investigativos se abordan desde dos ejes, selección de materiales de construcción SB y el uso de energías alternativas.

2.1 Selección de materiales

Diversos estudios han sido llevados a cabo con el fin de desarrollar materiales SB. Estos van desde el empleo de cenizas industriales [He \(2013\)](#) hasta el uso de residuos agrícolas y agroindustriales ([Marques et al., 2020](#)). En cuanto al uso de cenizas, los desechos de la caldera de carbón de una central térmica pueden ser empleados en la fabricación de materiales de construcción como cemento y ladrillos. Los productos elaborados a partir de dichas cenizas tienen buenas perspectivas de aplicación como material ecológico de construcción mientras al mismo tiempo reduce la emisión de contaminantes al medio ambiente ([He, 2013](#)). Por su parte, en cuanto al uso de residuos agroindustriales, recientemente [Marques et al. \(2020\)](#), desarrollaron una investigación con el fin de mejorar las posibilidades del uso de los residuos de la extracción del aceite de palma en la elaboración de bloques para la construcción. Las fibras del mesocarpio de la palma aceitera son un lignocelulósico abundante producto del desecho generado por la industria de producción de aceite de palma; un cultivo prominente en Colombia. En el país hay sembradas alrededor de 550.000 hectáreas. [Marques et al. \(2020\)](#), investigaron como el pretratamiento del material lignocelulósico puede mejorar las condiciones de fabricación de pasta para obtener a su vez bloques de construcción

ecológicos y mejorar así la calidad de los materiales al reducir el contenido de hemicelulosa. También, el bambú, aunque no es un residuo agrícola o agroindustrial, es un material ampliamente utilizado en la SB, debido a su rápido crecimiento, alta absorción de dióxido de carbono y a sus propiedades mecánicas. Este material se encuentra disponible en África, Asia, algunas partes de Europa y América, tiene alrededor de 1662 especies y 121 géneros. El bambú es un tipo de hierba con fibras muy fuertes, su resistencia puede ser similar a la del acero y la compresión el doble que la del hormigón (Chaurasia, 2019). El bambú se puede utilizar ampliamente para aplicaciones no estructurales como la construcción de paredes, pisos, techos y andamios. Estos son solo unos ejemplos de la cantidad de materiales de construcción que se han venido desarrollando como un esfuerzo de utilizar los residuos de la industria y del uso de materiales no convencionales. Sin embargo, otras dimensiones como el factor económico y las perspectivas de quienes usan las construcciones sostenibles, son otra parte de ecuación. Por ejemplo, desde el punto de vista económico, el costo del ciclo de vida de la construcción es un criterio comúnmente empleado por la industria a la hora de elegir las características de una construcción. También, criterios relativos a la disponibilidad del material, son también importantes. A su vez, el punto de vista del usuario final es relevante, ya que, de la comodidad y salubridad de la edificación, depende de que esta sea finalmente aceptada. En este sentido, la selección de materiales de construcción siguiendo criterios de SB se convierte en una tarea compleja. Es así como, recientes investigaciones, aunque limitadas, se han centrado en desarrollar herramientas para la selección de materiales SB (Marques et al., 2020).

En Arabia Saudita, Marzouk et al. (2014) basados en la metodología BIM (Building Information Modeling) y en los criterios de SB de dicho país, Saudi Arabia Green Building Rating System (SAGRS) desarrollaron una herramienta de optimización para la selección de materiales eco-amigables soportado en el lenguaje de programación C. Las variables objetivo a maximizar eran los costos del ciclo de vida, cumplimiento de los criterios SB o una combinación de los dos. En este mismo frente de investigación y más recientemente, en China, Chen et al. (2019) desarrollaron un modelo híbrido para la selección de materiales sostenibles basados en inteligencia artificial. A su vez, dicho modelo híbrido tiene en cuenta todos los stakeholders que hacen parte del proceso de construcción. El modelo se basó en el algoritmo ELECTRE III y el empleo del QFD (Quality Functional Deployment). También, en Eslovaquia, Estokova y Porhincak (2015), realizaron un estudio comparativo entre el uso de materiales convencionales frente a los no convencionales incluyendo como criterios de evaluación el potencial de calentamiento global (Global Warming Potential-GWP), la energía total incorporada (Embodied Energy of Building Materials) y su potencial de acidificación (Acidification Potential). Todo esto con el fin de hacer una comparación sobre el importante uso de materiales ecológicos en las construcciones actuales.

Aunque, aparentemente una buena opción podría ser adoptar todas estas herramientas desarrolladas, de acuerdo con Marzouk et al. (2014), en la práctica esto no sería tan conveniente debido a

las particularidades que presenta cada región del mundo lo que demanda características diferenciales. Por ejemplo, una vivienda en Arabia Saudita, en donde existe muy poca disponibilidad de agua y altas temperaturas, las demandas de construcción serían diferentes si se compara con zonas nórdicas o tropicales. Por sí mismo, los materiales a emplear serían diferentes y, unido a ello, los materiales disponibles en cada región no son los mismos. Esta situación, respalda la necesidad de desarrollar investigaciones para la selección de materiales para las SB acondicionadas a la medida de cada región.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ([Unión Temporal Construcción Sostenible S.A y Fundación FIDHAP, 2012](#)) sugieren que, en Colombia, los criterios ambientales para la selección de los materiales deben incluir aspectos como la estética, desempeño técnico, la disponibilidad a nivel local, así como condiciones de sostenibilidad ambiental. Sin embargo, a un mayor nivel de detalle, El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible centra su política más en la sustitución de materiales con alto impacto por unos con menores impactos negativos sobre el medio ambiente. Desde una visión más amplia de SB, en Colombia, uno de los trabajos más representativos acerca de la definición de criterios específicos a emplear para la selección de materiales sostenibles de construcción, obedece a un trabajo de grado a nivel de maestría recientemente llevada a cabo por [Gutiérrez \(2017\)](#). En el citado trabajo, se analizaron 44 criterios que podrían ser empleados en Bogotá para la selección de materiales que podrían ser empleados en la SB. Al final, fueron seleccionados 13 criterios como los principales a ser tenidos en cuenta. Algunos de dichos criterios están relacionados con el origen del material y el costo del ciclo de vida de este. El presente trabajo de grado es un intento por contribuir en el avance de este frente de trabajo a través del diseño de una construcción a modo de estructura eco- amigable que podría ser instalado en las zonas verdes de la Universidad Libre seccional Socorro.

2.2 Uso de energías alternativas

La dependencia de fuentes de energía fósiles, la seguridad energética y la disminución de impactos negativos sobre el medio ambiente que suponen las fuentes de energía actuales más empleadas, cada vez más ejercen presión sobre la necesidad de desarrollar tecnologías e innovaciones y relacionadas con energías sostenibles ([Nigam & Singh, 2011](#)). Hoy en día se encuentran diversidad de desarrollos en cuanto al uso de fuentes alternativas de energía. Algunos de estos están relacionados con el uso de la energía potencial del agua, la energía eólica, energía mareomotriz, energía geotérmica, la agroenergía, generación de energía a partir de residuos y la energía solar; cada una con diferentes niveles de desarrollo. Dentro de las energías renovables, la hidroeléctrica es la que posee mayor participación a nivel mundial con un 65,0% del total de energía eléctrica producida. Por su parte, dentro de las energías alternativas, la energía eólica (17,4%), la agro-energía (6,1%) y la energía solar fotovoltaica (6,9%) son en donde existen mayores desarrollos. En conjunto, dentro de las energías renovables, estos tres tipos de aprovechamientos suponen una contribución del 30,4% dentro de la matriz energética renovable [IEA – International Energy Agency](#),

(2020). Dentro de las energías renovables, en Latinoamérica, la hidroeléctrica y la agro-energía han tenido mayores desarrollos que las dos restantes, la eólica y la solar fotovoltaica [Martínez Mendoza et al., \(2019\)](#). Sin embargo, la energía hidráulica suele provocar inseguridad en el suministro y más aún, ha causado daños medioambientales en diversos lugares ([Martínez Mendoza et al., 2019](#)), incluido Colombia. Por su parte, en el caso de la agro-energía, una de las principales críticas son el conflicto del uso del suelo y la competencia alimentaria que estas podrían suponer, aunque, en algunos casos suelen tener un punto de vista bastante positivo cuando se tratan de residuos de cosecha y de biomasa no alimentaria; lo que se enmarcaría dentro lo que se conoce como biocombustibles de segunda generación ([PalaciosBereche et al., 2013](#)). Un ejemplo de estos es el uso de residuos de cosecha de la actividad azucarera; empleo del bagazo para la generación de biocombustible [Palacios-Bereche et al., \(2013\)](#).

Con relación a la energía eólica, a nivel mundial existe una cantidad considerable de proyectos de ingeniería centradas en su uso ([Enríquez et al., 2019](#)). Aunque este tipo de energía es menos aprovechada en Latinoamérica que en otras regiones del mundo ([Martínez Mendoza et al., 2019](#)), existen parques eólicos en países como Argentina, Brasil, Chile, Costa Rica, México, Uruguay, Perú y Colombia que dan cuenta del progreso, aunque lento, que se ha dado en esa dirección. En Colombia, el desarrollo más significativo en cuanto al aprovechamiento de la energía eólica es el parque de Jepirachi, en el Cabo de la Vela, departamento de la Guajira ([Enríquez et al., 2019](#)). Sin embargo, problemas asociados al paisaje, ruido, vibraciones y seguridad, limitan su uso dentro del área urbana ([Barragán-Escandón et al., 2019](#)). Por el contrario, la energía solar fotovoltaica posee menos restricciones para su uso a pequeña escala en las áreas urbanas, siempre y cuando se superen limitaciones técnicas básicas como la accesibilidad solar y la disponibilidad de espacio para la colocación de los paneles fotovoltaicos ([Barragán-Escandón et al., 2019](#)). Los costes económicos son los criterios más importantes a la hora de elegir entre una u otra tecnología de energías alternativas a pequeña escala y a nivel urbano ([Barragán-Escandón et al., 2019](#)). Esto le da cierta ventaja a la energía solar fotovoltaica sobre a la eólica, en cuanto a proyectos a pequeña escala se refiere. En línea con esta tendencia mundial, la Universidad Libre viene desarrollando un proyecto piloto de energía solar fotovoltaica en su campus Majavita, en la seccional Socorro, el cual se planteó como objetivo aportar soluciones energéticas haciendo uso de las energías alternativas mediante la instalación de un set de paneles solares que mediante el apoyo de un micro inversor suple la demanda con 3.6 kW de potencia; a su vez este espacio abierto de generación de energía pretende servir a los estudiantes como laboratorio para reforzar temas de interés, sobre todo lo que se refiere al aprovechamiento de la energía proveniente del sol, la explicación del efecto fotoeléctrico, la circulación y conversión de energía [Gómez et al., \(2018\)](#) En este sentido, el presente trabajo de grado se inserta en esta acción de investigación-acción de aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica, a través del diseño de una estructura eco-amigable que podría ser instalado en las zonas verdes de la Universidad Libre seccional Socorro.

2.3 Marco teórico

2.3.1 Construcciones Sostenibles

La construcción sostenible se refiere a las mejores prácticas durante todo el ciclo de vida de las edificaciones (diseño, construcción, operaciones) las cuales aportan de forma efectiva a minimizar el impacto del sector de la construcción en el cambio climático por sus emisiones de gases de efecto invernadero, el consumo de recursos y la pérdida de biodiversidad. Los proyectos sostenibles tienen como objetivo común la reducción de su impacto en el ambiente y un mayor bienestar de sus ocupantes. Algunos de los criterios tenidos en cuenta en la construcción sostenible (SB) son (Bakhoum et al., 2015):

- Gestión del ciclo de vida, tanto de las edificaciones como de los materiales y componentes utilizados.
- Mayor calidad de la relación de la edificación con el entorno.
- Uso eficiente y racional de energía eléctrica.
- Conservación, ahorro y reutilización del agua.
- Utilización de recursos reciclables y renovables en la construcción, operación y prevención de residuos y emisiones.
- Selección de insumos y materiales derivados de procesos de extracción y producción limpia.
- Creación de un ambiente saludable y no tóxico para los seres humanos.

La implementación de sistemas para la construcción de las edificaciones sostenibles genera un aporte importante al medio ambiente y a la calidad de vida de las personas que habitan estas construcciones. El reto como país es contribuir a que el sector de la construcción adopte estos criterios de SB justificando así algunas de sus ventajas.

De acuerdo con información publicada por el Consejo de construcción sostenible de Colombia en el 2011, la implementación de sistemas sostenibles generó contundentes beneficios: 30% de ahorro de energía, 35% de carbono, entre el 30- 50% de ahorro de agua y entre un 50% en la disminución de desechos, esto sin contar con la mejora en la salud humana. Los SB reducen los costos operativos de energía eléctrica, consumo de agua y gas. Estos tres aspectos se reducen mediante la aplicación de prácticas sustentables, no solo reduciendo el impacto ambiental sino también el impacto a la economía de los ocupantes y operadores de las SB.

Algunos criterios generales que se emplean en SB son la comodidad visual (diseño), calidad del aire, ciclo de vida, reducción del uso de energía, ahorro de agua, materiales sostenibles y reducción de residuos.

Comodidad visual

La sostenibilidad no se trata solo de cuidar el planeta si no también trabajar para lograr un bienestar de las personas pensando en la creación de entornos de confort que suelen ser ambientes positivos

visiblemente para la sociedad, gente economía y planeta son los principales criterios que se analizan en este ítem.

Mejor calidad de aire

Los SB cuidan del bienestar del ser humano al mejorar la calidad de aire interior mediante el control de aperturas al exterior de las edificaciones, permitido así las ventilaciones naturales, restricciones de áreas para fumadores, empleo de materiales ecológicos para reducir las emisiones de CO₂, entre otras buenas prácticas.

Análisis de ciclos de vida

Cuidar el ambiente implica reducir el uso de los recursos naturales, por ende, es necesario analizar los ciclos de vida de los recursos y materias primas usadas dando prioridad a la utilización de nuevos materiales y promoviendo el reusó y reciclaje de recursos incrementando así su vida útil.

Reducción del uso de energía

Se logra mediante prácticas como el modelado energético, diseños óptimos de estaciones eléctricas, corrección de la elección de luminaria, cristales y equipo mecánico, incluyendo iluminación natural y el empleo de energías renovables.

Ahorro de agua

Esto se desarrolla con la finalidad de reducir costos e incrementar una conciencia ambiental, se logra mediante la elección de accesorios de plomería eficientes, el reusó de agua y la recolección de agua pluvial.

Materiales ambientalmente sostenibles

La elección del material a la hora de hacer una SB tiene un gran impacto, además de saber elegirlos, puede contribuir a la reducción de costos e incremento del bienestar de los ocupantes. se procura el uso de materiales regionales, con contenido reciclado, rápidamente renovables, entre otras características.

Reducción de residuos

En todas las etapas de la SB es necesario cuidar los impactos que esta generara al ambiente, por tanto, es muy importante disminuir los volúmenes de material desechado, enviando los residuos generados a lugares donde se les dé un segundo aprovechamiento.

2.2.2 Sellos de certificación sostenible en el mundo

La construcción sostenible está viviendo un momento de auge en todo el mundo, debido a que cada día son más las personas que se unen y desarrollan sus proyectos siguiendo estándares de construcción ecológicos y de consumo de energía cero, debido a esto se da origen a los sellos verdes, que son certificaciones realizadas por expertos en base a los criterios previamente estandarizados, claros y objetivos los cuales permiten dar buena fe de los procesos llevados a cabo durante el diseño, construcción y puesta en marcha de un proyecto. Una construcción que logra una certificación ecológica o sello verde es un

proyecto que protege el medio ambiente y tiene un impacto positivo sobre su entorno, haciendo así una gestión eficiente de los recursos durante todo su ciclo de vida. Los principales sellos de certificación en construcción sostenible en el mundo se describen a continuación.

Building Research Establishment Reino Unido (BREEAM)

Creado en 1990 en reino unido, fue el primer sello de certificación desarrollado después del protocolo de Kyoto. Este sello es una herramienta que mide la sostenibilidad de distintos tipos de edificaciones, nuevas y existentes, este sello se enfoca en los impactos de las edificaciones en su entorno. Igualmente tiene una versión para desarrollos urbanos, denominada “BREEAM Communities” y sus protocolos tienen versiones definidas específicamente para el reino unido, algunos países de Europa y del Golfo Pérsico.

Leadership in Energy & Environmental Design (LEED):

The Leadership of Energy and Environmental Design (LEED) es un sistema de certificación voluntario para la implementación de criterios sostenibles en edificaciones. Esta herramienta se origina en Estados Unidos en los años noventa por el Consejo de Construcción Verde de Estados Unidos (USGBC, por sus siglas en inglés) e implementar estrategias para mejorar el desempeño global de las edificaciones y el impacto medioambiental de la construcción. ([Environmental XPRT - the Environmental Industry online.](#) (s/f). [Environmental-expert.com](#). Adaptado de <http://www.environmental-expert.com/>)

Este sistema de certificación se destaca por la sistematización de los criterios de sostenibilidad en las diferentes etapas del ciclo de vida de las edificaciones (diseño, construcción, uso y rehabilitación de instalaciones), la implementación de mediciones energéticas y mecanismos de seguimiento y verificación del diseño durante su funcionamiento. Este sello internacional aplica a edificaciones nuevas y usadas para distintos usos como vivienda, comercio y oficinas, pero no referencia la línea base nacional.

GREEN STAR

Creada en 2003 por el Concejo Australiano de construcción sostenible, está basado en LEED y BREEAM. Evalúa el diseño ambiental, así como en la construcción de los edificios y busca establecer un lenguaje en común y una medida estándar. Esta diseñado especialmente para condiciones australianas y se han creado versiones para Nueva Zelanda Sudáfrica. ([Biblioteca digital.](#) (s/f). [Edu.Co](#). Adaptado de <https://repository.cesa.edu.co/>)

HQE Haute Qualité Environnementale (HQE)

Es una herramienta de certificación voluntaria desarrollada en Francia en 1996, encaminado a la alta calidad ambiental en edificaciones. Esta herramienta contempla catorce estrategias en diferentes etapas del ciclo de vida de edificaciones para varios usos resumidas en las variables de energía, medio ambiente, salud y confort. ([Biblioteca digital.](#) (s/f). [Edu.Com](#) Adaptado de <https://repository.cesa.edu.co/>)

EDGE Excellence in Design for Greater Efficiencies (EDGE)

Es una herramienta de certificación voluntaria para edificios que busca generar ahorros desde un 20 % o más sobre una línea base local en consumos de energía operacional, uso de agua y energía embebida en los materiales.

2.2.3 Sellos de certificación de construcción sostenible Colombia

Sello Ambiental Colombiano (SAC)

El SAC es una iniciativa del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible del 2016, mediante la cual incluye criterios ambientales para diseño y construcción de edificaciones sostenibles para uso diferente a vivienda con la NTC 6112. Esta referencia es pertinente en la aplicabilidad de criterios sostenibles dentro del ciclo de vida de las edificaciones. El Sello comprende desde el diseño, la construcción, el uso y el aprovechamiento de las edificaciones. A diferencia de la Resolución 0549 de 2015, este sello contempla criterios adicionales a los porcentajes de ahorro en agua y energía, y plantea lineamientos en temas de materiales de construcción, localización, comunidad y calidad del ambiente interior. Sin embargo, esta referencia es voluntaria, no aplica a vivienda ni edificaciones usadas y no tiene diferenciación entre usos ni áreas climáticas. ([Consejo Colombiano de Construcción Sostenible – CCCS – Liderando el desarrollo sostenible de la industria de la construcción. \(s/f\). Org.co. Adaptado de <https://www.cccs.org.co/>](#))

Sello Ambiental Casa Colombia

El referencial CASA Colombia, es una iniciativa local del CCCS lanzada en 2016. El objetivo de esta herramienta es impulsar la incorporación de criterios de sostenibilidad, facilitando la estructuración costo eficiente de nuevos proyectos, aportando soluciones al mercado en cumplimiento de la normatividad vigente y con un concepto de sostenibilidad integral en el que no solo prima el uso eficiente de los recursos sino con un enfoque claro en salud y bienestar.

Esta certificación maneja un total de 102 puntos en tres categorías: más de 40 puntos como proyecto sostenible, más de 65 puntos para sostenible sobresaliente y más de 75 puntos para sostenible excepcional. Los mayores puntajes posibles de obtención son en energía y uso del suelo y ecología, seguido por salud y productividad y agua. La línea base en esta certificación es el ASHRAE 90.1 del 2007 y la línea base de la Resolución 0549 de 2015 para energía y agua. ([Consejo Colombiano de Construcción Sostenible – CCCS – Liderando el desarrollo sostenible de la industria de la construcción. \(s/f\). Org.co. Adaptado de <https://www.cccs.org.co/>](#))

2.2.4 Energías Renovables

Los combustibles fósiles son recursos finitos que de una manera u otra van a agotarse; de ahí su denominación de recursos no renovables. Por ende, nace la necesidad de buscar nuevas fuentes de

suministro de energía que sea prácticamente inagotables con respecto al tiempo de vida de un ser humano en el planeta y cuyo aprovechamiento sea técnicamente viable.

Dentro de los tipos de energía renovable se encuentran la energía solar, la eólica, la minihidráulica (pequeñas caídas de aguas), la biomasa (materia orgánica), la geotérmica (calor de las capas internas de la tierra).

Las energías renovables ofrecen la oportunidad de obtener energía útil para diversas aplicaciones, su aprovechamiento tiene menores impactos negativos ambientales que el de las fuentes convencionales y poseen el potencial para satisfacer nuestras necesidades futuras.

2.2.5 Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE)

Las fuentes no convencionales de energía son aquellos recursos de energía que son utilizados de manera intensiva: FNCE por su parte, son aquellos recursos que son ambientalmente sostenibles, pero que no son utilizados o su uso es marginal (Suárez, 2017) Según el documento los tipos de FNCE son:

Energía solar

La Energía Solar es aquella que proviene del Sol y es la principal fuente de energía del planeta Tierra; esta energía calienta la atmósfera, la superficie de los continentes y los mares, estimula el crecimiento de las plantas e influye en el clima. “La energía solar se transfiere a la superficie de la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llama-dos fotones que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestre, llegando a la tierra por dos vías diferentes: incidiendo en los objetos iluminados por el sol (radiación directa) y por reflexión de la radiación solar absorbida en la atmósfera y en el polvo atmosférico (radiación difusa)” (Isagén s.a. e.s.p., 2005)

Energía por biomasa

La Ley 1715 de 2014 define la energía de la biomasa como aquella obtenida a partir de una FNCER, que se basa en la degradación espontánea o inducida de cualquier tipo de materia orgánica que ha tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico, y toda materia prima vegetal originada por el proceso de fotosíntesis, así como los procesos metabólicos de organismos hete-rótrofos², y que no contienen o hayan estado en contacto con trazas de elementos que confieren algún grado de peligrosidad. (Revistas Universidad Externado de Colombia. (s/f). Edu.co. Adaptado de <https://revistas.uexternado.edu.co/>)

Energía eólica

La energía eólica es la energía del viento que se debe al movimiento del aire ocasionado por el desigual calentamiento de la superficie terrestre (Vega de Kuyper y Ramírez Morales, 2014).

Energía geotérmica

La Ley 1715 de 2015 define la energía térmica como aquella energía obtenida de la FNCER que consiste en el calor que yace del subsuelo terrestre.

Energía hídrica

La energía hídrica o hidráulica, según la rae, es la energía “producida por el movimiento del agua” (Real Academia de la Lengua Española). La energía hídrica es la más desarrollada en Colombia según la UPME, referenciada en el Plan Energético Nacional 2006-2025; la Ley 1715 de 2014 le da el estatus de FNCER porque incorpora el concepto aprovechamiento de los cuerpos de agua a pequeña escala, lo cual hace que se disminuya en gran medida el impacto negativo ambiental que tiene el uso de este tipo de energía.

Energía de los mares y los océanos

La Ley 1715 de 2014 la define como la obtenida a partir de aquella FNCER que comprende fenómenos naturales marinos, como son las olas, las corrientes marinas, los gradientes térmicos oceánicos y los gradientes de salinidad, entre otros. (Biblioteca Universidad Sergio Arboleda. (s/f). Universidad Sergio Arboleda. Adaptado de <https://www.usergioarboleda.edu.co/>)

2.2.5 Energía Solar Fotovoltaica

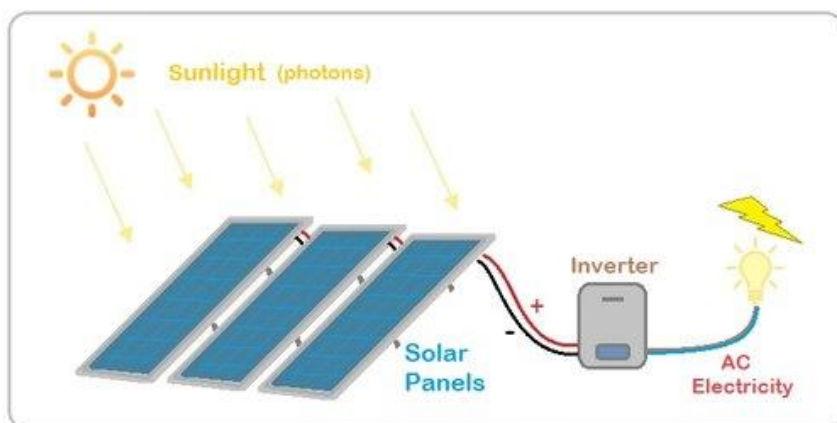
Entre las fuentes de aprovechamiento de energías alternativas en el caso de este estudio se utilizará la energía solar fotovoltaica la cual puede ser usada y aprovechada por el ser humano por medios de tecnologías de conversión como:

Sistemas fotovoltaicos

Funcionan por medio del efecto fotoeléctrico o fotovoltaico que es el proceso a través del cual la luz solar se convierte en electricidad sin usar ningún proceso intermedio. Los dispositivos donde se lleva a cabo la transformación de luz solar en electricidad se llaman generadores fotovoltaicos y a la unidad en la que se realiza dicho efecto se le denomina celda solar, que al conectarse en serie o paralelo forman los paneles solares. ((S/f). Blogspot.com. Adaptado de <http://dhticsalumnos.blogspot.com/>)

Figura 1

Sistema de generación fotovoltaico



Nota. Adaptado de Clean energy , (2021), (*Solar Panels | Guide to Buying Solar*, s. f.)

Los paneles solares fotovoltaicos generan la electricidad a partir del aprovechamiento de la radiación solar, esta electricidad generada se denomina como corriente directa (DC) sin embargo la electricidad que usamos en nuestros hogares proviene de corriente alterna (AC), es aquí en este cambio donde entra el controlador del sistema llamado inversor que es el encargado de convertir la corriente directa generada por los módulos fotovoltaicos en corriente alterna, como se puede evidenciar en la figura 1.

Sistemas fototérmicos

Funcionan por medio de la conversión de la luz solar en calor sobre superficies que transfieren dicha energía a fluidos de trabajo para la producción de calor de proceso. esto puede conseguir por medio de dispositivos planos con superficies selectivas o por medio de dispositivos de concentración de radiación con superficies especulares y selectivas. (S/f). Blogspot.com. Recuperado Adaptado de <http://dhticsalumnos.blogspot.com/>

2.2.5.1 Componentes principales de un sistema solar

Paneles solares

Los paneles solares se componen de celdas de silicio, que generan corriente directa mediante la captación de irradiancia solar. Las celdas fotovoltaicas están unidas entre si dentro del panel y conectados a más paneles mediante cables generando así una matriz solar. La cantidad de energía generada por los módulos solares depende de la orientación, el Angulo de inclinación, la eficiencia del panel y las perdidas por sombras asociadas pero el factor más importante es la irradiación solar, dependiendo de cuantas horas pico de sol se generen en la zona donde se ubiquen las celdas. (Eficiencia energética y energía solar en Colombia. (s/f). Celsia.com. Adaptad de <https://blog.celsia.com/new/>) Actualmente existen gran variedad de paneles solares en el mercado, con diferentes tecnologías, como se evidencia en la figura 2.

Figura 2

Tipos de Paneles solares disponibles en el mercado



Nota. Adaptado de *Clean Energy Review , the best panels (2021)*, (*SunPower Solar Panels Review 2021*, s. f.)

Inversor solar

Figura 3

Tipos de inversores disponibles en el mercado



Nota. Adaptado de Clean Energy Reviews (*Best Solar Inverters 2021*, s. f.)

El inversor es la parte más importante y sofisticada que debe tener cualquier sistema de generación, pues los paneles solares generan electricidad como corriente directa que para su uso debe convertirse en corriente alterna, por ende, esta es la función principal del inversor. En la figura 3 podemos evidenciar la variedad de inversores solares que podemos encontrar en el mercado.

2.2.5.2 Conexiones de paneles

Es importante conocer el procedimiento de conexión de los paneles solares, para minimizar el peligro de exposición a una descarga eléctrica o una fuga de energía, al minimizar riesgos aseguramos la eficiencia del sistema. A continuación, explicaremos brevemente la forma de conectar los paneles solares:

Conexión en paralelo

La conexión en paralelo se realiza conectando por un lado todos los polos positivos de los módulos fotovoltaicos de la instalación solar, y por el otro, conectando todos los polos negativos. De esta forma, se mantiene el voltaje o tensión (voltios) de las placas solares mientras que se suma la intensidad (amperios).

Conexión en serie

Mediante la conexión en serie se conectan directamente los módulos fotovoltaicos solares entre sí, conectando el polo positivo de un panel con el polo negativo del siguiente panel. A diferencia de la conexión en paralelo, se mantiene la intensidad y se suma el voltaje.

2.2.5.3 Conexión del inversor

Es importante conocer el procedimiento de conexión del inversor, para minimizar el peligro de exposición a una descarga eléctrica o una fuga de energía, al minimizar riesgos aseguramos la eficiencia

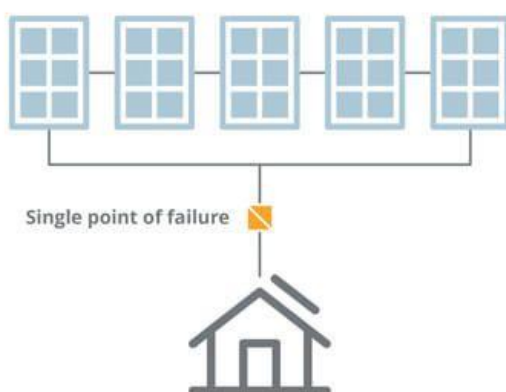
del sistema. A continuación, en las figuras 4,5 respectivamente podemos ver las formas como se pueden conectar los paneles solares.

Sistema de inversor de cadena

En un sistema de inversor de cadena, los paneles solares están conectados en serie y la corriente generada en conjunto se pasa por el inversor y este la convierte en corriente alterna. Es una configuración donde un inversor controla toda la matriz solar, desde un solo punto de falla, es decir que si 1 panel deja de funcionar el rendimiento del sistema en total será de 0%. cómo podemos ver en la Figura 4, si un panel deja de funcionar los otros siguen paneles inmediatamente dejan de generar energía eléctrica

Figura 4

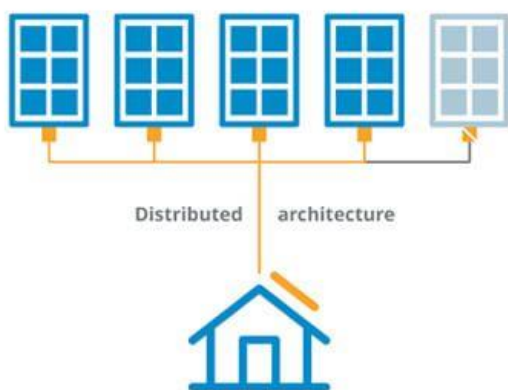
Sistema con inversor de cadena



Nota: Adaptado de SUNPOWER, (*Potente panel solar casero / Maxeon 5 / SunPower Australia, s. f.*)

Sistema de micro inversor

En un sistema de micro inversores cada panel está conectado a su inversor lo que hace que la energía generada por cada panel sea convertida a corriente alterna, es decir, cada panel produce su energía en DC, pero dado que cada uno tiene su propio micro inversor, esta energía se convierte a AC, evitando así puntos únicos de falla tal y como se puede observar en la Figura 5, si un panel deja de funcionar los otros siguen generando energía al sistema de producción de energía limpia.

Figura 5*Sistema de micro inversor*

Nota. Adaptado de SUNPOWER, (*Potente panel solar casero | Maxeon 5 | SunPower Australia, s. f.*)

2.2.5.4 Tipos de sistemas de energía solar

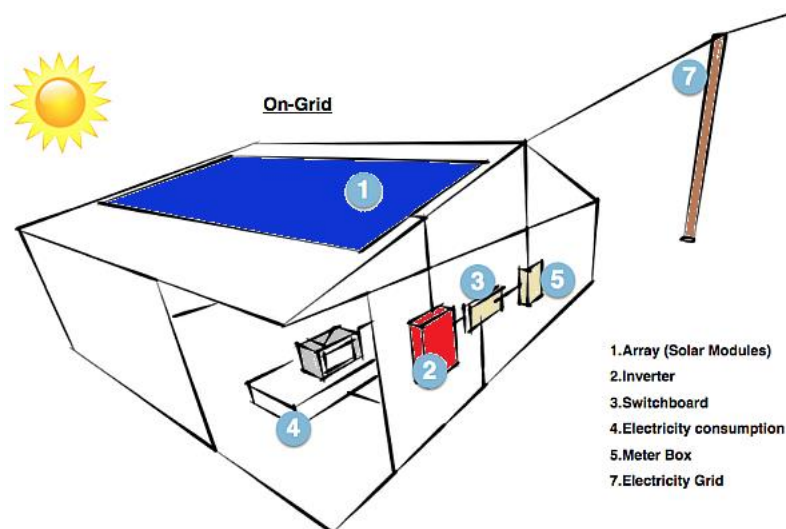
Las instalaciones solares fotovoltaicas son las encargadas de transformar la energía aprovechable del sol mediante la utilización de paneles solares en energía eléctrica, las instalaciones de estos sistemas comúnmente pueden ser de dos tipos; las aisladas de la red que son las que se encargan de satisfacer la demanda eléctrica para suplir una necesidad en lugares específicos donde no llega la conexión de la red eléctrica, o en sitios de bastante consumo de potencia por utilización diaria, los cuales dependerán de las baterías y de la fuente de suministro. *Santa García.; (2014)* El otro tipo de instalación es la de conexión a la red, es el proceso donde la energía que se genera se inyecta en su totalidad a la red eléctrica de distribución más cercana a la ubicación del proyecto. Dicho esto, se puede decir que los principales sistemas de generación de energía solar son:

Sistema conectado a la red On- GRID

Este tipo de sistemas son los más comunes y usados en los hogares y empresas, por el ahorro generado al no usar baterías para el almacenamiento de energía, es decir están conectados de igual forma a la red pública. El funcionamiento de este sistema hace que los excesos generados se exporten a la red eléctrica generando retribuciones económicas positivas al ente generador.

A diferencia de otros sistemas, durante los apagones este sistema no puede generar electricidad por razones de seguridad, es decir que si la red pública se apaga el sistema de generación también se inactiva

Figura 6*Sistema conectado a la Red*



Nota. Adaptado de Clean energy review (*How solar power works - on-grid, off-grid and hybrid systems*, s. f.)

En la figura 6 podemos ver un sistema conectado a la red, lo primero es la generación de energía de los módulos fotovoltaicos, pasa al inversor, del inversor se distribuye para ser usada, el contador mide este consumo y otra caja métrica alterna mide el exceso de energía solar que se está exportando a la red, la electricidad que se envía a la red es distribuida por toda la red por lo cual puede ser utilizada por otros consumidores, la ventaja de este sistema es que cuando no hay suficiente generación del sistema, la demanda se suple con la importación de energía de la red.

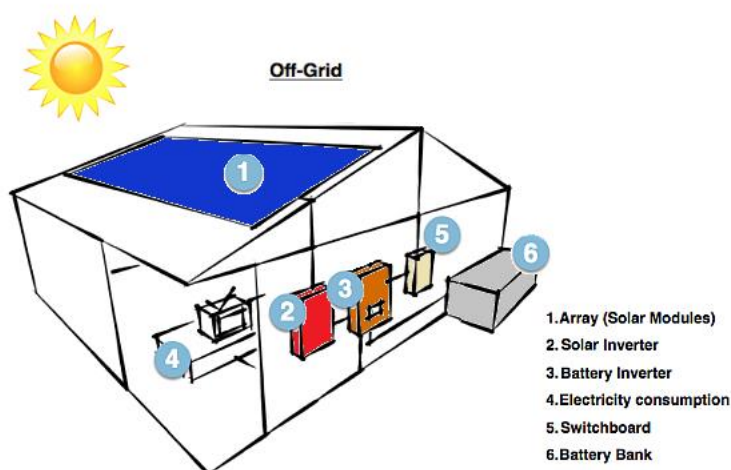
Sistema fuera de la red Off- GRID

Un sistema off grid es aquel que no está conectado a la red eléctrica, por ende, es casi obligatorio el uso de baterías. Estos sistemas deben diseñarse con % de exceso de energía y no con la demanda energética exacta, para de esta forma generar suficiente energía y así no se quede corto el sistema.

El alto costo de las baterías y los inversores hacen que este tipo de conexión de sistemas sean mucho más costosos que los sistemas conectados a la red, pero como ventaja adicional se tendrá energía siempre que los paneles solares estén expuestos a radiación solar. Este tipo de sistemas se usan para llevar energía a lugares remotos donde no existen las redes eléctricas.

Figura 7

Sistema fuera de la red.

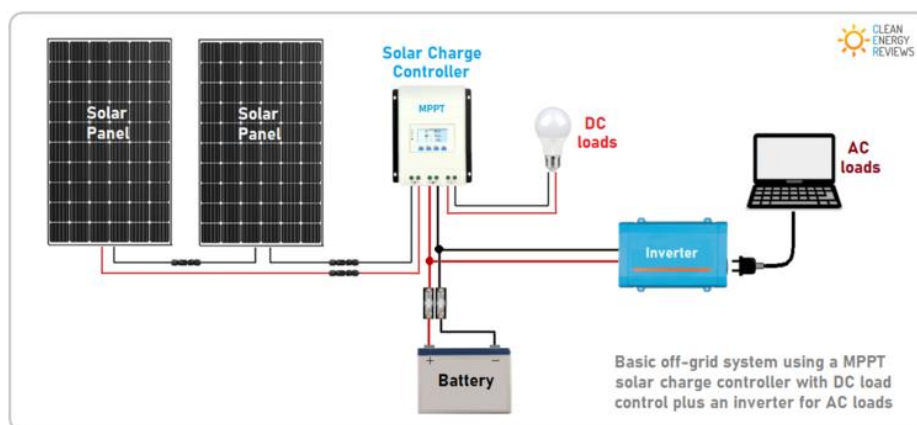


Nota Adaptado de Clean energy review (*How solar power works - on-grid, off-grid and hybrid systems, s. f.*)

En la figura 7 se muestra como luego de la generación de energía por parte de los módulos solares, pasa al inversor y de este pasa al controlador de carga o inversor de baterías para administrar la carga de las baterías, luego de pasar por el medidor es distribuida al consumo, una vez este consumo se ha suplido, el exceso generado es el encargado de cargar las baterías, las cuales cubren la demanda energética cuando el sistema deja de recibir radiación solar, el detalle de conexión se ve en la figura 8

Figura 8

Sistema generación off grid



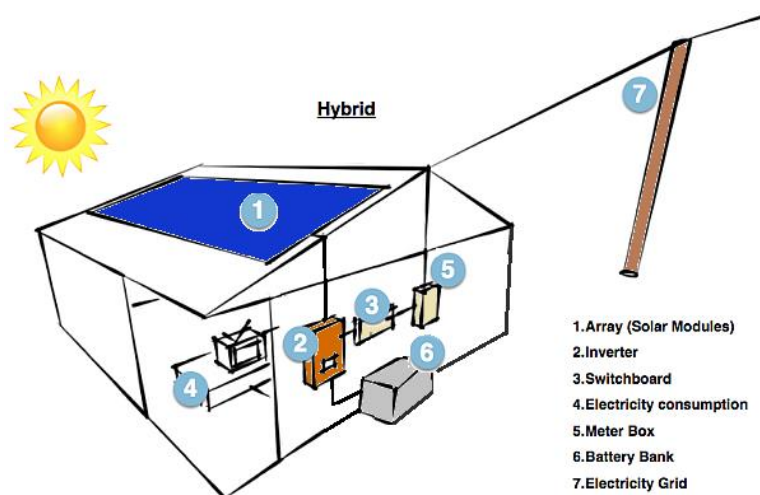
Nota. Adaptado de Clean energy review (*How solar power works - on-grid, off-grid and hybrid systems, s. f.*)

Sistema de generación Híbrido

Los sistemas híbridos combinan un poco de lo explicado en los dos sistemas anteriores, lo que hace que se realicen de muchas formas y configuraciones diferentes. El objetivo de este sistema es poder almacenar energía generada en exceso durante el día y usarla en la noche y en caso de que la demanda nocturna sea más de lo almacenado en el banco de baterías, poder suplir esta demanda importando energía de la red.

Figura 9

Sistema de Generación Híbrido



Nota. Adaptado de Clean energy review (*How solar power works - on-grid, off-grid and hybrid systems*, s. f.)

La descripción de sistema híbrido mostrada en la figura 9, Es solo una forma de conexión sencilla de este sistema, pues una ventaja de los sistemas híbridos es que se puede ser de diferentes formas. Una vez las baterías estén completamente cargadas los excesos de energía se exportan a la red, generando saldos de energía positivos por si en algún momento se requiere importar energía de la red o también se puede ver reflejada en incentivos económicos.

2.4 Normatividad

2.4.1 Construcciones Sostenibles

El Ministerio de Vivienda, apoyado por la Corporación Financiera Internacional (IFC) del Banco Mundial, la embajada Suiza y la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL), expidió el decreto 1285 de 2015 y la resolución 0549 del mismo año, con la cual se adopta la guía de construcción para promover la eficiencia energética y el uso racional de agua en las nuevas edificaciones que se construyan en el territorio nacional, en aras de contribuir de manera significativa a la reducción de las emisiones de CO₂ y comprometerse al desarrollo de construcciones sostenibles.

Decreto 1285 de 2015 (12 junio 2015)

A través de dicho decreto, se establecen los lineamientos de construcción sostenible para nuevas edificaciones, encaminados al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes y al ejercicio de las actuaciones con responsabilidad ambiental y social, el cual tiene por objeto “establecer lineamientos de construcción sostenible para edificaciones”. Con este decreto se busca generar lineamientos y proponer incentivos y subsidios que propicien este tipo de prácticas sostenibles en el país. Sin embargo, el mencionado decreto dentro de sus parámetros solo abarca temas relacionados a las medidas para el ahorro de agua y energía en las edificaciones dejando de lado otros como el uso de materiales de construcción. (Universidad El Bosque. (s/f). Repositorio institucional. Universidad El Bosque. Adaptado de <https://repositorio.unbosque.edu.co/>). Los parámetros hasta ahora adoptados deben cumplir con porcentajes obligatorios de ahorro de agua y energía según el tipo de clima y de edificación. Es importante rescatar que, la normatividad colombiana en cuanto a construcciones sostenibles solo tiene en cuenta dos criterios del SB que son el uso y ahorro eficiente de agua y energía, pero no tiene en cuenta el uso de materiales alternativos. Esto hace suponer que, el compromiso que tiene el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible poco va enfocado hacia la gestión de herramientas que permitan regular el uso de materiales sostenibles de construcción.

Resolución 0549 de 2015

Desde el primero de julio de 2016 entro en vigor la Resolución 0549 de 2015 del Ministerio de Vivienda que obliga a los constructores de viviendas a cumplir parámetros y lineamientos de construcción sostenible y a adoptar la guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones. (enero. (s/f). Solución Solar & Led. Blogspot.com. Adaptado de <https://solucionsolarled.blogspot.com/>). Para elaborar los lineamientos se siguió una metodología basada en un análisis costo-beneficio de diferentes medidas. Se parte de la identificación de las condiciones climáticas (temperatura y humedad relativa) y características de cada zona climática en el país. El objeto de esta resolución fue el de establecer los porcentajes máximos y mínimos de parámetros requeridos para la gestión de ahorro de agua y energía que se exige para la expedición de la licencia de construcción de centros comerciales, hoteles, hospitales y oficinas, ubicados en ciudades con una población superior a 1'200.000 habitantes. Esta resolución es obligatoria en todo el país desde agosto de 2017 para todas las edificaciones nuevas.

Documento CONPES 3919 -Política Nacional de Edificaciones Sostenibles

A través de dicha política, se busca impulsar la inclusión de criterios de sostenibilidad dentro del ciclo de vida de las edificaciones en un horizonte de tiempo del año 2025. Por lo tanto, la política nacional para edificaciones propuesta en el documento CONPES reconoce la necesidad de incorporar y promover criterios de sostenibilidad en edificaciones de todo tipo de uso, tanto nuevas como usadas en todo su ciclo

de vida. La política articula las iniciativas relacionadas con la inclusión de criterios sostenibles en el sector de las edificaciones dentro de una estrategia de instrumentos para la transición de política pública, mecanismos de seguimiento a resultados y financiamiento verde a través de incentivos económicos. A diferencia de las otras normativas colombianas antes expuestas, este documento incorpora un valor agregado o enfoque al ciclo de vida de las construcciones ecológicas que se basa en diseño y planeación, construcción, uso y mantenimiento y aprovechamiento. (Dentro de los criterios de sostenibilidad ambiental, se encuentran el uso de fuentes no convencionales de energía y manejo de materiales y recursos, por lo que el proyecto de grado propuesto se articula con la política nacional (CONPES 3919) en lo referente a Edificaciones Sostenibles.

Norma Técnica Colombiana NTC 6112

Norma en la cual se establecen los criterios de construcción sostenible para optar a un sello ambiental colombiano SAC, para construcciones de edificaciones sostenibles para uso diferente a vivienda. La política de edificaciones sostenibles busca disminuir el impacto ambiental de la construcción de edificaciones y contribuir al aumento en la calidad de vida de los ciudadanos, fortaleciendo así el crecimiento sostenible de la economía nacional en sintonía con la estrategia de crecimiento verde del PND 2014-2018, los ODS y los compromisos de la Agenda de París. En este sentido, la presente política articula iniciativas existentes para el sector de las edificaciones a través de acciones de corto y mediano plazo. Este documento impulsa la inclusión de criterios de sostenibilidad dentro del ciclo de vida de las edificaciones a través de ajustes normativos, culturales y el desarrollo de mecanismos de seguimiento y financiación que permitan implementar iniciativas de construcción sostenible, contribuyendo así a la adaptación y mitigación al cambio climático.

2.4.2 Energías alternativas

Ley 1715 de 2014

La cual establece el marco legal y los instrumentos para la promoción, el desarrollo y utilización de las fuentes de energía no convencionales (FNCE), en especial las de carácter renovable, en el sistema interconectado nacional SIN, mediante su integración al mercado eléctrico. Tiene entre otros propósitos la gestión eficiente de la energía, dentro de la que se incluyen las acciones de eficiencia energética y algunas generalidades de la demanda de energía. También trata de las facultades del gobierno nacional para otorgar incentivos destinados aquellos que hagan uso racional y eficiente de la energía eléctrica.

Decreto 2143 de 2015

Reglamentación de lo establecido en la ley 1715 de 2014, dicho decreto busca fomentar, entre otras, la inversión, investigación y el desarrollo de tecnologías limpias para la producción de energía y la eficiencia energética, estableciendo diferentes incentivos para ellos, indicando que la deducción especial del artículo 11 aplica para los contribuyentes del impuesto a la renta que realicen directamente nuevas

erogaciones en investigación, desarrollo e inversión en el ámbito de producción y utilización de energía a partir de los FNCE; consiste en que al declarante le da el derecho de deducir hasta el 50% del valor de las inversiones. Para acceder a dicho beneficio la parte interesada debe obtener previamente la certificación del beneficio ambiental que otorga el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Los proyectos financiados con este fondo deberán cumplir evaluaciones costo beneficio que comparen el costo del proyecto con los ahorros económicos o ingresos producidos

Decreto 1543 de 2017

Contiene la reglamentación definitiva del fondo de energías no convencionales y gestión eficiente de la energía (Fenoge). Su fin es financiar programas de FNCE y la gestión eficiente de la energía. Los recursos de este fondo pueden ser aportados por la nación, entidades públicas o privadas, así como los organismos de carácter multilateral e internacional. Con los recursos de este fondo se podrán financiar parcial o totalmente, entre otros, programas que implementen soluciones energéticas eficientes, mediante la promoción de buenas prácticas, equipos de uso final de energía, adecuación a instalaciones internas y remodelaciones arquitectónicas.

Resolución No-281 del 2015

Mediante esta resolución se regulan y se establecen los parámetros sobre los límites máximos permitidos de la potencia de la autogeneración a pequeña escala, para la cual se estableció 1MW máximo de generación y corresponderá a la capacidad instalada del sistema de generación del auto generador.

Resolución No 030 de 2018

Mediante esta resolución se regulan aspectos operativos y comerciales para permitir la integración de la autogeneración a pequeña escala y la de la generación distribuida al sistema interconectado nacional, SIN. Con el fin de que sea aplicada a los auto generadores a pequeña escala y generadores distribuidos conectados al SIN, a los comercializadores que los atienden, a los operadores de red y transmisores nacionales. También aplica a las conexiones de los auto generadores a gran escala mayores a 1MW y menores o iguales 5 MW. Esta resolución no aplica para sistemas de suministro de energía de emergencia, existentes o nuevas.

3. Metodología

3.1 Enfoque de la investigación

Debido a la naturaleza de la información y de los pasos llevados a cabo la investigación gira en torno al desarrollo de un nuevo producto por ende este proyecto toma un enfoque mixto en función del proceso analítico y procedimental de los resultados y los datos recolectados. La recolección y el análisis de datos combinan los métodos estandarizados, con los cuales se obtienen resultados cualitativos de la opinión de los usuarios y cuantitativos por parte de la demanda eléctrica de sus dispositivos móviles, para este trabajo se cruzó información de los dos enfoques para llegar a los resultados.

3.2 Técnicas de recopilación de la información

Acorde con los objetivos planteados, la técnica utilizada para la recopilación de información fue la aplicación de encuestas digitales. Por un lado, se aplicó una encuesta para obtener información que sirviera de base para el desarrollo de mediciones indirectas de consumo de energía y las percepciones de la comunidad universitaria hacia una construcción eco-amigable como zona de estudio/esparcimiento y que pudiese ser ubicada en las zonas verdes del campus Majavita. La encuesta digital basada en Google Forms hizo uso de diversos tipos de escalas de medidas. Se recurrió al uso de mediciones indirectas y a la aplicación de formularios digitales, debido a la situación de pandemia durante el cual se desarrolló el estudio.

La encuesta aplicada se dividió en tres secciones. La primera enfocada en indagar acerca de los hábitos de uso de tiempo libre, las expectativas en cuanto a la funcionabilidad de la construcción eco-amigable, conocimiento de los criterios de sostenibilidad y necesidades de los usuarios de la comunidad Unilibrista. Dividida así en: Relación la universidad (tres preguntas); hábitos de uso de tiempo libre (tres preguntas); expectativas y necesidades de la comunidad Unilibrista (tres preguntas). La segunda enfocada en identificar los hábitos de uso y carga de los dispositivos móviles de los usuarios dentro de las instalaciones de la Universidad Libre Seccional Socorro (cinco preguntas). La tercera sección estaba enfocada capturar las características sociodemográfico de los encuestados (tres preguntas). Ver Anexo A (Encuesta aplicada).

3.3 Población y muestra

Para dar respuesta a los dos primeros objetivos específicos planteados, se recurrió a una muestra de la población conformada por 300 personas que hacen parte de la comunidad Unilibrista seccional Socorro. El tipo de muestro empleado fue por conveniencia, ello debido a la dificultad técnica que representaba llevar a cabo un muestro aleatorio. Con el fin de asegurar la representatividad en la muestra, esta fue expuesta a diversos integrantes de la comunidad universitaria: docentes, administrativos y estudiantes intentando a su vez, lograr el mayor número de participantes dentro del estudio. Se recurrió a conocidos y a redes sociales con el fin de replicar el cuestionario aplicado.

Con el fin de conocer la preferencia de la comunidad Unilibrista hacia diseños preliminares de construcciones sostenibles, una segunda muestra conformada por 100 personas fue empleada. Una vez más se recurrió a un muestreo por conveniencia debido a la dificultad técnica que representa el desarrollo de estudios aleatorios en ausencia de un marco muestral bien definido y de fácil acceso

Aunque la información capturada obedece a la comunidad Unilibrista, dado su carácter, los resultados podrían ser también extrapolados (al menos en parte) al sector de la construcción y a la comunidad en general del área de influencia de la Seccional Socorro, como una forma de extensión social universitaria del conocimiento generado al interior del programa. Aunque, se resalta, que esto sería una población indirecta.

3.4 Localización del proyecto

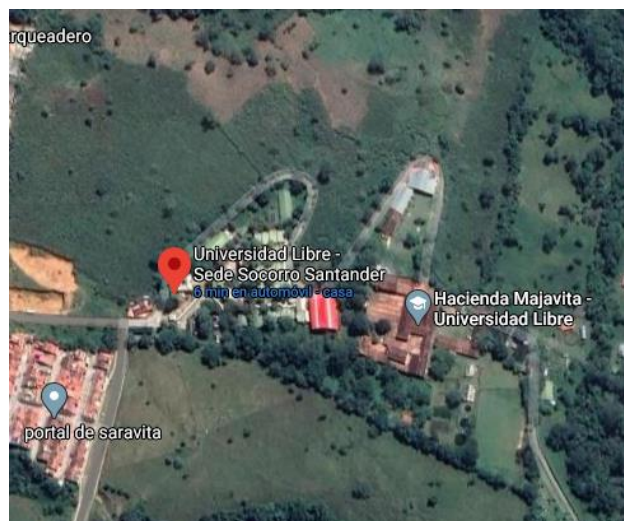
Desde el punto de vista geográfico, el proyecto para su desarrollado tuvo como base el municipio del Socorro y más precisamente, la Universidad Libre seccional Socorro, Campus Majavita. En caso de una construcción futura, los resultados del proyecto están pensados para ser utilizados en las zonas verdes de la Universidad Libre Seccional Socorro en su campus universitario Majavita.

El Municipio de Socorro Santander está ubicado a 1230 msnm, la mayor parte del área donde está ubicado el municipio presenta bosque húmedo premontano (1200 a 200° msnm) y otra parte de bosque seco tropical (900 a 1200 msnm), la temperatura promedio en este municipio es de 24 °C. La estructura económica del municipio tiene en primer lugar la producción agrícola y agropecuaria.

El diseño preliminar se proyecta para las zonas verdes de la Universidad Libre en su campus Universitario Majavita el cual está ubicado en la parte alta del casco urbano del municipio, tal como se muestra en las figuras 10,11 respectivamente

Figura 10

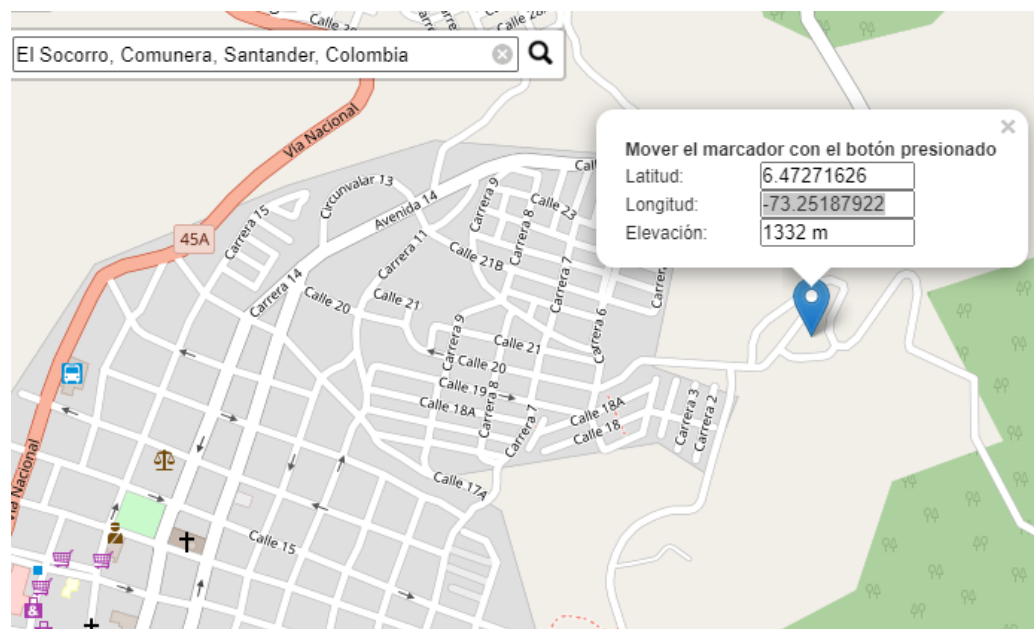
Localización del proyecto



Nota. Adaptado de Google Maps

Figura 11

Coordenadas Universidad Libre Seccional Socorro, Campus Universitario Majavita



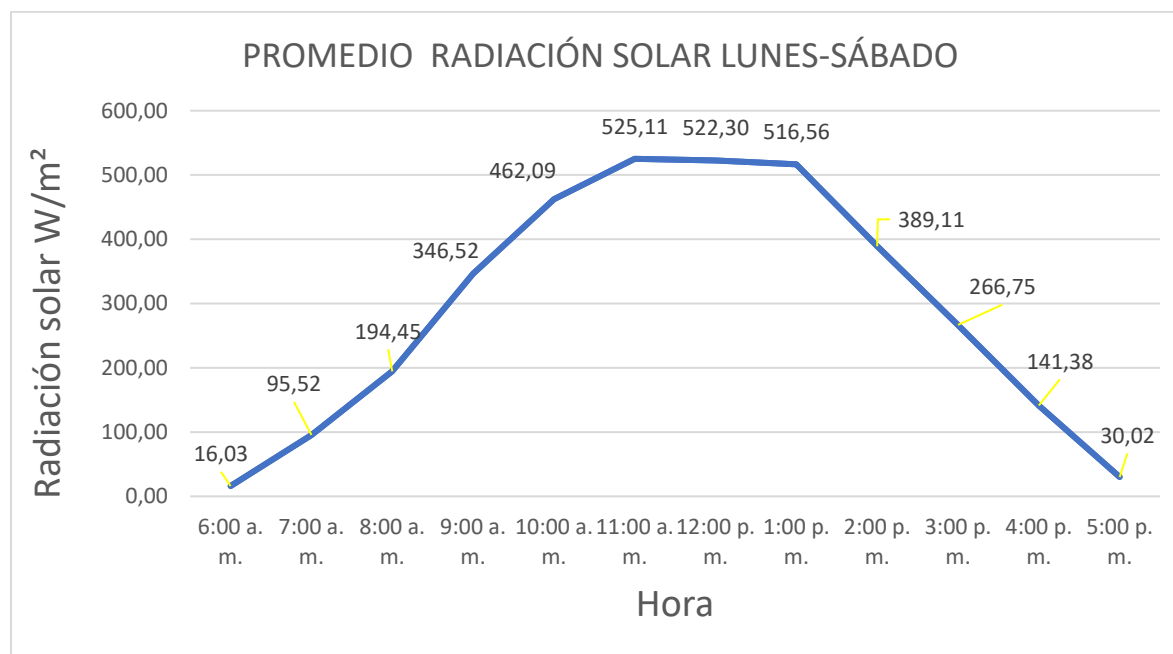
Nota. Adaptado de <https://www.mapcoordinates.net/es>

3.5 Radiación solar

Para la realización de este proyecto es de vital importancia contar con las adecuadas condiciones del clima. Con base en información climatológica obtenida a partir de la estación meteorológica ubicada en la Universidad Libre campus Majavita, de manera general, se puede definir que en el Socorro el sol sale entre las 5:30 y 6:00 de la mañana. La radiación solar es captada inicialmente en el rango de hora de las 6 am, ahí comienza a aumentar hasta llegar a su pico máximo de radiación que se daría entre los rangos de hora de 11 a 1 de la tarde. A partir de esa hora, el sol comienza a alejarse y por ende la radiación solar captada es menor, hasta que alrededor de las 6 de la tarde se ha ocultado totalmente y ya no se posee radiación solar captada. De manera general, esto indica que se poseen alrededor de 12 horas de radiación solar sol donde 3 de estas están en su pico máximo de radiación (ver 12).

Figura 12

Promedio Radiación Solar Unilibre Socorro



Nota. Gráfico de Excel realizado por el autor con información obtenida de la estación meteorológica de la Universidad Libre Seccional Socorro

Para realizar los cálculos de generación, es necesario saber la energía promedio por unidad de área que se produce al día, la cual es equivalente al área bajo la curva mostrada en la figura 12. Estos cálculos es usual mostrarlos haciendo uso de una variable que se denomina el brillo solar y que se define como la cantidad de horas que tendría que alumbrar una fuente de 1kW/m² para producir la misma densidad de energía. De lo anterior, se deduce que el brillo solar en el Socorro es aproximadamente 5 horas.

El pico máximo de radiación se da entre los rangos de hora que la comunidad universitaria está haciendo su descanso de la jornada de la mañana que sería en el rango de 1-2 pm por ende este pico máximo de 1-2 se puede aprovechar para alimentar otros dispositivos usados en la universidad que se mantengan encendidos en este horario, o en su defecto, enviar los excedentes a la red, esta energía entraría hacer el balance energético con el consumo de la jornada nocturna

3.6 Variables de la investigación

Tabla 1.

Variables Relacionadas con el Diseño Energético

Tipo	Variable	Unidad
------	----------	--------

Dependientes	Área de instalación	m ²		
	Inclinación de paneles solares	° grados		
	Frecuencia de salida del panel	Hz		
Independiente	Localización	°	'	“
		Grados	minutos	segundos
	Tiempo	horas		
Intervinientes	Radiación solar	W/m ²		
	Nubosidad	Octa		
	Precipitación	mm		
	Temperatura	Celsius		

Tabla 2

Variables Relacionadas con la Selección de Materiales.

Tipo	Variable	Unidad
Dependientes	Material seleccionado	Material
Independientes	Variables empleadas en la selección de materiales concernientes a: Dimensión social Dimensión económica Dimensión ambiental	Escala de valoración

3.7 Equipos, instrumentos y materiales

Los equipos de medición y análisis empleados subyacen a herramientas informáticas orientadas a la aplicación de encuestas como objeto de medición y procesamiento de los mismos datos. Para especificar en si los instrumentos se procedieron a discriminarlos por etapas (ver tabla 3).

Tabla 3

Equipos, Instrumentos y materiales usados en la investigación

Etapa	Software-Recurso digital
I objetivo	Google Forms Microsoft teams Excel Software SPSS
II Objetivo	AutoCAD Google forms Excel

	Matriz previa QFD SPSS
III Objetivo	Bases de datos: Scopus ScienceDirect GeoRef Plataformas digitales patentes: ESPACENET, PATENTSCOPE Excel Biblioteca virtual
IV objetivo	Autocad ScketchUp Excel Generador Render

3.8 Procedimiento

El proyecto se estructuró en cuatro etapas correspondientes cada una con los cuatro objetivos específicos propuestos. A su vez, estas etapas estuvieron interconectadas con los pasos generales que se suelen tener en cuenta durante el proceso de desarrollo de nuevos productos (Chaochotechuang & Mariano, 2016; Pozo et al., 2005; Prašnikar & Škerlj, 2006): i) Generación de ideas, ii) Análisis del potencial del negocio, iii) Diseño del prototipo, iv) Diseño final del prototipo y v) Lanzamiento al mercado.

3.8.1 Etapa 1. Mediciones de consumo & expectativas de los usuarios

Mediciones de consumo

Para el desarrollo de mediciones de consumo de energía eléctrica, se empleó una metodología de medición indirecta. Básicamente, a través de un muestreo (por conveniencia como se indicó anteriormente), lo que se buscó fue estimar el consumo de energía eléctrica asociado al uso de dispositivos móviles de mayor uso por parte de la comunidad universitaria. Para ello, se levantó información acerca de tiempos de carga, potencia de carga, marcas, tipos y características técnicas de los dispositivos móviles. Dicha información, fue indispensable para el diseño preliminar del sistema de generación de energía limpia.

Las actividades que comprendieron esta primera etapa fueron:

- A1. Mediciones de consumo indirecto de energía eléctrica asociados al uso de dispositivos móviles.
- A2. Identificación de relaciones de consumo con los tipos de dispositivos móviles usados con mayor frecuencia por la comunidad universitaria, así como tiempos de carga y especificaciones técnicas.

Expectativas de los usuarios

Tal y como se señaló en el apartado teórico, lo que se buscó fue proponer un modelo de construcción eco-amigable que se ajuste en la mayor medida posible a las necesidades, preferencias y expectativas de la

comunidad universitaria. En este sentido, como primera medida se recurrió a captar algunos de los hábitos que los integrantes de la comunidad universitaria suelen tener dentro de la universidad en su tiempo libre (durante presencialidad). A su vez, también fue de interés explorar las necesidades de los integrantes de la comunidad universitaria en cuanto al acceso de puntos de conexión eléctrica y facilidades. Además, se indagó por sus percepciones respecto a SB; para ello, se diseñó y aplicó una encuesta con preguntas cerradas de tipo autoadministrada. Una metodología similar de incluir criterios de los usuarios dentro de los procesos de desarrollo de SB fue empleada en el trabajo de [Chen et al. \(2019\)](#). Los datos obtenidos a partir de la encuesta fueron procesados empleando el software SPSS 21.0.

A continuación, se listan las actividades que comprendieron el desarrollo de esta segunda parte de la primera etapa:

- A3. Recolección de información acerca de las necesidades, expectativas y preferencias de los integrantes de la comunidad universitaria con relación a una construcción eco-amigable como zona de esparcimiento.
- A4. Procesamiento de la información.

3.8.2 Etapa 2. Modelo de construcción Eco-amigable

Identificadas las expectativas de los usuarios, se procedió al diseño preliminar de una construcción eco-amigable que podría ser ubicado en un futuro en las áreas verdes de la Universidad Libre. Con el fin de responder a la demanda de los usuarios finales, se procedió al empleo de la primera matriz de la *Quality Functional Deployment* (QFD). Dicha matriz, es comúnmente empleada como una herramienta de ingeniería (por parte de la industria) en el diseño de nuevos productos al permitir traducir las demandas de los consumidores en especificaciones técnicas de los productos. Por lo tanto, el punto de partida fueron los resultados obtenidos en la primera etapa del proyecto. Por su parte, para dar respuesta a través de especificaciones técnicas de la construcción, se tuvieron en cuenta los resultados de la primera etapa incorporando aspectos del uso de paneles solares fotovoltaicos recurriendo a su vez, a la información sobre el proyecto de energía solar que reposa en el grupo de investigación GIAM-Z de la Universidad. [Marzouk et al. \(2014\)](#), también emplearon el QFD en el proceso de desarrollo de SB enfocado en trasladar los requerimientos de los usuarios en especificaciones técnicas de las viviendas.

Desarrollado en parte el QFD, se procedió a la fase de ideación de la estructura. Para ello, se diseñaron tres tipos de estructuras haciendo uso de software SketchUp de modelación en 3D. Tras el desarrollo de los tres tipos de estructuras, estos se sometieron a evaluación por parte de un grupo de integrantes de la comunidad universitaria a modo de votación, como se indicó en el apartado de población y muestra. Nuevamente, se recurrió a un muestreo por conveniencia, esta vez, con la participación de menos integrantes pero representativos de la comunidad universitaria. En este segundo muestreo participaron 100 personas. Finalmente, sobre el diseño que obtuvo la puntuación más alta, se procedió a desarrollar un diseño preliminar final. Las actividades que se desarrollaron en esta segunda etapa fueron:

- A5. Evaluación de criterios de sostenibilidad haciendo uso de la matriz QFD
- A6. Diseño preliminar de diferentes tipos de estructuras de eco-amigables teniendo en cuenta los resultados de la actividad A5
- A7. Selección de un diseño que más se ajuste a las expectativas de los usuarios mediante la aplicación de un modelo de elección
- A8. Diseño preliminar final según expectativas de los usuarios.

3.8.3 Etapa 3. Selección de materiales Eco-amigables

Elegido el diseño preliminar, se procedió a la selección de materiales de construcción SB que podrían ser tenidos en cuenta para su construcción futura. Para la selección de los materiales de construcción sostenibles, como primera medida se definieron los criterios para tener en cuenta bajo un marco de SB. Debido a la gran diversidad de criterios que podrían ser incluidos dentro del estudio, así como su limitada aplicación práctica existente en la literatura, el punto de partida fue el trabajo desarrollado por (Gutiérrez, 2017). Tal y como se mencionó en el apartado introductorio, en dicho trabajo se identificaron y categorizaron 44 variables que podrían ser tenidas en cuenta a la hora de seleccionar materiales de construcción sostenible. Por lo tanto, el desarrollo del presente trabajo de grado tuvo como punto de partida dichos criterios (por favor remitirse a [Gutiérrez \(2017\)](#)).

Debido a que un criterio importante comúnmente referenciado es la disponibilidad local (de los materiales), como parte del estudio, se hizo una recopilación acerca de posibles materiales sostenibles de construcción que en el área de influencia de la Universidad Libre Seccional Socorro puedan existir. Para ello, se recurrió a fuentes secundarias (búsquedas en bases de datos científicas) y más concretamente a estudios que sobre este aspecto hayan sido llevados a cabo. También, se tuvo en cuenta estudios exploratorios que muestran la viabilidad de producir otros materiales en la región.

Con la información acerca de los criterios de selección y de los materiales encontrados, se procedió al desarrollo de una matriz de doble entrada de calificación. Al final, se pudo obtener un panorama acerca de los materiales de SB más susceptibles de ser empleados para el diseño final de la estructura. Una metodología similar de matriz de doble entrada fue empleada por [Gutiérrez \(2017\)](#). Las actividades que comprendieron esta tercera etapa son:

- A9. Definición de criterios para la selección de materiales de construcción sostenible.
- A10. Identificación de posibles materiales (de la región) sostenibles que sirvan en la construcción eco-amigable
- A11. Ponderación de materiales no convencionales teniendo en cuenta aspectos de sostenibilidad (sin incluir la demanda de la comunidad universitaria).

3.8.4 Etapa 4. Diseño de un sistema eléctrico de energía solar fotovoltaica

Identificada la demanda de energía de los dispositivos móviles cargados frecuentemente por los usuarios de la Universidad Libre seccional Socorro, se procedió al diseño de un sistema integrado de captación de energía solar y conversión a energía eléctrica, teniendo en cuenta especificaciones técnicas de diseño eléctrico y electrónico para que este modelo pudiera ser adaptado al diseño de construcción eco-amigable. De las respuestas a la encuesta, fue posible calcular el consumo de energía promedio al día, y con esta información y el brillo solar calculado en la sección 3.5 se procedió a realizar la selección de los paneles a ser usados, así como el cálculo de la cantidad requerida y de las especificaciones que el inversor debía tener.

Definidos los aspectos técnicos de acceso a energía solar fotovoltaica y el material a emplear, se procedió a la fase de ideación final de la construcción. Para ello, se tuvo en cuenta además el modelo de construcción elegido en la etapa 2 y la matriz QFD. El material sostenible con mejor puntaje ponderado en la etapa 3, se adaptó al diseño preliminar final de la etapa 4 y se presenta una modelación en 3D del diseño final de construcción eco-amigable que incluye red eléctrica y los criterios de sostenibilidad. Es de resaltar que no presentan en detalle cálculos arquitectónicos y de ingeniería civil por no ser de competencias del programa de Ingeniería Ambiental. En este sentido, la información expuesta es solo de tipo preliminar. Las actividades que se desarrollaron en esta cuarta etapa fueron:

- A12. Diseño eléctrico de energía solar fotovoltaica para el modelo de construcción eco-amigable seleccionado.
- A13. Diseño final de construcción eco-amigable basada en criterios de sostenibilidad, con materiales sostenibles y acceso a energía renovable.

3.9 Detalle metodológico

3.9.1 Mediciones indirectas de consumo y expectativas de los usuarios frente a las construcciones sostenibles.

Diseño de la encuesta

La encuesta se diseñó en dos plataformas, Google forms y Microsoft forms. Las dos disponen de herramientas muy útiles para la aplicación de cuestionarios, cada una con sus ventajas y desventajas. Sin embargo, por facilidad de diseño se optó por usar Google form, previo pre-test de uso de funcionamiento de ambas plataformas. Al montar la información en las dos plataformas y al hacer el ensayo previo de aplicación de la encuesta, se encontró que era mejor usar la plataforma de Google formularios ya que para las preguntas de hábitos de uso y carga del dispositivo móvil dentro de la universidad se requería usar la pregunta de casilla con múltiple respuesta que no posee Microsoft forms. El diseño de la encuesta tomó aproximadamente un mes en el cual se hicieron correcciones, cambio de preguntas, consulta bibliográfica

y se exploró a fondo cuales eran las respuestas que se necesitaban de los usuarios para enriquecer y llevar a cabo la investigación. La encuesta aplicada se encuentra disponible en:

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfbkL4rszpSwUIZ0XXTQblysdraQzG6C6uIHA87T2roHkC90g/viewform>

Por su parte, las respuestas de la encuesta se encuentran en:

https://docs.google.com/forms/d/14SmJNJMSTuqxoMEkBLYY3Lk45R_g1_cyLDVtkISIdiA/edit#responses

Aplicación de la encuesta

La encuesta se aplicó a los usuarios de la comunidad Unilibrista. Se solicitó responder a las preguntas de manera autónoma, consciente y transparente. Todo el procedimiento se llevó a cabo en línea debido a la situación actual en la cual se encontraba cuando la información fue recolectada. La encuesta se dividió en tres secciones. i) La primera enfocada en identificar los hábitos de uso de tiempo libre, las expectativas en cuanto a la funcionabilidad de una estructura eco-amigable, conocimiento de los criterios de sostenibilidad y necesidades de los usuarios de la comunidad Unilibrista. ii) La segunda estuvo enfocada en explorar los hábitos de uso y carga de los dispositivos móviles de los usuarios dentro de las instalaciones de la Universidad Libre Seccional Socorro (cinco preguntas). Finalmente, iii) la tercera sección de la encuesta se centró en capturar información de tipo sociodemográfico (tres preguntas).

Análisis de la encuesta

Para hacer el análisis de la encuesta se descargó de Google forms los resultados. Se obtuvieron un total de 222 respuestas. Desde la plataforma de Google se descargaron las respuestas en formato Excel, para, luego, proceder a realizar los respectivos análisis estadísticos con SPSS. Para poder cargar los datos en SPSS desde Excel, se recurrió al desarrollo de codificaciones. Se utilizó SPSS debido a la facilidad que brinda a la hora de procesar datos de gran tamaño, el desarrollo de múltiples cálculos a la vez y a la posibilidad de hacer transformaciones de variables de manera sencilla. Antes de iniciar el procesamiento en SPSS, se hizo un análisis de casos duplicados con el fin de asegurar aún más la fiabilidad de la información. Identificados estos fueron eliminados de la base de datos.

Análisis percepciones en cuanto a la funcionabilidad de una estructura eco-amigable

En el programa SPSS se entrelazó la información de las variables haciendo tablas personalizadas, de tal modo que pudiéramos hacer la mayor forma posible de enlaces entre todas las preguntas y relacionarlas, esto con el fin de analizar si los resultados son coherentes, siguen la secuencia de las preguntas y de este modo descubrir los casos atípicos para eliminarlos, posteriormente se procede a generar gráficas y analizar la información.

Es importante usar el programa SPSS para un mejor manejo de los datos, y así se puede saber en específico que considera cada grupo de la comunidad Unilibrista según su percepción que son las

construcciones sostenibles, sus necesidades y expectativas de funcionalidad de una estructura eco-amigable.

3.9.2 Análisis Criterios de Sostenibilidad mediante el uso de matriz QFD

Criterios de sostenibilidad a partir de Matriz QFD

Con los resultados obtenidos del capítulo anterior, se definieron las características que los usuarios toman como importantes a la hora de hacer una construcción sostenible, en la matriz del QFD se ingresan los datos de las exigencias de los consumidores y se evaluaron a cuáles se les debe dar prioridad en el diseño para posteriormente hacer los diseños bajo estas indicaciones sugeridas por la comunidad universitaria. En detalle se explica el uso y manejo de los datos en el matriz de función de calidad en el capítulo 5.

Diseño tres estructuras funcionales

Se diseñaron tres modelos funcionales de estructuras según los resultados obtenidos en el objetivo uno, los cuales indican que según las necesidades de los usuarios les gustaría que se crearan nuevos espacios para estudio y descanso.

Las estructuras fueron diseñadas primero a mano alzada para plasmar las ideas principales del modelo en general, luego modelado en Sketchup y por ultimo las instantáneas se tomaron desde Vray Next para generar las imágenes como Render.

Diseño de un modelo de elección

El modelo de elección pensado para este trabajo de grado era un focus group, debido a la situación mundial actual (momento en que realizo la actividad), se hizo un modelo de votación en Google forms donde lo que se indago sobre cuáles son las percepciones de los usuarios de la Unilibre de las estructuras diseñadas según sus necesidades y expectativas, para lo cual estas estructuras fueron diseñadas como zona de estudio-descanso, y buscan que los usuarios pasen su tiempo libre en las instalaciones de la universidad aprovechando su tiempo para inspirarse o pasar un tiempo tranquilo. Para esto se planteó el siguiente modelo de votación

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd-uSjpGbLV2redXj8BRkWCfkZ->

HBDHtbgp60iuzCRBgojeLg/viewform?usp=sf_link

los siguientes pasos de aplicación de modelo de votación, análisis de datos y procesamiento de estos siguen la misma metodología que el objetivo uno.

3.9.3 Selección de materiales de construcción mediante la evaluación de criterios de sostenibilidad

La selección del material con el cual se llevará a cabo un proyecto de construcción es un arduo trabajo que involucra muchas variables, generalmente implica hacer una evaluación de cumplimiento de criterios de sostenibilidad previamente establecidos, evaluación de calidad del producto y evaluación de impactos ambientales durante su ciclo de vida. Este objetivo investigo sobre nuevos materiales de

construcción mediante la consulta en bases de datos y bases de productos patentados, esto con el fin de tener un respaldo científico investigativo sobre los materiales, lo cual se compacto en un set de materiales de construcción, seguido de una consulta en la red, donde se citan algunas construcciones y empresas dedicadas a la construcción con base en criterios de sostenibilidad, en una matriz de evaluación se define cuales materiales se van a evaluar en la matriz de doble entrada, se evaluaron dos requisitos que estuviera disponible en la región y si en la región alguien ofrece este tipo de productos, luego de definir cuales materiales posiblemente se puedan conseguir en la región, se evaluaron en una matriz de doble entrada que buscaba definir cual material cumple más porcentaje criterios de sostenibilidad, para esto se evaluaron 25 criterios; 8 del factor social, 8 el factor económico y 9 del factor ambiental, como resultado concreto de este estudio se deben tener en cuenta los resultados obtenidos anteriormente.

3.9.4 Diseño final

Diseño del sistema fotovoltaico

El primer paso en el diseño del sistema de generación de energía limpia fue decidir el tipo de sistema a utilizar. Como se mencionó en el marco teórico, si el sistema está conectado al Sistema Interconectado Nacional (SIN) se denomina On-Grid, y si está desconectado, se le llama Off-Grid, también existen sistemas híbridos que son mezclas de estos dos.

Acto seguido, se realizó una consulta sobre el estado del arte de los paneles solares e inversores a nivel comercial, en lo referente a eficiencia, potencia entregada por área, impacto ambiental positivo, durabilidad, garantía dada por el proveedor, relación costo-beneficio y trayectoria en el mercado de la empresa distribuidora de los mismos. Para la consulta de los paneles, se tuvo además en cuenta la potencia entregada por área. Después, se procedió a calcular el número de paneles a ser usado basado en el resultado de consumo del primer objetivo, y de la selección del tipo de sistema a ser utilizado. Luego, a partir de los datos de salida del conjunto de paneles solares, así como, de la consulta realizada, se procedió a elegir un inversor que fuera compatible. En el capítulo 7 se explica en detalle los resultados del procedimiento.

Terminado el diseño del sistema de generación de energía limpia se procedió a adecuar su instalación en el área del techo de la estructura eco-amigable, a la cual se le hicieron modificaciones sugeridas por los usuarios, en el programa SketchUp.

4. Mediciones de Consumo y Expectativas de los Usuarios

En este apartado del documento se exponen los resultados correspondientes al desarrollo del primer objetivo específico planteado “Realizar mediciones indirectas de consumo de energía eléctrica al interior de las aulas del campus universitario y a su vez indicar mediante la aplicación de una encuesta las expectativas de los usuarios en cuanto a la funcionabilidad de una estructura eco-amigable que pueda ser usado en las zonas verdes de la universidad Libre seccional Socorro en su campus universitario Majavita como zona de estudio/esparcimiento”.

4.1 Descripción de la muestra

La encuesta en línea aplicada a la comunidad Unilibrista por medio de la plataforma de Google formularios fue diligenciada por 222 personas. Seguido de un proceso de descarga de los resultados y procesamiento de estos en el software SPSS, se eliminaron los casos repetidos y atípicos para un total de 188 respuestas válidas. Las características de la muestra se presentan en la tabla 4.

Tabla 4

Descripción de la Muestra

Característica	Porcentaje
Género	
Femenino	50%
Masculino	47%
Otra consideración	3%
Nivel de estudio	
Básico/primaria	1%
Bachillerato	25%
Técnico/tecnólogo	26%
Pre-Grado	41%
Post grado (Especialización)	3%
Maestría	2%
Doctorado	2%
Rango de edad	
Igual o menor de 18 años	3%
Entre 18 y 21 años	31%
Más de 21 años y menos de 25 años	50%
Más de 25 años y 30 años	10%
Entre 31 y 40 años	4%
Entre 41 y 50 años	2%
Más de 50 años	0%

Nota. Tabla realizada por el autor con los resultados encuesta aplicada.

La muestra estuvo conformada en un 50% por mujeres, seguida de un 47% de hombres y un 3% de población diversa/otra consideración. Se puede observar que la mayoría de los encuestados el nivel máximo de estudios alcanzado es pregrado con 41%, pero la mayor parte de los encuestados son estudiantes de

pregrado (41%) así que, se puede deducir que contestaron en función de lo que estudian actualmente y no de nivel de estudios finalizado. Le siguen personas con estudio técnico/tecnólogo (26%), y bachillerato (25%). En cuanto a la edad, se observa que la mitad de las respuestas se obtuvieron de personas entre un rango de edad de 21 y 25 años (50%), seguido del rango 18-21 años (31%), entre 25-30 años (10%), el 6% corresponde a personas mayores de 31 años. La información recolectada a través de la encuesta fue la base para el cálculo de la medición indirecta de consumo eléctrico de los dispositivos móviles (numeral 4.2) así como para la identificación de las expectativas de los usuarios frente a las estructuras eco-amigables (numeral 4.3).

4.2 Resultados: Medición de consumo indirecto

Como resultado de la medida indirecta del consumo energético de los dispositivos móviles cargados con mayor frecuencia dentro de las instalaciones de la Universidad Libre Seccional Socorro, se tiene que el consumo promedio diario de todos los dispositivos es de 19874,3 Wh/día (ver tabla 5). Este resultado es clave para el cálculo del sistema de generación de energía solar fotovoltaica, para el cual se usará el valor aproximado, es decir, 20 kWh/día.

Tabla 5.

Cálculo de Demanda Energética

Hora	Energía promedio diaria consumida por tipo de dispositivo			Totales
	Celular	Tablet	Computador	
7 am - 8 am	135.8	5.08	1026.5	1167,4
8 am- 9 am	186.1	32.14	1337.6	1555,8
9 am - 10 am	276.6	32.14	1980.5	2289,2
11 am - 12 medio día	300.1	5.08	1109.5	1414.6
1 pm - 2pm	78.8	11.84	528.8	619.4
2 pm- 3 pm	187.8	28.76	1057.6	1274.1
3 pm - 4 pm	197.8	18.61	1690.1	1906.6
4 pm - 5 pm	219.6	10.15	1887.1	2116.9
5 pm -6 pm	192.8	6.77	1783.5	1983.0
6 pm -7 pm	164.3	27.07	1171.7	1363.0
7 pm -8 pm	197.8	15.23	1534.6	1747.6
9 pm -10 pm	150.9	13.53	1088.7	1253.1
10 pm - 11 pm	82.1	0.00	591.0	673.2
Después de las 11pm	95.6	0.00	414.8	510.3
Energía consumida	2466.0	206.4	17202.0	19874.4
Energía consumida de las 5 pm en adelante	883.5	62.6	6584.3	7530.3

Nota: La tabla presenta los datos totales de consumo por hora, la suma total de consumo en horas de sol nos señala la demanda eléctrica de dispositivos que pretende suplirse con energía solar fotovoltaica. La

energía consumida de 5 pm en adelante, cuando ya no está presente la luz solar nos muestra la demanda eléctrica para el cálculo de las baterías del sistema de generación de energía renovable.

En la tabla 5 se presentan los cálculos realizados, de los cuales se concluye que de los hábitos de carga que se tienen en la comunidad Unilibrista, los dispositivos en los que se consume mayor cantidad de energía son los portátiles. También se puede observar que las horas de menor consumo corresponden a las horas de receso. Para determinar el consumo de energía en horas de no sol, se hizo la suma de energía consumida desde las 5 p.m. hasta las 6 a.m., de lo cual se obtuvo un valor aproximado de 7530.3 Wh/día. Dicho dato es el requerido para hacer el dimensionamiento del sistema de baterías, sin embargo, dado que las baterías son altamente contaminantes, se decidió diseñar el sistema de generación fotovoltaica conectado a la red de la electrificadora, es decir “On Grid”, lo cual además de ser una mejor solución en términos ambientales, también permite tomar la energía faltante de la red e inyectar los excedentes a la misma.

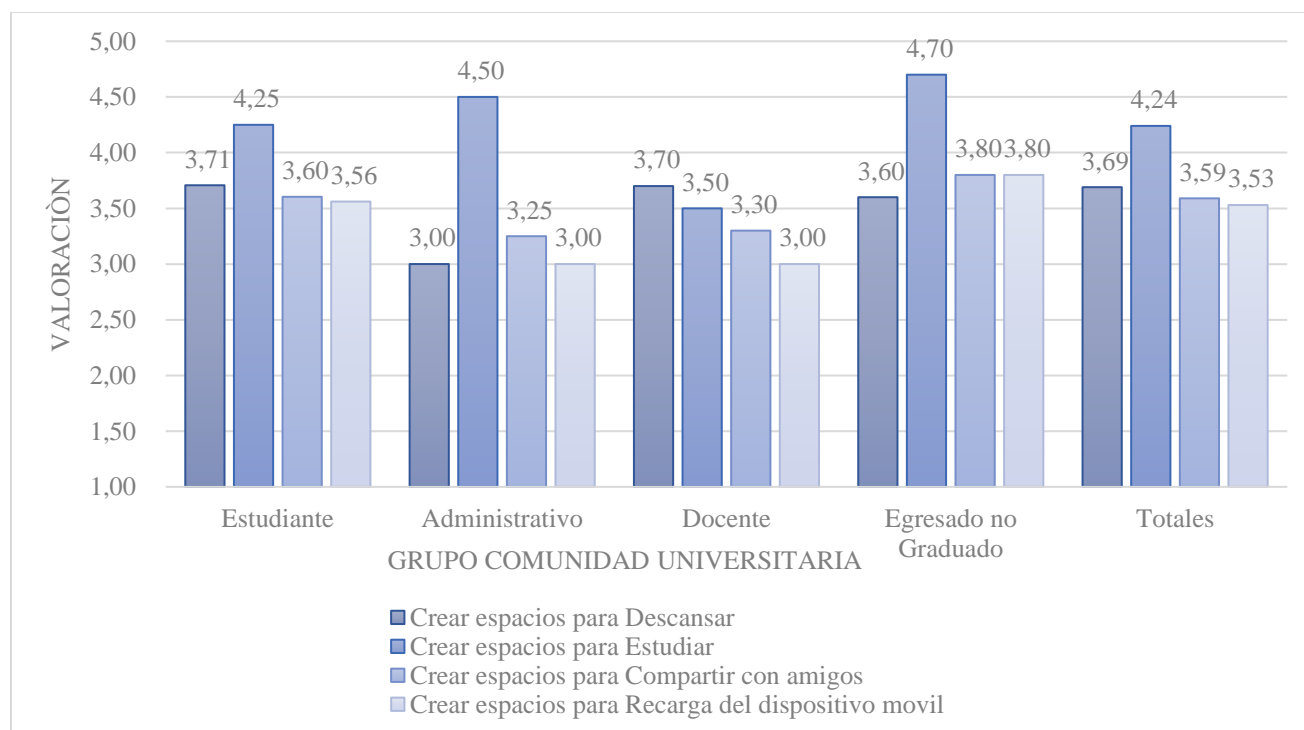
4.3. Expectativas de los usuarios

4.3.1 Necesidades elucidadas por los usuarios

Acorde con el desarrollo del primer objetivo específico planteado, la encuesta dirigida a la comunidad UniLibrista preguntaba acerca de la necesidad de crear nuevos espacios al interior de la universidad centrados en zonas de descanso, zonas de estudio, zonas para compartir con amigos y zonas para la recarga de dispositivos móviles. Los resultados señalan que, con un promedio de 4,24, para la comunidad UniLibrista encuestada crear dentro de la universidad una nueva zona para estudiar es de gran relevancia (ver figura 13). Le siguen, en orden de importancia, la creación de un nuevo espacio para descansar (media=3,69), un nuevo espacio para compartir con amigos (media=3,59) y por último espacios para recargar dispositivos móviles (media=3,53).

Figura 13

Valoración creación de nuevos espacios dentro del campus universitario

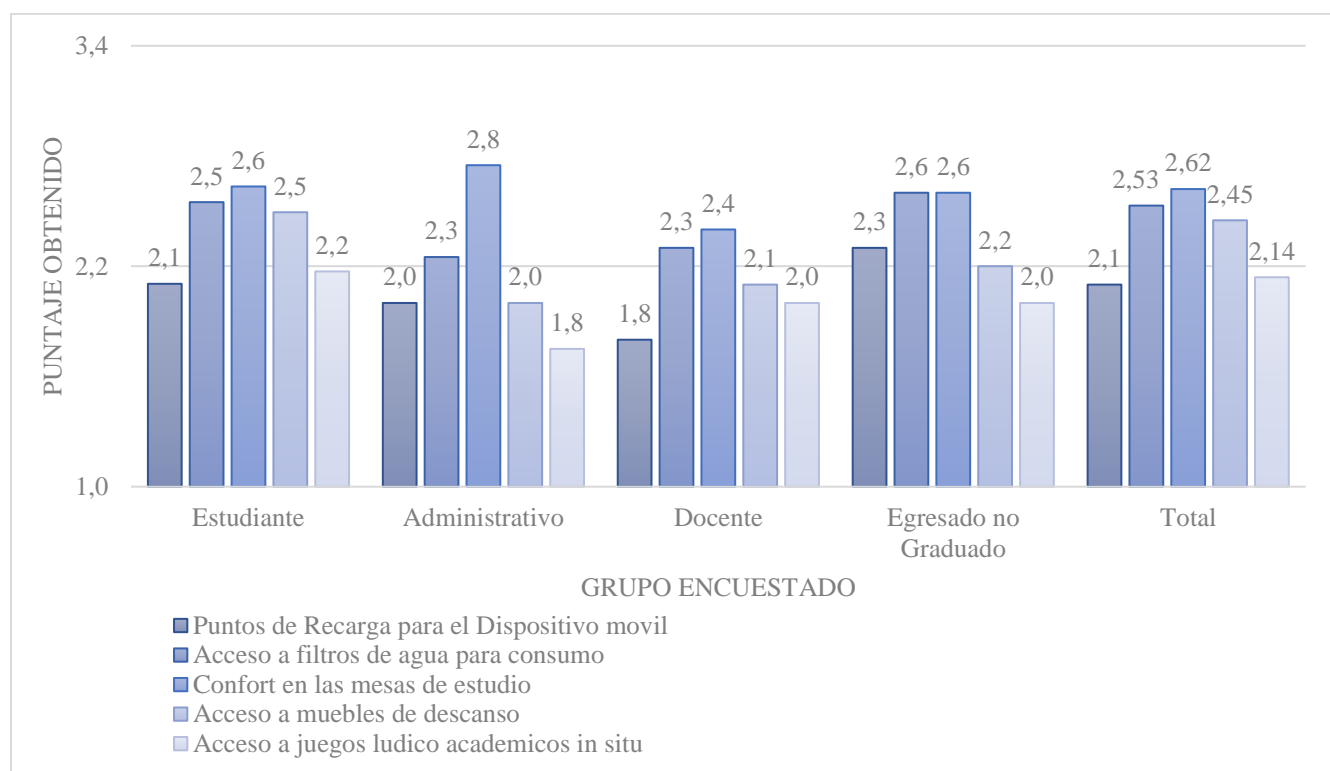


Nota. Gráfico realizado por el autor en Excel con datos obtenidos de la encuesta aplicada.

Es interesante observar que, en los estudiantes (media=4,25), los administrativos (media=4,50) y los egresados no graduados (4,70), el crear un nuevo espacio para estudiar posee el promedio más alto dentro de todas las opciones, mientras que, en los profesores, la creación de un nuevo espacio debería estar más centrada en una zona para descansar (media=3,70).

4.3.2 Preferencias de los usuarios hacia facilidades locativas

En cuanto a facilidades que debiese tener un nuevo espacio dirigido al aprovechamiento del tiempo libre dentro del campus universitario, la que posee una mayor preferencia es confort en las mesas de estudio (media=2,62), seguido de acceso a filtros de agua para consumo (media=2,53) y acceso a muebles de descanso (media=2,45) (ver figura 14). Por su parte, el acceso a juegos lúdicos-académicos in situ (2,14) y puntos de recarga para dispositivos móviles (2,10), mostraron ser no tan preferidos. Una mayor preferencia de confort en las mesas de estudio seguido por acceso a filtros de agua para consumo es común en todos los grupos de interés encuestados que conforman la comunidad UniLibrista.

Figura 14*Expectativas de los Usuarios*

Nota. Gráfico realizado por el autor en Excel con datos obtenidos de la encuesta aplicada.

Es interesante observar que, para todos los estamentos de la universidad que hicieron parte del estudio, el confort en las mesas de estudio sigue siendo la facilidad más valorada. También, en todos los estamentos, el acceso a filtros de agua para consumo es una demanda relevante que debería poseer una nueva locación dentro de la universidad. Aunque no es de interés de todos los grupos que conforman la comunidad universitaria encuestada, otro punto que debería ser tenido en cuenta con el acceso a muebles de descanso. Los resultados sugieren que, básicamente se trataría de aspectos más relativos con el confort en las instalaciones.

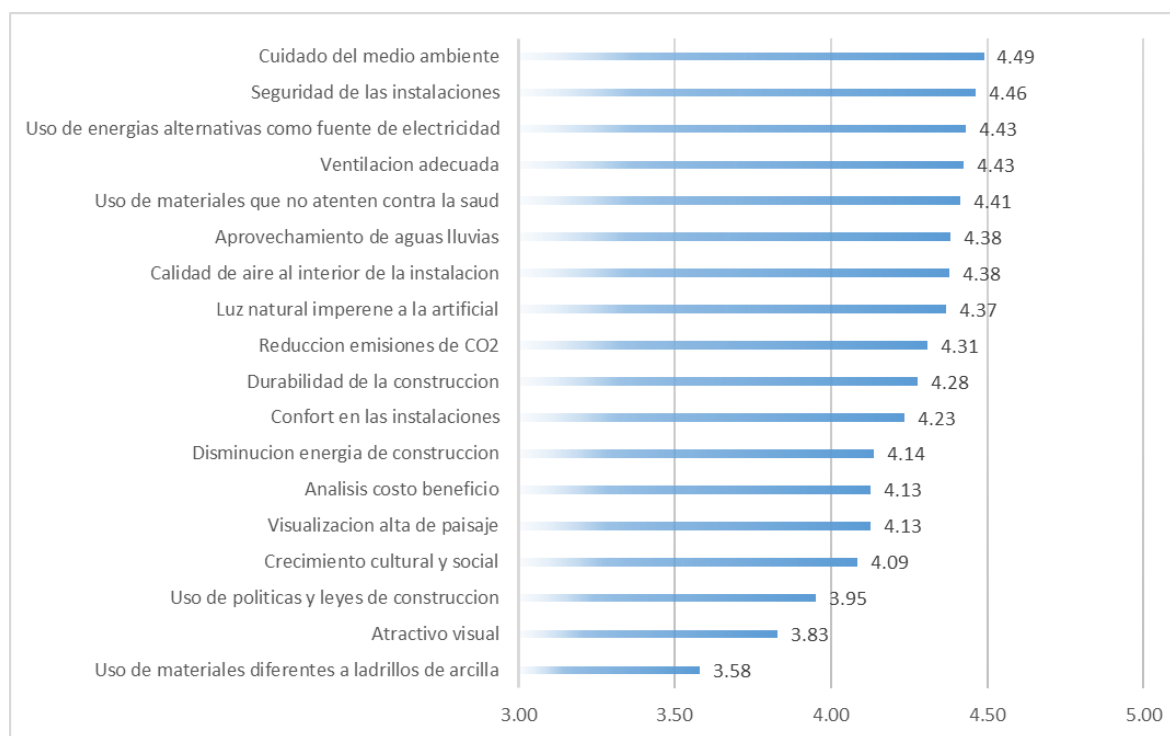
4.3.3 Percepciones de los usuarios hacia criterios de SB

Acorde con los objetivos propuestos, otra parte de la encuesta aplicada a los grupos de interés que conforman la UniLibre, estuvo dirigida a indagar acerca de las expectativas de los usuarios, pero esta vez desde la inclusión de criterios de SB. Es decir, que tanto valoran los encuestados la inclusión de criterios de SB sobre la posible construcción de un nuevo espacio para el aprovechamiento del tiempo libre dentro de la universidad.

De acuerdo con la valoración media de los criterios SB, se encontró que, el cuidado del medio ambiente es el más importante, al menos desde la óptica de los encuestados (media=4,49) (ver figura 15). Sin embargo, es de resaltar que es un criterio que podría ser considerado muy ambiguo ya que, de una u otra forma, muchos de los criterios restantes apuntan a este gran criterio. Además, se encontró que, las personas valoran como muy importante la seguridad en las instalaciones (media=4,46).

Figura 15

Evaluación de Criterios de Sostenibilidad



Nota. Gráfico realizado por el autor en Excel con datos obtenidos de la encuesta aplicada.

Dentro de los criterios de SB, desde la perspectiva de los usuarios le siguen en orden de importancia uso de energías alternativas (media =4,43), ventilación adecuada (media =4,43), uso de materiales que no atenten contra la salud (media =4,41), aprovechamiento de aguas lluvias (media =4,38), calidad del aire al interior de las instalaciones (media =4,38), luz natural imperante a la artificial (media =4,37), reducción de emisiones de CO2 (media =4,31), durabilidad de la construcción (media =4,28), confort en las instalaciones (media =4,23), disminución de energía en la construcción (media =4,14), análisis costo beneficio (media =4,13), visualización alta del paisaje (media =4,13), crecimiento cultural y social (media =4,09) y uso de políticas y leyes de construcción (media =3,95). Por su parte, los criterios de SB menos valorados por los

encuestados fueron atractivo visual (media=3,83) y el uso de materiales diferentes a ladrillos de acilla (media=3,58).

Muchos de los criterios valorados, al menos desde la perspectiva de los usuarios, se corresponden con el nivel de importancia que, desde la política y criterios técnicos de SB han sido establecidos. Por ejemplo, el uso de energías alternativas y aspectos de diseño [Marzouk et al., \(2014\)](#); [Rocha-Tamayo, \(2011\)](#). Dentro de los aspectos de diseño, la calidad de aire al interior de las instalaciones, la visualización alta del paisaje y el uso de la luz natural por encima de la artificial, están directamente relacionados con el mejoramiento de la salud humana [Uribe Vélez; \(2012\)](#). Sin embargo, la valoración media en aspectos como el uso de materiales sostenibles indican que, existe una “aparente” contradicción por parte de los encuestados; al menos si se contraponen con su importancia desde el punto de vista técnico y ambiental.

Está claro que el criterio más valorado por los encuestados fue el cuidado del medio ambiente. Este, aunque engloba muchos aspectos, algo evidente que puede contribuir con un mejor cuidado del medio ambiente es el uso de materiales no convencionales, así como el manejo de los residuos en la construcción. Esta aparente contradicción podría deber a que, en la región, no es una práctica común el uso de materiales no convenciones en las construcciones, más allá de materiales clásicos de la región como, por ejemplo, la arcilla y madera. Caso contrario a lo que sucede con el uso de energías alternativas, que cada vez es una práctica común. De otra parte, estos resultados se ven confrontados con la teoría que expone que, el empleo de materiales ecológicos ayuda a reducir de manera considerable las emisiones de CO₂; uno de los grandes retos en cuestiones del cambio climático (Schneider & Samaniego, s. f.) De hecho, uno de los criterios LEED es el uso de materiales de construcción sostenible (*Programa LEED® en Colombia – Consejo Colombiano de Construcción Sostenible – CCCS*, s. f.) Además, desde una visión más amplia de SB, [Gutiérrez \(2017\)](#) recontaron que, el uso de materiales no convencionales se alinea de manera considerable son los objetivos de desarrollo sostenible.

4.4 Conclusiones de las Mediciones Indirecta de Consumo y Expectativas de los Usuarios

En esta primera parte del estudio, se abordó el desarrollo del primer objetivo específico planteado. Para ello, se recurrió al uso de una encuesta dirigida a la comunidad universitaria que, indagaba por hábitos en cuanto al uso de dispositivos móviles y de sus expectativas frente a la construcción futura de una locación que podría estar situada en las zonas verdes de la universidad centrada en el aprovechamiento del tiempo libre. Un total de 180 encuestas válidas fueron aplicadas.

En cuanto a la medición indirecta de consumo y de los hábitos del uso de dispositivos móviles se pude concluir que, el dispositivo móvil que más energía agregada consume son los computadores, con un total de 17 kWh/día. Aunque existen unos picos de consumo durante el día, la demanda energética permanece con cierta constancia excepto de 1 pm a 2 pm y después de las 11 pm. Esto representa un reto en el diseño de sistemas energéticos, debido a que las demandas no se corresponden con los picos máximos

de radiación solar que se pueden captar. También, la demanda energética promedio agregada se estimó en 20 kWh/día.

En cuanto a las expectativas de los usuarios, se puede concluir que, de manera general, para la comunidad UniLibrista sería de gran relevancia el disponer de un espacio más para estudiar centrado en el aprovechamiento del tiempo libre. En cuanto a las facilidades locativas, son de gran relevancia las relativas al confort, como, por ejemplo, el confort de las mesas de estudio y el acceso a filtros de agua para el consumo humano. Por su parte, las expectativas de los usuarios se corresponden, de manera general, son los criterios de SB en lo que respecta al diseño de las construcciones y al uso de energías renovables. Sin embargo, sus expectativas distan de un aspecto fundamental como es el empleo de materiales sostenibles de construcción.

Anexos al documento relativos al desarrollo del primer objetivo específico:

Anexo A. Cálculos de medidas indirectas de consumo energético. Excel

Anexo B. Análisis percepciones de los usuarios frente a construcción sostenible Excel

Anexo C. Documento PDF inextenso en donde se encuentran las gráficas analizadas y generadas con los resultados de SPSS, las cuales no fueron expuestas en su totalidad en este documento debido a la extensión de estos.

5. Diseño preliminar de una construcción eco-amigable

En este apartado del documento se aborda el desarrollo del segundo objetivo específico propuesto. Para ello, como primera medida se expone el uso de la herramienta *Quality Functional Deployment* (QFD) que permitió, en un principio, introducir las expectativas de los usuarios identificadas en el apartado anterior en aspectos técnicos más concretos. También, en este apartado del trabajo de grado y basados en los resultados del QFD, se procedió al diseño preliminar de la construcción eco-amigable que podría ser ubicada al interior de la Universidad Libre, campus Majavita.

5.1 Diseño de una construcción eco-amigable: *Quality Functional Deployment* (QFD)

El QFD posee cinco partes bien definidas. Como primera medida, al lado izquierdo, se encuentran las exigencias de los consumidores, conocidos como los ¿Qué? En el caso concreto del presente estudio, estos se corresponden con los capturados y señalados en los resultados del objetivo uno. Para cada uno de ellos se debe señalar su importancia. La importancia indicada en la figura 16, obedece al promedio calculado y señalado en la figura 15. Estos aparecen ordenados desde el más al menos valorado por la comunidad universitaria. Se señala que, acorde con los resultados de las expectativas de los usuarios, la estructura gira entorno al diseño de una zona de estudio (principalmente).

Una segunda parte del QFD, parte superior de la matriz central, expone las estrategias técnicas para cumplir con las exigencias de los usuarios, es decir, ¿cómo se responde a los usuarios? En este punto, se incluyeron las demandas específicas de los usuarios como lo son, mesas de estudio confortables. Los restantes ¿cómo? (que aparecen en la parte superior de la matriz QFD: prevención de accidentes, uso de paneles solares, ventilación natural, uso de materiales no tóxicos, uso y ahorro eficiente del recurso hídrico, uso de materiales no convencionales, durabilidad de la construcción, costo de la construcción, ubicación estratégica, criterios ambientales de diseño y construcción, diseño arquitectónico), obedecen a posibles soluciones propuestas, esta vez más desde un punto de vista más ingenieril.

La tercera parte de la matriz, la ubicada en la parte superior, es la matriz de correlaciones de anti-diseños, es decir, técnicamente es difícil responder a todos los ¿cómo? ya que, un ¿cómo? deseable puede verse afectado por el cumplimiento de otro ¿cómo? Por ejemplo, perseguir un bajo costo de la construcción (▼, minimizar el costo) es difícil lograrlo (▼, correlación fuerte negativa o una anti-correlación) si se desea una mayor seguridad de las instalaciones (▲; maximizar la prevención de accidentes) (ver figura 16). Básicamente, en la parte superior del QFD se puede apreciar la dificultad que se presenta a la hora de suplir todas las exigencias de los usuarios.

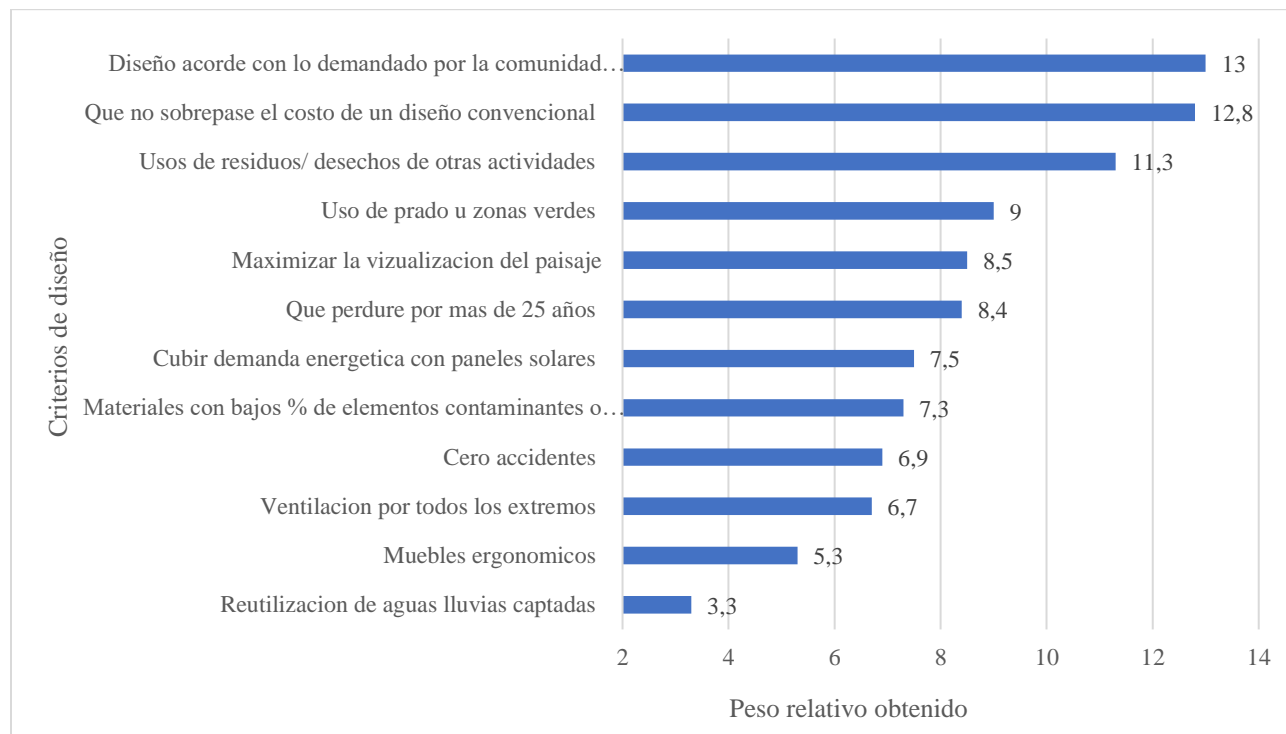
La cuarta parte de la matriz central permite relacionar los ¿cómo? con lo ¿qué? Es decir, qué tanto los ¿cómo?, de la parte superior de la matriz, responden a los ¿qué? de la parte izquierda la matriz, es decir, a las exigencias de los consumidores. Las relaciones varían desde, una relación fuerte (⊖, valor de 9), pasando por una relación moderada (○, valor de 3) hasta llegar a una relación débil (▲, valor de 1). Incluso,

existe la posibilidad de que no exista ningún tipo de relación por lo que, la casilla se muestra como vacía. Por ejemplo, una ventilación natural que es ¿cómo? permite responder fuertemente (9, valor de 9) a una ventilación adecuada que es un ¿qué esperan los usuarios?

Finalmente, en el lado inferior de la matriz, se presentan aspectos más concretos acerca de los ¿cómo? Estos van acompañados de un grado de complejidad de desarrollo, es decir, que tanta dificultad representa un ¿cómo? para ser incluido dentro del diseño de una construcción. La dificultad varía desde 0=fácil de cumplir hasta 10=extremadamente difícil de cumplir. También, se presenta para cada ¿cómo? el peso, es decir, qué tanto afecta cada ¿cómo? al cumplimiento de todas las exigencias de los consumidores (los ¿qué?). Por lo tanto, un peso más alto de un ¿cómo? indica que dicho ¿cómo? permite en conjunto cumplir en mayor medida los requerimientos de los usuarios (los ¿qué?). Por el contrario, un peso más bajo, indica que dicho ¿cómo? posee un bajo impacto a la hora de responder los ¿cómo? en su conjunto. En la figura 17 se presentan los pesos obtenidos de los ¿cómo?

Figura 17

Pesos relativos de los criterios de diseño



De todos los ¿cómo?, los que poseen mayor relevancia para dar respuesta a las exigencias de los consumidores son: i) Diseño acorde con lo demandado por la comunidad universitaria, ii) Que no sobrepase el costo de un diseño convencional; iii) Uso de residuos/ desechos de otras actividades (mínimo el 20% de los materiales); iv) Uso de prado o zonas verdes y v) Maximizar la visualización del paisaje. Con relación al diseño, este se refiere a un lugar destinado como zona de estudio y que se corresponde con los resultados señalados en el capítulo anterior.

En el numeral 5.2 se aborda, un estudio relacionado con la elección de diseños previos por parte de la comunidad UniLibrista para, de esta forma, poder ampliar y dar respuesta en mayor detalle a este criterio de gran importancia, es decir, diseño acorde con lo demandado por la comunidad universitaria. Asimismo, para el criterio de uso de residuos y acorde con el tercer objetivo específico planteado, en el numeral 6 se aborda con mayor detalle dicho criterio. Es de resaltar que, los diseños preliminares de que tratan el numeral 5.2, tuvieron en cuenta la inclusión de zonas verdes. Ahora bien, la ubicación final de la construcción depende de la disponibilidad de terreno y su desarrollo final están sujetas a de decisiones que se salen del alcance del presente estudio. Con relación a los costos, otro criterio importante de diseño, solo podrían llevarse en cabo en estudios posteriores y a mayor profundidad una vez se cuente con la definición exacta de materiales, ubicación, entre otros.

Finalmente, es de resaltar que en la matriz QFD también se incluyó una evaluación competitiva a priori comparando la solución propuesta preliminar con opciones disponibles como lo son, la biblioteca y la sala de estudio (ver figura 16 parte izquierda).

Tal y como se expuso en el marco de referencia, el QFD es una herramienta usada en el diseño de productos. Dentro de la gran diversidad de metodologías y herramientas existentes, es la herramienta más ampliamente usada en el diseño y mejora de productos debido a su robustez y a la capacidad de incorporar la voz del consumidor en ellos [Chen et al., \(2019\)](#) Cuando en un producto se incorpora la voz del consumidor en su diseño, es más probable que esta tenga éxito y sea aceptado por los usuarios [Bleiel et al., \(2011\)](#)

En el caso específico de la construcción eco-amigable de que trata el presente trabajo de grado, el empleo del QFD puede hacer que el diseño propuesto se ajuste más a las exigencias de los usuarios. Esto es muy relevante ya que, en definitiva, son ellos quienes la usarían. Aunque en la región y en Colombia no es una práctica común, tal y como se indicó en el apartado de marco de referencia, sí que ha sido empleado el QFD en otros países en el diseño de construcciones sostenibles [Eleftheriadis et al., \(2018\)](#). En el caso particular del presente trabajo de grado, el uso del QFD en el diseño de construcciones sostenibles hace que este sea un trabajo pionero, al menos en la región. Sin embargo, para el caso de personas que desconocen de la importancia de incorporar la voz del consumidor como estrategia que incrementa la probabilidad de éxito de los productos o se encuentran poco familiarizados con el tema, ven en el QFD solo una herramienta más, sin sentido y con poca utilidad. Esto contrasta con los orígenes del QFD. Nació en Toyota, líder mundial en la industria automotriz, como herramienta que permite desarrollar productos acordes con las exigencias de los usuarios.

5.2 Diseño preliminar de estructuras eco amigables

Se diseñaron tres modelos funcionales de estructuras según los resultados obtenidos en el QFD. Asimismo, estos no perdieron de vista la necesidad principal de la nueva estructura, es decir, nuevos espacios para estudio. Las estructuras fueron diseñadas primero a mano alzada para plasmar las ideas principales del modelo en general, luego modelado en Sketchup y por último las instantáneas se tomaron desde Vray Next para generar las imágenes como Render. Los tres diseños propuestos, fueron sometidos a votación empleando un formulario de Google forms. En esta nueva encuesta, participaron 100 personas de la comunidad Unilibrista. Los tres modelos propuestos, Modelo A, Modelo B y Modelo C, se presentan en las figuras 18, 19 y 20.

Figura 18*Diseño preliminar N° 1 (Modelo A)***Figura 19***Diseño Preliminar N° 2 (Modelo B)*

Figura 20

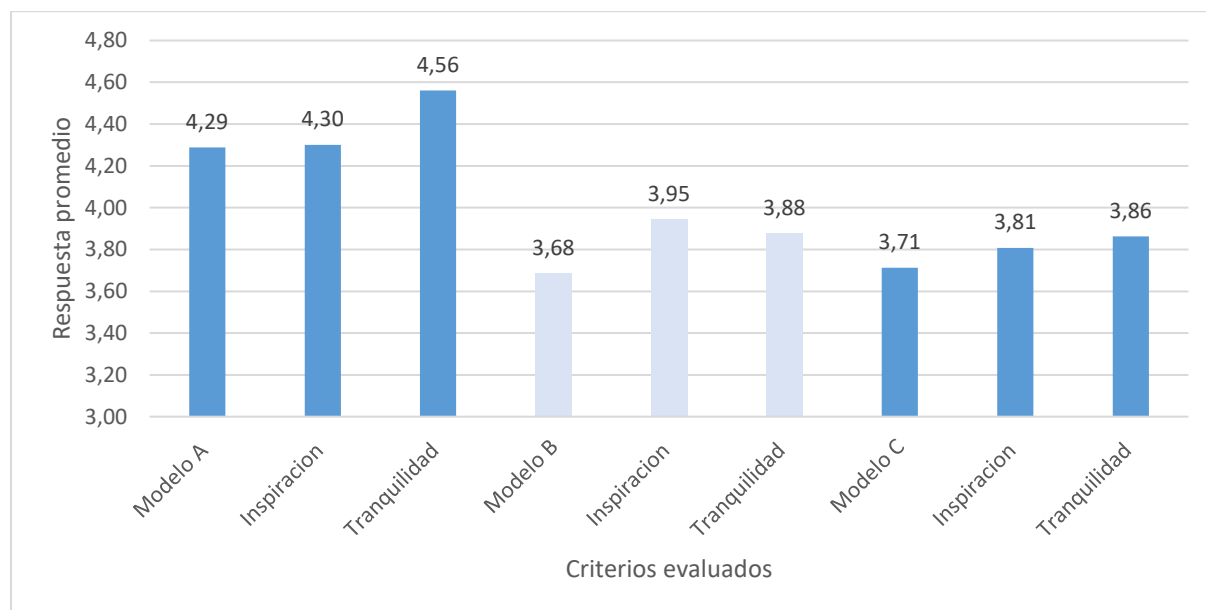
Diseño preliminar N° 3 (Modelo C)



AR

El modelo A, tiene un aspecto de “arquitectura rústica”, es decir, una construcción considerada en armonía con su entorno natural. El modelo A consta de una estructura principal con dos niveles. Por su parte, el modelo B, está más enfocado hacia un diseño de “arquitectura moderna”. Finalmente, el modelo C podría considerarse como un diseño de tipo “rústico moderno”.

De manera general, los resultados indican que, de todos los modelos, el que resultó ser más atractivo (impresión) visualmente fue el modelo A con una valoración media de 4,29. En orden de importancia le siguen el modelo C (media=3,71) y finalmente el modelo B con una media de 3,68 (ver figura 21).

Figura 21*Resultado modelo elección*

De otra parte, la encuesta también preguntaba a través de una escala ordinal, “¿qué tan inspirado intelectualmente se sentiría estudiante en este lugar?”. Esto con el fin de corresponder a las necesidades y expectativas elucidadas por la comunidad Unilibrista y que fueron expuestos anteriormente. Básicamente, se demanda una construcción dirigida más como zona de estudio. Ante esta premisa, nuevamente el modelo A obtuvo el mayor puntaje promedio de los tres presentados a los usuarios, con un valor de 4.30. En importancia le siguieron, el modelo B (media=3,95) y finalmente el modelo C (media=3,81). Unido a la evaluación de “inspiración” como zona de estudio, se indagó, también empleando una escala ordinal, “¿qué tan tranquilo se sentiría disfrutando de su tiempo en esta zona, como zona de descanso?” Ello debido a que, después de una zona de estudio, la comunidad Unilibrista demanda como segunda opción de importancia una zona de descanso. Nuevamente, el modelo A fue el que logró una puntuación mayor con una valoración promedio de 4,56. El orden de importancia le siguen el modelo B y el modelo C, con una media de 3,88 y 3,86 respectivamente.

Los resultados del estudio de selección de modelos señalan que, la comunidad Unilibrista se sienten más atraídos por modelos que tienden hacia lo natural que por construcciones “más elaboradas”. Esto podría deberse al diseño de la Universidad Libre seccional Socorro y al entorno en el cual se encuentra. La Universidad Libre seccional Socorro, posee un diseño más de tipo campestre en donde el vínculo con la naturaleza es una regla común. Por lo tanto, el primer diseño podría estar más acorde con el entorno de la universidad mientras que, los diseños restantes podrían considerarse atípicos, foráneos, discordantes con el diseño arquitectónico actual.

Es de resaltar que, el modelo A cumple con una buena parte de los requerimientos (criterios de sostenibilidad) de la comunidad Unilibrista analizados en la matriz de QFD, al menos lo que poseen más impacto sobre los requerimientos. Es un diseño acorde con las preferencias de los usuarios, puede incluir potencialmente una versatilidad de materiales de construcción, incluye zonas verdes y de acuerdo con los materiales y proceso de construcción, también posee un alto potencial de costo de beneficio al poseer menos área construida lateral. Asimismo, este diseño permite un cuidado del medio ambiente, la inclusión del uso de energías alternativas (en la cubierta), ventilación para una mejor calidad del aire e iluminación natural y atractivo visual. También, en su diseño al detalle, admite el desarrollo de facilidades hidráulicas para el aprovechamiento de aguas lluvias y muebles ergonómicos. Con relación a la seguridad de las instalaciones, es un criterio transversal a todos los diseños que puede ser superado mediante el desarrollo de un estudio posterior de análisis de riesgos de accidentes; claro está, en su etapa de diseño final.

El diseño y la optimización de las estructuras es un arduo trabajo que requiere la implementación de diversas herramientas para lograr resultados efectivos y así intentar “complacer” las necesidades de las personas directamente interesadas. Para cumplir con este objetivo se diseñaron tres estructuras con diferentes tipos de arquitectura entre las que se utilizaron estilos rústicos, modernos y una mezcla de los dos. El estudio también sugiere, que el QFD propuesto para analizar los criterios de sostenibilidad a tener en cuenta a la hora de diseñar, puede mejorar eficazmente el proceso de diseño de los prototipos, gestionando así la diversidad de preferencias e integrando nuevamente la opinión del usuario para continuar mejorando el prototipo de estructura. Esto disminuye la toma de malas decisiones en los proyectos de construcción dirigidos a un grupo de personas con diferentes gustos. Según [Eleftheriadis et al., \(2018\)](#), los procesos de toma de decisiones grupales son adecuados para seleccionar de esta forma las prioridades en el diseño de la estructura, cuando se requiere satisfacer las necesidades de varias opiniones divididas.

5.3 Conclusiones

Esta parte del estudio consistió en el desarrollo de un QFD con un posterior testeo de preferencias de los usuarios por tres modelo-diseños de construcciones que podrían ser instaladas al interior de la Universidad Libre campus Majavita como zona de estudio. El QFD se nutrió de los resultados obtenidos en el capítulo 4. A su vez, con el fin de identificar las preferencias de los usuarios, una segunda encuesta dirigida a la comunidad Unilibrista fue llevada a cabo.

Los resultados del QFD permiten concluir, que aspectos como diseño acorde con la comunidad universitaria, costo versus costo de edificaciones convencionales, el uso de residuos/desechos de otras actividades, la inclusión de zonas verdes y la maximización de la visualización del paisaje, poseen un alto potencial para responder a las exigencias de la comunidad Unilibrista centradas estas en criterios de SB. Estos cinco aspectos, en su conjunto responden a más de la mitad de los criterios de SB incluida su importancia. A su vez, son criterios de diseño con cierta de facilidad de cumplimiento. En lo relativo al

diseño acorde a las exigencias de los usuarios, el estudio de elección permite concluir que, el diseño arquitectónico general más preferido por los usuarios fue el de estilo “rústico”. Esto refleja el interés de las personas por la demanda de diseños que vayan acorde con el entorno en el cual será instalada una construcción.

Anexos al capítulo 5

Anexo D. Matriz QFD empleada

Anexo E. Documento con formulario de Google forms empleado

Anexo F. Documento inextenso en donde se encuentran las gráficas analizadas y generadas con los resultados del objetivo específico dos, las cuales no fueron expuestas en su totalidad en este documento debido a la extensión de estos.

6. Selección de criterios y materiales de construcción de la estructura eco-amigable

6.1 Criterios de Sostenibilidad para evaluar materiales

A nivel nacional, uno de los trabajos más representativos llevados en cabo en ámbito de la selección de materiales sostenibles de construcción fue el desarrollado por [Gutiérrez, \(2017\)](#). En el citado estudio, [Gutiérrez \(2017\)](#) basado en 43 criterios que podrían emplearse en la evaluación de materiales sostenibles de construcción y categorizándolo por dimensiones, logró identificar criterios de acuerdo a su importancia. La importación se basó básicamente en, las veces que el criterio había sido citado en la literatura científica y en su correspondencia con los objetivos de desarrollo sostenible. Dentro de los criterios expuestos por [Gutiérrez \(2017\)](#), fueron tenidos en cuenta para el desarrollo del presente trabajo, los que en el citado estudio se consideraron de mayor importancia así como los que desde el punto de vista aplicabilidad se corresponden con los objetivos planteados.

Tabla 6.

Criterios de Sostenibilidad por evaluar

Ambientales	Social	Económico
Material que sea reutilizado, reciclado o Material con contenido de materiales reciclados	Material que permita la flexibilidad y la adaptabilidad	Material con el que se reduzca la cantidad de residuos porque responde a la modulación de los elementos constructivos o es prefabricado
Material que pueda ser usado nuevamente como materia prima - reciclabilidad	Material extraído y producido de manera sostenible	Material durable que no requiera o disminuya la necesidad de reemplazo durante el ciclo de vida
Material con bajas emisiones de gases de efecto invernadero	Material local que puede contar con arraigo en la identidad de la zona	Material proveniente de la demolición de construcciones
Material que retiene carbono	Material que contenga bajo o nulo contenido de sustancias tóxicas o peligrosas con el fin de crear un ambiente interior saludable	Material que conserve adecuadamente sus características en el tiempo
Material que provenga de una fuente renovable	Material que contribuya en la reducción del efecto de isla de calor	Material cuyos residuos puedan ser reusados en el mismo proyecto
Material que pueda usado en un diseño desmontable	Material que provenga de una empresa que se haga cargo de los impactos ambientales, a la salud humana o sociales que provoca su operación.	Material con bajo nivel de procesamiento
Material que minimice la cantidad de energía embebida	Material cuyas características físicas responden a las condiciones de temperatura, iluminación y acústica de la edificación	Material de bajo costo de mantenimiento
Material que tenga la posibilidad de degradación	Material con bajo impacto en la salud humana o de baja emisión	Material de fácil uso en la construcción del proyecto

una vez se ha cumplido el ciclo de vida de la edificación

Material que no sea inflamable y en caso de que sea necesario que tenga el aislamiento requerido

Nota. Tabla creada por el Autor, siguiendo modelos anteriores de evaluación de criterios de sostenibilidad evaluados en las construcciones sostenibles, en especial los 44 criterios evaluados en el proyecto de Gutiérrez, (2017).

6.2 Búsqueda en literatura científica acerca de “nuevos” materiales de construcción sostenible

Una vez establecido los criterios a evaluar, se procedió a hacer una búsqueda de artículos científicos en SCOPUS acerca de nuevos materiales de construcción sostenibles con perspectivas de fabricación. Se emplearon como palabras de búsqueda: *green building material*, *sustainable building material*, *new building material*. Realizada la búsqueda, se procedió a dar lectura a los títulos de los manuscritos para, luego, seleccionar los manuscritos que estaban más acordes con los objetivos de la investigación. Tras la lectura de los resúmenes, finalmente se seleccionaron los artículos que finalmente serían consultados. A partir de dichos documentos se obtuvo un panorama acerca de nuevos materiales de construcción sostenible que son y han sido interés desde el punto de vista científico. Los artículos consultados se presentan en la tabla 7.

Al final, fueron encontrados 28 materiales de construcción sostenible con potencial de uso. Estos van desde el acero reciclado hasta el *timbercrete*, un tipo de material fabricado a partir de hormigón y aserrín. También, en la tabla 7 se presenta información acerca de la disponibilidad local del material y de la existencia o no de una empresa en la región que ofrezca productos de construcción a base de dicho material. Basados en los resultados de la tabla 7, se procedió a evaluar solo aquellos materiales con disponibilidad en la región (local).

Tabla 7
Materiales de construcción sostenible consultados



Materiales Consultados	Artículos que hacen referencia al material	Disponibilidad en la región	Existencia de empresa en la región
Acero Reciclado	Hoier et al. (2021); Qureshi et al. (2020)	✓	✓
Ascrete	Aurrekoexea & Cultrone (2020); Silva et al. (2017)		
Bambú	Huang & Sun (2021); Tiza et al. (2021); Xu et al. (2022); Roy & Mandal (2020); Kumar et al. (2021); Chaurasia (2019); Mills et al. (2022); Z. Li et al. (2022)	✓	
Ceniza de residuos orgánicos	Schmidt et al. (2021); Zaffar et al. (2022)	✓	
Corcho	Tola (2014); Silvestre et al. (2016); Malchiodi et al. (2022)		
F(Hamdaoui et al., 2022)ardos de paja	Straw bale», (2015); Liu et al. (2019); Chaussinand et al., (2015); Koh & Kraniotis, (2020); (<i>Scopus - Document details - Study on application of straw as landscape wall construction material</i> , s. f.); Cascone et al. (2019); Bonoli et al. (2014)	✓	
Ferrock	<i>How Is Ferrock Made?</i> , (2020)		
Fibras de lana de oveja	author/lauren-shanesy, (2016); Tiza et al. (2021)	✓	
Hempcrete (mezcla cáñamo, paja y otros)	Contributor (2020); Birjukovs et al. (2022); Raamets et al. (2021); Kavgic & Abdellatef (2021); Bukhari et al. (2021); Abdellatef & Kavgic (2020); Arehart et al. (2020); Dotelli et al. (2020)		
Hormigón armado de bambú	Terai (2022); Govindan et al. (2022); Sridhar et al. (2022); Rahman et al. (2022); Solahuddin (2022); Abed et al. (2022); Wairagade & Sonar (2022); Awoyera et al. (2021); Umniati et al. (2021); Yathushan et al. (2021)	✓	
Hormigón de tierra	Faris & Adi (2022); Raavi & Tripura (2022); Abessolo et al. (2022); Raavi & Tripura (2021); Wang et al. (2021); Tripura et al. (2020); Asare & Danyuo (2020)	✓	
Ladrillo de arcilla	Hamdaoui et al. (2022); Harja et al. (2022) ; Ahmadi et al. (2020)	✓	✓
Madera	AlShuhail et al. (2021); Briede W. & Alarcón C., (2012); Harja et al. (2022); Potkány et al. (2021); Santi et al. (2016); Shi (2013); Unterrainer (2018)	✓	✓
Madera de periódico	R. Chen et al. (2018); McClain et al. (1997); Nassar et al. (2009); Ward et al. (2000, 2001)		
Madera reciclada	Chiou et al. (2022); Chotikhun et al. (2022); Chowdhury et al. (2022); Foti et al. (2022); Grillo & Saron, (2022); Iždinský et al. (2021); Reinprecht & Iždinský, (2022); Vitolina et al. (2022)	✓	
Material desechos de residuos agrícolas (n.c.e.)	Chaussinand et al. (2015); «Straw bale», (2015); Vitolina et al. (2022)		

Micelio	Bonnefin, s. f.; Dias et al. (2021); Grewal et al. (2019); Massicotte et al. (2005); Özdemir et al. (2022); Vallas & Courard (2017); Xing et al. (2018); Zhang et al. (2022); Zimele et al. (2020)		
Palma datilera	Belakroum et al. (2018); AlShuhail et al. (2021); Taban et al., (2021)		
Plástico reciclado	Alyousef et al. (2021); Dueñas & Vera (2017); Enfrin & Giustozzi (2022); Lysyannikov et al. (2019); Maia & Melo (2013); Tahmoorian & Yeaman (2018)	✓	✓
Residuos de mazorca	Effect of Treatments on Properties of Cement-fiber Bricks Utilizing Rice Husk, Corncob and Coconut Coir», (2017) ;		
Sorbete	L. Chen & Yang (2021); Ahmadi et al. (2020); Erika et al. (2018)		
Tierra apisonada	Venkatarama Reddy & Sri Bhanupratap Rathod (2022); Barnaure et al. (2021); Cuccurullo et al. (2020); Eid et al. (2015); Pelé-Peltier et al. (2022); Hamard et al. (2016); Keshav et al. (2012); Eid et al. (2015); Morley (2017); Temga et al. (2014)	✓	✓
Ferrock	Karthika et al. (2021); Vijayan et al. (2020); Niveditha et al. (2020); Vijayan et al. (2020)		
Timbercrete			

Asimismo, en la tabla 8 se presentan una serie de imágenes a modo de algunos ejemplos en los cuales se ha hecho uso de materiales sostenibles de construcción alrededor del mundo.

Tabla 8.

Materiales de construcción sostenible y algunas aplicaciones

Material	Descripción	Ventajas	Referencia Uso
Residuos de Mazorca	<p>El material se obtiene a partir de una mezcla de subsuelo, agua y el material orgánico fibroso, es decir la paja y caña obtenido del maíz y en casos especiales se complementa con cal.</p> <p>La estructura más antigua conocida hecha que utilizo como materia prima este material tiene más de 10mil años. (<i>Scopus - Document details - Recycling of raw corn cob residues as an agricultural waste material for ammonium removal: Kinetics, isotherms, and mechanisms</i>, s. f.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Material ecológico 100% - El maíz es un producto agrícola de producción en la región - Fácil de manejar - El material funciona como buen aislante térmico 	<p><i>Figura 22 Casa hecha con Maíz en Muttersholtz, France</i></p>  <p>Nota. Adaptado de Earth Power new (<i>A House Made of Corn Cobs</i>, s. f.)</p>
Acero Reciclado	<p>El acero es un tipo de material que no cambia sus propiedades con el proceso de reciclaje, es uno de los subproductos más reciclados a nivel mundial. (Yamasue et al., 2013)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - El acero es un material resistente - El acero tiene un largo ciclo de vida sin importar que provenga de reutilización - Aporta al criterio de ahorro de energía, pues a nivel mundial se chatarrean miles de elementos como carros 	<p><i>Figura 23 Casa de Kodiak Steel homes, EE. UU.</i></p>  <p>Nota. Adaptado de Kodiak steel homes, (<i>Home</i>, s. f.)</p>

Fibras de la lana de oveja

La lana de oveja es un material totalmente natural y amigable con el ambiente, que se puede regenerar fácilmente, por lo general se usa la lana como relleno de paredes, techos entre otras y ofrece varios beneficios en sostenibilidad porque ayuda a la reducción de costes de materiales aislantes (Parlato & Porto, 2020)

- Material natural de fácil obtención
- Buen ahorro de energía en producción
- Funciona como aislante
- Absorbe humedad

Figura 24 Casa de Havelock Wool en Nueva Zelanda



Madera Reciclada

La madera es de los materiales más usados en la industria de la construcción, por su estilo rustico que encaja con el ambiente natural. El uso de madera reciclada tiene un menor impacto ambiental que la extracción de madera nueva. Cuando se usa madera nueva debe prevalecer la obtención de estas fuentes confiables que la procesen de manera sostenible (*Proceedings of the 1996 Conference on the Use of Recycled Wood and Paper in Building Applications*, 1996)

- Material de fácil obtención
- Material reconocido
- Fácil de adaptar al proyecto de construcción

Nota. Adaptado de (author/lauren-shanesy, 2016)

Figura 25 Casa de NANOSTEAD, en Carolina del Norte



Nota. Adaptado de (nanostead | Pequeño | Simple | Sostenible, s. f.)

Corcho	Este es un material verde que se usa para la construcción de techos, paredes acústicas y pisos. Mezclado con otros materiales se podrían producir muros de control térmico en edificios (Barreca et al., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> - El corcho es un material elástico - Resistente a la humedad - Resistente a vibraciones
--------	--	--

Figura 26 *Cork House en Berkshire, Inglaterra*



Nota. Adaptado de (*Casa de corcho*, s. f.)

Fardos de paja	<p>La paja es un residuo agrícola que tradicionalmente se quema después de la cosecha por los agricultores. La reutilización de este desecho podría mitigar el desprendimiento de Carbono, este subproducto suele utilizarse en paredes, techos de esta forma se asegura que el carbono este retenido.</p> <p>Los fardos de paja son resistentes al fuego, estudios alemanes demuestran que los fardos de paja demuestran una resistencia de R90 (noventa minutos expuestos a llamas) (<i>Fardos de paja: un residuo de la agricultura, un nuevo material de construcción para edificios sostenibles - ScienceDirect</i>, s. f.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Altas propiedades aislantes. - Es un subproducto 100% biodegradable y reciclable - Al fin de su vida útil puede usarse para compostaje o triturado para hacer un nuevo producto. - Resistentes al fuego
----------------	--	--

Figura 27 *Casa en fardos de paja*



Nota. Adaptado de (*7 reasons why we should build straw houses and live in them*, 2015)

Bambú	El bambú es una planta de rápido crecimiento, es 100% biodegradable, es resistente y se puede sembrar sin mucha dificultad.(Sridhar et al., 2022)	<ul style="list-style-type: none"> - Alta resistencia - Disponibilidad en la región - Es un producto renovable, de muy fácil obtención
-------	---	---

Figura 28 Casa en el árbol De Guadua en Cundinamarca, Colombia



Nota. Tomada de (*Bamboo Treehouse in Colombia*, s. f.)

Plástico Reciclado	El plástico es el desecho más común en el mundo, aparte que dura mucho tiempo en descomponerse, todos los días generamos toneladas de residuos plásticos que van a parar en vertederos, lo que lo convierte en una materia prima potencial ya que su uso es versátil y va desde la fabricación de paredes modulares, techos, muebles, accesorios entre otros utensilios de uso diario. (Tu, 2018)	<ul style="list-style-type: none"> - Es un material robusto, que existe en abundancia - Todos los días se generan muchos kg de contaminación por plástico - Resistente al moho y hongo - Impermeable
--------------------	---	--

Figura 29 Cabina de Caza en Plástico reciclado en Canadá



Nota. Tomada de: (*Cabina de caza - JD Composites*, s. f.)

AsCrete	Es un compuesto con un 97% de materiales reciclados, es una especie de hormigón respetuoso con el ambiente, que usa las cenizas volantes en lugar del cemento tradicional. Las cenizas volantes son un polvo de vidrio fino que se recupera de los gases de la	<ul style="list-style-type: none"> - Tiene poros pequeños, lo que resulta apropiado para dar una mayor resistencia, estudios demuestran que es el
---------	---	--

Ferrock	<p>combustión del carbón durante la producción de electricidad, son micropartículas conformadas de sílice, alúmina y hierro (Fan et al., 2021)</p> <p>Es una composición de roca ferrosa rica en hierro, que causan corrosión u oxidación. Está hecha de materiales reciclados como polvo de acero residual y sílice de vidrio molido.</p> <p>El proceso real de desarrollo de Ferrock es muy sostenible. (Karthika et al., 2021)</p>	<p>doble de resistente al cemento portland.</p> <ul style="list-style-type: none"> - De difícil obtención - Absorbe CO² - Es un material duro y resistente - Es cinco veces más resistente que el cemento Portland - Peso de 10 a 25 veces menos que una estructura hecha en ladrillos
Hempcrete	<p>El hempcrete es una mezcla de arena, fibras de cáñamo y cal. Suele utilizarse para la construcción. Los bloques hechos de hempcrete son ligeros, fáciles de trabajar y adaptables. El cáñamo es un recurso renovable de rápido crecimiento, de este forma secuestra carbono en menos tiempo lo que hace que la producción de Hempcrete sea una excelente alternativa sostenible. (Adamová et al., 2019)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Es un material renovable de fácil producción. - Material transpirable que no se encoge, por lo que no hay riesgo de que se agrieta cuando se seca - Resiste a las plagas, fuego y es un buen aislante

Figura 30 Baldosa Ferrock



Nota. Adaptado de (How Is Ferrock Made?, 2020)

Figura 31 Casa de Hempcrete en Asheville, Carolina del Norte



Nota. Adaptado de: (Contributor, 2020); (The house made of hemp, 2010)

Espuma rígida de poliuretano a base de plantas

La espuma rígida de plantas se usa a menudo como material aislante, es una composición de cáñamo, algas marinas y fibras de bambú, materiales que le proporcionan mayor resistencia térmica que la fibra de vidrio.

- Es un material excelente para prevenir el moho y las plagas
- Funciona como material de aislante acústico
- Es un material resistente al calor

Figura 32 Pared Reforzada con Espuma de poliuretano



Nota. Adaptado de («Is There an Eco-friendly Spray Foam Insulation?», 2015)

Enviroboard

Es una tabla resistente al fuego compuesta de magnesio, aserrín y tela reusada. Se fabrican tablas que normalmente se pueden usar en el revestimiento de paredes, techos y sistema de base. Debido a su resistencia al agua no se deforman con el tiempo («Enviroboards», s. f.)

- No liberan CO² en su proceso de fabricación, pues es secado al aire libre y curado
- Es un producto versátil y robusto adecuado para muchos proyectos.

Figura 33. Techo con construcción en Enviroboard



Nota. Adaptado de (Enviro Board Corporation | Una solución de construcción natural globalmente sostenible, s. f.)

Micelio

El micelio es la parte vegetativa de una fibra de hongos que corre por debajo del suelo. Una vez este se seca puede usarse como materia prima para la construcción. Por lo general se usa para aislamiento, núcleos de puertas, pisos entre otros.
(Zimele et al., 2020)

- El micelio es un material ecológico super fuerte
- Resistente al agua, moho
- Alta resistencia al fuego.

Figura 34. Museo de Arte moderno MoMA, NUEVA YORK



Nota. Adaptado de (Bonnefin, s. f.)

Ladrillo de Arcilla

El ladrillo de Arcilla es un material compuesto por arcilla de tierra y agua. Es reciclable, amigable con el ambiente y actualmente es un material importante en la construcción (Hamdaoui et al., 2022)

- Es un material energéticamente eficiente
- Atrapa calor por largo tiempo

Figura 35. Casa Socia Rural en Boyacá, Colombia



Nota. Adaptado de (*11 Colombian Houses That Feature Exposed Brick*, 2020)

Timbercrete Timbercrete es un material de construcción ecológico Hecho de aserrín y hormigón mezclados. El aserrín reemplaza los componentes dentro del concreto que son intensivos en la producción de energía.(Shantveerayya et al., 2022)
Se cura en el sol y al aire libre

- Mejor aislante que el ladrillo
- Se usa como adoquines, ladrillos y bloques.
- Se puede moldear en una alta gama de tamaños

Madera de periódico La madera para periódicos se fabrica comprimiendo periódicos viejos y pegándolos en capas de estaño hasta que se forme una textura de grano de madera. (Zheng et al., 2019)

- Es un material bastante resistente
- Reutiliza materia prima inaprovechada
- Es un material que proviene totalmente del reciclaje

Figura 36. Timbercrete House - Rustic - Exterior - Australia



Nota. Adaptado de (Johnson, 2016)

Figura 37 The Paper House en Rockport, Massachusetts



Nota. Adaptado de: (Grow.Me by Mediavine, s. f.)

Tierra apisonada	<p>Todo suelo de excavación sirva para ser usado como materia prima en la construcción sostenible, como primer paso se deben llevar las muestras de tierra al laboratorio y la muestra debe poder soportar 300 Psi, según el código estándar de construcción en tierra. (Nguyen et al., 2021) El apisonamiento se puede hacer anual o con una maquina</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Los muros gruesos de las casas de tierra apisonada son extremadamente resistentes al fuego porque el material no contiene materiales inflamables
------------------	---	--

Figura 38. *Huatoc, Casa en tierra en Barichara, Colombia*



Nota. Tomado de (*Arquitectura con tierra, las casas de Barichara en Colombia, s. f.*)

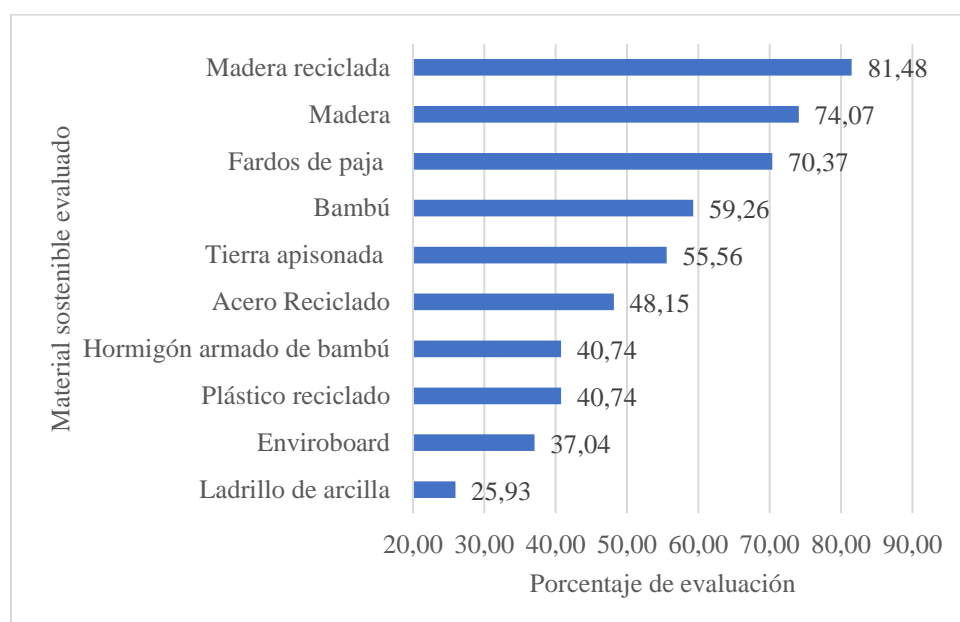
Nota. Tabla realizada por el autor después de una búsqueda en la web sobre las principales empresas a nivel mundial que ofrecen materiales de construcción sostenible

6.3 Evaluación de los materiales de construcción sostenible

Tal y como se señaló en el numeral 6.1, la valoración de la sostenibilidad ambiental se basó sobre un total de 9 criterios. La evaluación de cada criterio para cada material se efectuó sobre la base de una escala ordinal donde, 3= cumple en alto grado con el criterio, 2= cumple medianamente el criterio, 1= cumple en poca medida el criterio, 0 = no cumple para nada el criterio. Los valores obtenidos para cada material y en todos los nueve criterios, fueron sumados. Luego, la suma obtenida se transformó en porcentajes sobre la base del máximo puntaje que podría obtener cada material en la dimensión ambiental, es decir, 9 criterios x 3 = 27 puntaje máximo. Los resultados de la evaluación de la sostenibilidad ambiental se presentan en la figura 39.

Figura 39.

Evaluación de materiales según criterios ambientales



Según los criterios ambientales el material que posee mejor desempeño es la madera reciclada, con un 81,48%. En orden de importancia le siguen la madera (74,07%), los fardos de paja (70,37%), el bambú (59,25%) y la tierra apisonada (55,55%). De otra parte, de los materiales evaluados, los que poseen menor desempeño, al menos desde el punto de vista ambiental son el acero reciclado, el hormigón armado de bambú, el plástico reciclado, el *enviroboard* y los ladrillos de arcilla.

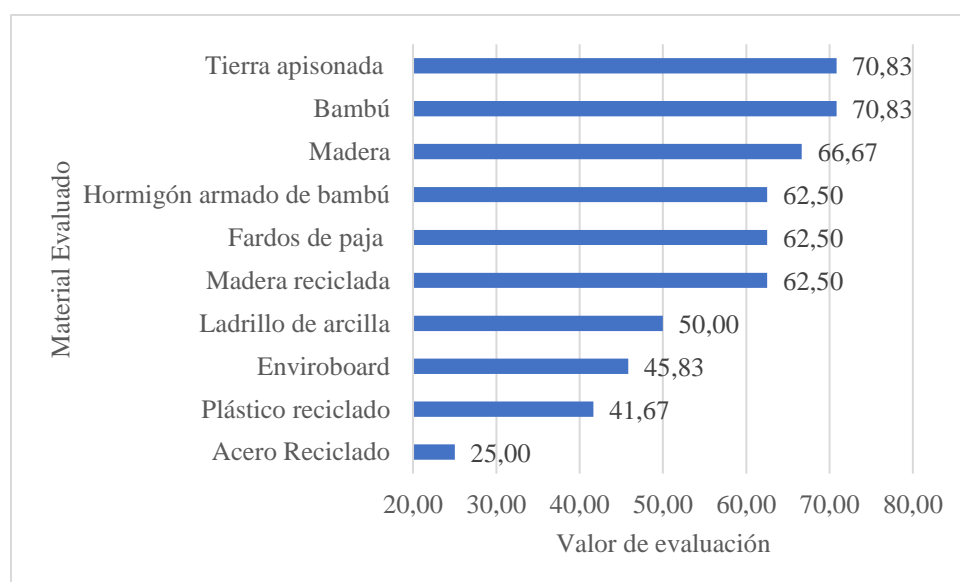
La madera reciclada obedece al uso de residuos provenientes de la industria maderera o de la construcción. Pueden ser empleados de manera directa o a través de paneles procesados como el MDF. Una alta valoración la madera reciclada, al menos dentro de la dimensión ambiental, se debe a que es un material de alta reciclabilidad, con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, puede ser usado en un diseño

desmontable y es biodegradable. En contraposición, una baja valoración de los ladrillos de arcilla dentro de la dimensión ambiental se debe a que no retiene carbono, no proviene de una fuente renovable y difícilmente puede ser usado en un diseño desmontable.

De otra parte, los materiales que más porcentaje de criterios sociales cumplen son la tierra apisonada y el bambú, ambos con un 70,83% de puntaje total obtenido (ver figura 40). En orden de importancia se encuentran la madera, el hormigón armado de bambú, los fardos de paja y la madera reciclada. Dentro de los materiales evaluados, los que obtuvieron menor valoración en la dimensión social fueron el ladrillo de arcilla, el *enviroboard*, el plástico y el acero reciclados.

Figura 40

Evaluación de materiales según criterios sociales



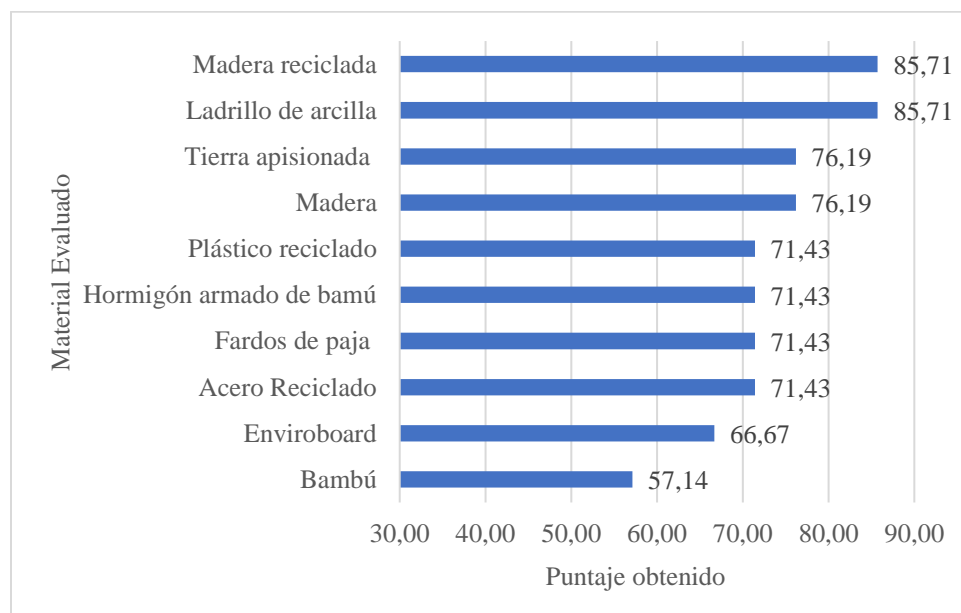
La tierra apisonada es una antigua técnica de construcción que se usa para el levantamiento de muros. Está hecha de tierra húmeda que se pone en un encofrado de madera y luego se comprime o apisona ya sea de forma manual o mecánica para lograr una pared densa y sólida (Hall et al., 2012). Por su parte, el bambú, es un recurso maderable de bajo peso, fácil producción y alta resistencia. Es renovable, versátil y maleable ((Basak et al., 2021) . Desde un punto de vista social, estos materiales responden de mejor forma a criterios sociales como una mayor adaptabilidad y flexibilidad de integración en un proyecto, mayor arraigo local y que son materiales con bajos porcentajes de sustancias contaminantes o corrosivas para la salud humana. Por su parte, el plástico y el acero reciclado, materiales con bajos porcentajes de valoración dentro de la dimensión social, son materiales que poco contribuyen con la reducción de isla de calor y, a su vez, no poseen nulo contenido de sustancias tóxicas o corrosivas.

En cuanto a la dimensión económica, los dos materiales que obtuvieron la mayor valoración fueron la madera reciclada y el ladrillo de arcilla (ver figura 41). El ladrillo de arcilla es un material que se produce mediante el secado de arcilla, formando una estructura porosa sintetizada; es un material muy usado actualmente en la construcción debido a su fácil adquisición, modo de empleo y durabilidad (Sims et al, 2019). Una valoración alta de estos dos materiales dentro de la dimensión económica se debe a que son materiales con los que se reducen la generación de residuos, son materiales cuyos residuos generados se pueden reintegrar en el proyecto, son materiales durables que requieren pocos reemplazos durante su ciclo de vida, conservan mejor sus características en el tiempo, con bajo coste de mantenimiento y son de fácil uso en el proyecto.

Después de la madera reciclada (85,75%) y el ladrillo de arcilla (85,75%), le siguen en orden de importancia la tierra apisonada (76,19%) y la madera (76,19%). Con un puntaje de 71,43% le siguen, el plástico reciclado, el hormigón armado de bambú y los fardos de paja. Contrario a estos, los materiales menos sostenibles desde el punto de vista de económico son el *enviroboard* (66,67%) y el bambú (57,14%). Una baja valoración de dichos materiales (el bambú y el *enviroboard*) dentro de la dimensión económica se debe a que estos no son materiales que provengan de resultado de demoliciones, no son materiales que conserven bien sus características en el tiempo, no son materiales con un bajo costo de mantenimiento.

Figura 41

Evaluación según criterios económicos



Con base en las valoraciones obtenidas de los materiales por dimensión de criterios de sostenibilidad, se desarrolló un mapa de dispersión de puntos entre, la dimensión económica versus las dimensiones ambiental y social (ver figuras 42 y 43). Cada punto en el mapa representa una ubicación de

un material. Por lo tanto, los materiales con mayores desempeños estarían en la parte superior derecha y los de menor desempeño en la parte inferior izquierda. En este sentido, el material que ofrece una mayor valoración y por lo tanto cumple en mayor medida tanto con criterios económicos como ambientales es la madera reciclada. Cerca a esta se encuentra la madera. También, la madera reciclada es la relativamente mejor posicionada a la hora de contraponer las dimensiones económica y social. Estos mapas ofrecen un panorama visual de los resultados obtenidos. De hecho, estos mapas también pueden ser empleadas con el fin de posicionar nuevos materiales desde el punto de vista de la sostenibilidad. Sin embargo, la finalidad de esta parte del estudio es señalar-identificar, cuáles son los materiales sostenibles que deberían hacer parte del diseño final de la estructura eco - amigable. Para dar respuesta a dicho interrogante, finalmente en la tabla 9 se presenta un ranking de los materiales estudiados. Estos están ordenados desde los que cumplen en mayor medida con los criterios de sostenibilidad empleados hasta los que menos cumplen con dichos criterios. Los puntajes globales fueron re-escalados sobre una valoración de 100. No se empleó la media como indicativo para realizar el ranking debido a la poca disponibilidad de casos a ser computados (sólo 3, las tres dimensiones).

Figura 42

Dispersión de puntos materiales evaluados: dimensión económica vs ambiental

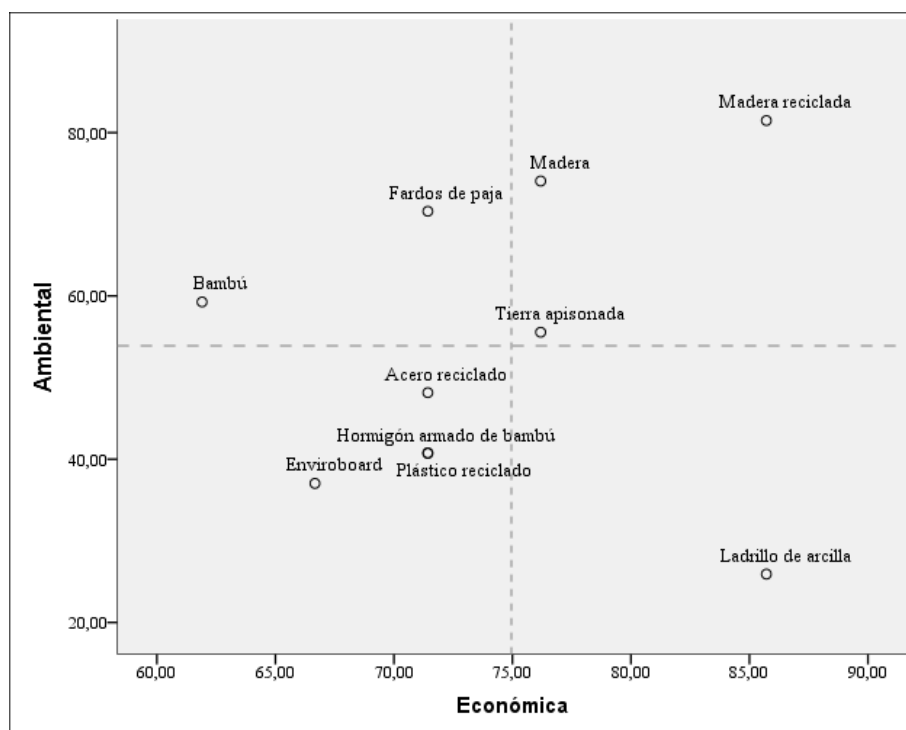
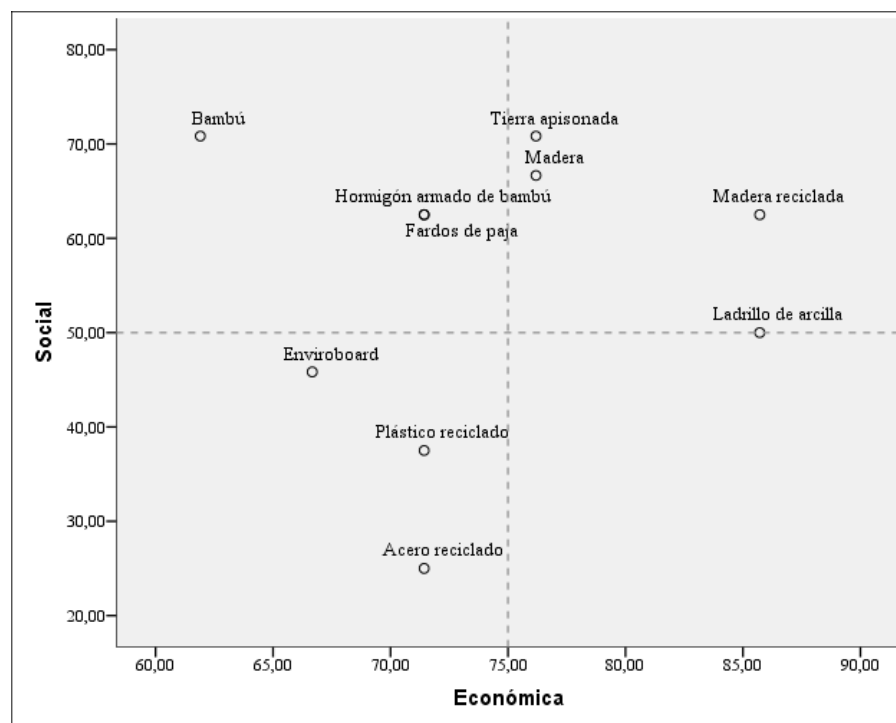


Figura 43.

Dispersión de puntos materiales evaluados: dimensión económica vs social

**Tabla 9**

Ranking puntaje global de los materiales analizados

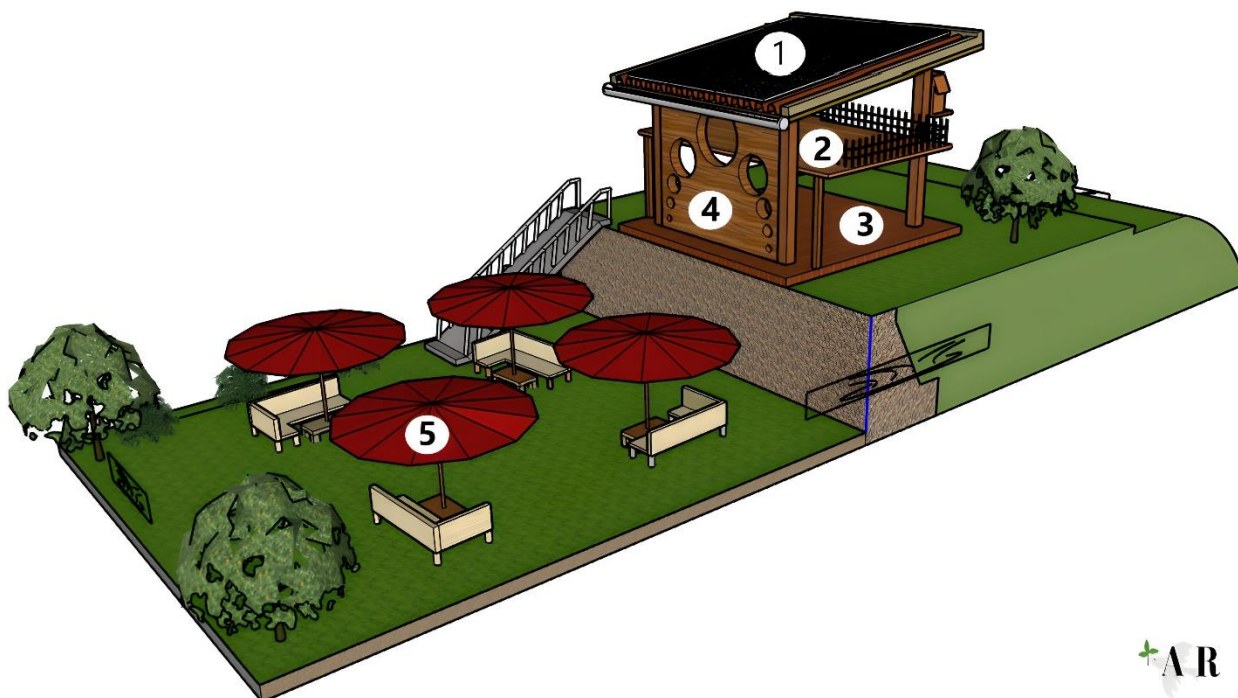
Material	Porcentaje global
Madera reciclada	76,6%
Madera	72,3%
Fardos de paja	68,1%
Tierra apisonada	67,5%
Bambú	64,0%
Hormigón armado de bambú	58,2%
Ladrillo de arcilla	53,9%
Plástico reciclado	49,9%
Enviroboard	49,8%
Acero Reciclado	48,2%

De la tabla 9 se puede apreciar que el material que en mayor medida cumple con los criterios de sostenibilidad empelados es la madera reciclada, con un porcentaje del 76,6%. Le siguen en orden de importancia la madera, con un 72,3%, los fardos de paja y la tierra apisonada. Aunque con un porcentaje menor, el bambú es un material que podría también ser tenido en cuenta. De los materiales evaluados, los

que estarían menos “en la vista” para ser empleados como material de construcción sostenible serían, el acero reciclado, el *enviroboard*, el plástico reciclado, el ladrillo de arcilla y el hormigón armado de bambú.

6.4 Diseño preliminar de la estructura basado en los materiales seleccionados

Finalmente, en la figura 44 se presenta el diseño preliminar de la estructura eco-amigable propuesta. Esta se basa en los resultados obtenidos de los capítulos y secciones anteriores. Al final, incorpora las necesidades y expectativas de los usuarios, así como sus percepciones hacia lo que son las construcciones sostenibles. La construcción, de manera general, se propone que el techo (1) sea elaborado en bambú. La técnica de uso de bambú, para el techo, puede realizarse mediante el uso de vigas de bambú dividida a la mitad o aplanada para hacerla en forma de estera; esto facilita la maleabilidad del producto (BambooU, s. f.). Las vigas principales de la estructura eco-amigable se sugieren sean en madera reciclada producto de la demolición de casas antiguas, ya que es un producto que a nivel local es asequible. Para el piso del segundo nivel (2), se propone el uso de madera con arraigo local y que sea de una empresa que legalmente cuente con permisos de explotación del recurso. De otra parte, se sugiere el uso de madera proveniente de los residuos de la soca de café que luego de ser tratada, puede ser empleada para hacer las barandas del segundo nivel. Es un subproducto generado e inexplorado en el campus universitario. El muro principal (4) se sugiere sea de tierra apisonada. La tierra apisonada es muro ancho que ayuda con el confort térmico y por lo general, se construye en encofrado (*La construcción con muros de tierra, 2021*); es un material que se encuentra en el sitio del proyecto (UniLibre). Para la zona de descanso (5), en los sets de sillas exteriores se propone explorar en el campo del uso del plástico reciclado, fardos de paja, subproductos de la poda de café, acero reciclado, madera reciclada, entre otras, intentando así hacer uso de los subproductos generados al interior de la universidad.

Figura 44.*Modelo final propuesto*

+AR

Ahora bien, el diseño propuesto se contrapuso con los criterios generales que demanda la iniciativa LEED en sus estándares para otorgar el sello de construcción sostenible. En la tabla 10 se presenta dicha contraposición.

Tabla 10.*Criterios evaluados por LEED*

Criterio LEED	- Descripción criterio	Puntos posibles	Cumple
Lotes Sostenibles	- Zona de fácil acceso	26	Sí
	- Control de sedimentación y erosión		n.d.
	- Manejo de escorrentía		n.d.
	- Paisaje y diseño exterior para reducir isla de calor		Sí
Eficiencia hídrica	- Protección y restauración del entorno	10	No
	- Reducir los gastos normales en al menos un 50%		n.d.
	- No uso de agua potable para riego		Sí
	- Rehúso de aguas lluvias		Sí
Energía y atmosfera	- Innovación en las tecnologías implementadas en sanitarios	35	n.d.
	- Desempeño energético mínimo		Sí
	- Implementación de sistemas de energía renovable		Sí
	- Medida y verificación de mitigación de emisiones de CO ₂		n.d.
			Sí

Materiales y recursos	- Reducción de uso de Clorofluorocarbonos CFC en equipos de calefacción, ventilación, aire acondicionado y demás		Sí
	- Optimización en el desempeño energético		Sí
	- Almacenamiento y recolección de residuos aprovechables	14	Sí
	- Reusó de residuos de construcción		Sí
	- Elección de materiales locales		Sí
	- Elección de materiales rápidamente renovables		Sí
	- Uso de madera certificada		Sí
Calidad del ambiente interior	- Uso en al menos 20% de materiales provenientes de reciclaje		Sí
	- Control de la contaminación por smog de cigarrillo	15	Sí
	- Plan de manejo de calidad del aire durante y después del levantamiento del proyecto		n.d.
	- Aumento en la efectividad de la ventilación		Sí
	- Confort térmico		Sí
	- Monitoreo de las emisiones de CO2		n.d.
	- Reducción de uso de materiales como sellantes, adhesivos, pinturas en lacas y otros químicos		n.d.
Innovación Prioridad regional	- Innovación en el diseño	6	Sí
	- Este ítem califica de forma especial el reconocimiento al proyecto que atiende de forma atenta una problemática ambiental de la zona en donde se encuentra	4	No

Basados en los resultados de la tabla 10, la propuesta de que trata el presente trabajo de grado y de acuerdo con los criterios LEED podría optar al certificado LEED al alcanzar un puntaje de 69 puntos, el cual corresponde al rango de (60-79) el cual es para optar por una certificación Oro, o de obtener una puntuación de 80-110 tendría una certificación Platino. Esto es muy importante ya que, en Colombia, solo existen, 16 proyectos con certificación platino, 72 proyectos con certificación oro, 41 proyectos con certificación plata según *(Programa LEED® en Colombia – Consejo Colombiano de Construcción Sostenible – CCCS, s. f.)*

6.5 Conclusiones

La finalidad de esta parte del estudio fue identificar materiales de construcción sostenibles con potencial para ser empleados en la construcción futura de una estructura eco-amigable que podría ser ubicada dentro de las zonas verdes de la Universidad Libre Seccional Socorro. Tras una búsqueda exhaustiva de información secundaria, se pudo identificar que existe una cantidad considerable de materiales que han sido analizados en estudios anteriores. Se listó un total de 24 materiales y dentro de estos se tuvieron en cuenta 10 debido a su potencial disponibilidad en la región en donde el estudio fue llevado a cabo.

Tras la evaluación de una diversidad de criterios de tipo ambiental, social y económico, se pudo concluir que el material que cumple en mayor medida con criterios de sostenibilidad es la madera reciclada. Asimismo, la madera también es un material altamente considerado como sostenible. Materiales poco conocidos en la región como los fardos de paja, también pueden ser una buena opción como material sostenible de construcción. Cabe resaltar que materiales como la tierra apisonada, muy conocida y usada en la región, sobre todo en la zona de Barichara, de vislumbra como un material importante de construcción sostenible. Sin embargo, debido a la naturaleza del presente estudio, se recomienda el desarrollo de estudios futuros experimentales a nivel de ingeniería como el fin de profundizar acerca del uso de este tipo de materiales en las construcciones de la región.

Anexos:

Anexo G. Matrices de evaluación de materiales de construcción sostenible en la región

7. Diseño de un sistema eléctrico de energía solar fotovoltaica para el diseño preliminar de la construcción sostenible

En este apartado del documento se exponen los resultados correspondientes al desarrollo del cuarto objetivo específico planteado “Proponer el diseño de un sistema integrado de generación de energía solar fotovoltaica que pueda ser adaptado al diseño de construcción eco-amigable teniendo en cuenta la demanda de carga de dispositivos móviles de los usuarios de la universidad Libre seccional Socorro, en su campus universitario Majavita”

7.1. Toma de datos

Mediante el instrumento de medida aplicado en el objetivo uno, se hizo la medición indirecta del consumo de energía eléctrica de los dispositivos móviles (computadores portátiles, teléfonos, y tabletas), que los usuarios cargan con mayor frecuencia dentro de la institución educativa.

Luego del procesamiento de los datos con ayuda de herramientas digitales, se concluyó (ver tabla 5) que el consumo promedio diario de energía es de 20 kWh aproximadamente.

7.2 Materiales para el sistema integrado de generación de energía limpia.

7.2.1 Elección Tipo de Sistemas

Dado que las baterías son altamente contaminantes, su uso no es recomendado al menos que sea necesario, razón por la cual, es preferible desde el punto de vista ambiental, hacer un sistema On-Grid, que permita tomar la energía faltante del SIN. Además, este tipo de sistemas tiene la ventaja que permite entregar la energía generada que no sea consumida, sin embargo, se debe verificar, que bajo ningún concepto se superen los límites establecidos por la electrificadora. Este cálculo se encuentra en el capítulo cuatro.

7.2.2 Elección del panel

Existen en la actualidad cientos de modelos y fabricantes de diferentes módulos de paneles solares. Para elegir la mejor opción se deben evaluar criterios como calidad, eficiencia, confiabilidad del productor y retorno de la inversión. Según (*How to choose a quality solar panel*, s. f.) los paneles solares no han cambiado mucho en sus funciones básicas desde los últimos 40 años, todavía su tecnología es usar células de silicio para convertir luz solar en electricidad (corriente directa). Los avances que se han hecho a través de los años corresponden a mejoras en la eficiencia de las celdas y en especial, a la enorme reducción de costos de fabricación.

Como se observa en la tabla 11 se hizo una búsqueda exhausta de empresas a nivel internacional que brindan sus servicios de venta de celdas fotovoltaicas y seguido se listan los mejores paneles solares del 2021 junto con sus principales características en la tabla 11, esto con el fin de elegir los mejores

materiales para el diseño. Junto a las características de elección se suma, se opta por la elección de un panel diferente a con los que ya cuenta la Universidad esto dando continuidad al proyecto de Parque Solar

Tabla 11

Empresas líderes en fabricación de paneles solar

Empresa	Potencia nominal	Eficiencia panel (%)	Rango de precio panel	Garantía producto
<p>Sunpower, es un líder mundial en células solares IBC de alta eficiencia y ofrece una garantía de rendimiento líder en la industria del 92% de la capacidad retenida después de 25 años, más una garantía de producto del fabricante de 25 años.</p> <p>Los paneles de la serie Maxeon utilizan celdas tipo N IBC de alto rendimiento, que son la tecnología de celdas solares fotovoltaicas más eficiente disponible en la actualidad.</p>	340-550	19,6-22,8	Media a muy alto	25
<p>REC fabrica paneles rentables de alta calidad que han demostrado ser muy populares entre los instaladores, en particular la gama TwinPeak. A partir de 2019, todos los paneles REC TwinPeak y N-peak vienen con una garantía de producto estándar de 20 años y una garantía de rendimiento mejorada con una degradación reducida, lo que la convierte en una de las mejores garantías del mercado</p>	330-380	19-21,7	Medio a Alto	20
<p>LG está considerado como uno de los fabricantes líderes del mundo con una gama premium de paneles confiables, de alta calidad y de alto rendimiento. LG es uno de los pocos fabricantes que ofrece un producto de 25 años y una garantía de rendimiento de 25 años en los paneles Neon 2 y Neon R, que utilizan celdas de silicio <u>tipo N</u> de alta calidad y larga duración.</p>	350-450	9,3-22,0	Medio a alto	25
<p>Hanwha Q Cells es un conocido fabricante de paneles de alto volumen que ofrece una amplia gama de paneles de calidad para todas las aplicaciones. Los últimos paneles Q Cell G6 + Duo están respaldados por una nueva garantía de producto de 25 años y una garantía de rendimiento a largo plazo mejorada con una potencia nominal del 85% después de 25 años.</p>	335-465	18,8-20,8	Medio	12 – 25
<p>Winaico es un fabricante de volumen relativamente pequeño que ofrece una gama premium de paneles de alta calidad a un precio razonable. Los paneles Winaico ahora vienen con una garantía del fabricante de 25 años y son bien considerados y confiables por los instaladores. También tienen un buen historial de fiabilidad y rendimiento a largo plazo en las duras condiciones australianas.</p>	310-375	18,8-20,6	Medio a Alto	25
<p>Hyundai tiene una larga historia en energía y fabricación que se remonta a principios de la década de 1970 y en 2004 Hyundai ingresó a la industria solar y poco a poco construyó una base sólida en la fabricación de paneles solares. A diferencia de los competidores chinos masivos, Hyundai solar se ha enfocado en producir una pequeña cantidad de paneles solares asequibles y de</p>	300-400	19,6-21,3	Medio	25

calidad construidos alrededor de tecnologías establecidas de células solares.

Sun Power, es una empresa que está a nivel global ofreciendo avances tecnológicos en celdas fotovoltaicas. Es líder a nivel mundial por fortalecer el desarrollo hacia un mundo más sostenible.

Tiene verificación en calidad, funcionamiento y durabilidad por ende es una de las empresas mejor posicionada en la venta de paneles a nivel mundial.

Tabla 12.

Mejores Paneles Solares

Empresa	Modelo líder de la empresa	Tipo de célula	de	Eficiencia máxima del panel (porcentaje)	Garantía del producto [años]	Rendimiento luego de 25 años (Porcentaje mínimo de salida)
SunPower	Maxeon 3	IBC tipo N		22,8	25	Salida min 92
REC	Serie Alfa	HJT MBB		22	20	Salida min 92
LG	Neon R	IBC tipo N		22	25	Salida min 90,8
Qcells	QPeak DUO G9 +	MBB de medio corte tipo P		20,8	25	Salida mínima del 86
Winaico	WST-375MG	MBB de medio corte tipo P		20,6	25	Salida mínima del 85,3
Hyundai	Hola ES400UF	PERC con tejas tipo P		21,3	25	Salida mínima del 84,8
JinkoSolar	Tiger Pro 66TR	MBB de medio corte tipo P sin espacios		21,3	15	Salida mínima del 84,8
Canadian Solar	HiKu6	MBB de medio corte tipo P		20,8	12	Salida mínima del 84,8
Trina Solar	Vértice S	MBB de medio corte tipo P sin espacios		21,1	15	Salida mínima del 84,8
Longi Solar	Hola-MO 4m	Tipo Medio corte MBB Dopado con ga	P	20,8	12	Salida mínima del 84,8

Nota. Elaborado por el autor, con información encontrada en (*Top 10 Solar Panels - Latest Technology 2021*, s. f.)

Paneles SunPower

Tras realizar la consulta se concluyó que la empresa con mayor respaldo de garantía y eficiencia de sus productos es Sunpower.

Sunpower ha sido durante mucho tiempo el líder en la industria de la sostenibilidad, por utilizar estrategias de ciclo cerrado completo en sus productos, sus paneles cuentan con una certificación Cradle to cradle, que significa certificación de base a base en la categoría silver de la certificación LEED, como se muestra a continuación.

Figura 45.

Sello verde de calidad Paneles de SunPower



Nota. Adaptado de (*SunPower Solar Panels Review 2021*, s. f.)

Por lo anterior, se decidió hacer una búsqueda sobre los módulos solares para instalaciones residenciales que esta empresa ofrece, como se detalla en la tabla 13.

Tabla 13.

Paneles ofrecidos por SunPower

Referencia panel	Celdas		Eficiencia (%)	Potencia nominal (W)
Maxeon 2-104	N monocristalinas	IBC	20,4	340-360
Maxeon 3-104	N IC monocristalinas		22,8	400
Maxeon 5-66	IBC tipo N (gen5)		22	390 - 415 (ver nota)

Nota: Este panel es de nueva tecnología, trae incorporado un micro inversor y actualmente solo está disponible en Europa. Tabla realizada con información tomada de (*SunPower Solar Panels Review 2021*, s. f.)

Finalmente, tras analizar la información, se optó por usar el modelo MAXEON 3 de 400 W, del fabricante americano SunPower, ya que son probablemente los paneles solares con mejor estética y rendimiento. Su eficiencia es 22.8 % y sus dimensiones son de 1,046*1,690 m., algunas de sus características están descritas en la tabla 14.

Tabla 14.*Propiedades panel Maxeon 3*

Potencia Nominal	400 W
Eficiencia del panel	22,8%
Máximo voltaje en circuito abierto	75.6V
Máxima Corriente para corto circuito	6.58 A
Garantía	25 años

Nota. Tabla elaborada por el autor según las características encontradas en (*SunPower Solar Panels Review 2021*, s. f.)

7.2.3 Elección de inversor

Como análisis previo a la elección, se hace una consulta de los mejores inversores, a la cual se le evalúan ciertos criterios para posteriormente analizarlos y elegir la mejor opción. Los mejores inversores del mercado en el 2021 son:

Tabla 15.*Mejores inversores del mercado*

Marca	Modelo	Garantía(años)	Características
Fronius	Primo	10	Conexiones ocultas, pantalla LCD, fabricación en Austria
SolarEdge	Ola HD	12	Optimsers DC, monitoreo de nivel de panel
SMA	Chico soleado	5	Fabricado en Alemania, ajuste Shadefix
Sungrow	SG Premium	10	Pantalla LCD, muy alta eficiencia.
Huawei	SUN2000L1	10	Inversor híbrido, optimizadores de CC opcionales
FIMER	UNO DM PLUS	10	Entradas de cadenas paralelas
DELTA	Serie de inicio	5	Voltaje de arranque muy bajo, alta eficiencia
Bueno	Serie DNS	5	Pantalla LCD, configuración de escaneo de sombras

Nota. Tabla adaptada según información consultada en (*Best Solar Inverters 2021*, s. f.)

7.3 Cálculos de diseño sistema integrado generación de energía solar fotovoltaica

7.3.1 Cálculo de cantidad de paneles solares a usar

Dado que el tipo de sistema a implementar es On-Grid, la cantidad de paneles puede ser elegida quasi- arbitrariamente, ya que si falta energía se tomará de la red y si sobra se inyectará a la misma (sin superar los excedentes antes mencionados). Sin embargo, para el presente diseño se optó por generar una cantidad de energía equivalente a la proyectada a ser consumida como resultado del primer objetivo.

Nota: aunque el sistema no generará energía de noche, la cantidad de energía que sea tomada de la red en la jornada nocturna para ser consumida en la estructura eco-amigable, será equivalente al ahorro realizado durante el día por la energía generada en la estructura eco-amigable que se entrega a otras zonas de la universidad.

- Demanda diaria: 20 kWh (Resultado objetivo uno)

- Potencia nominal panel: 400 Wh
- Brillo solar en El Socorro: 5 h (dato adaptado del mapa de radiación de la UPME)

Ecuación 1.

Calculo número de paneles

Formula
$\text{Energía generada diaria} \left(\frac{kW * h}{\text{dia}} \right) = P \text{ nom} (W) * \# \text{ paneles} * B_s \frac{h}{\text{dia}}$
$20 \left(\frac{kW * h}{\text{dia}} \right) = \frac{400 kW}{1000} * \# \text{ paneles} * 5 \frac{h}{\text{dia}}$
$20 \left(\frac{kW * h}{\text{dia}} \right) = 0.4 \frac{kW * h}{\text{Dia}} * \# \text{ paneles} * 5 \frac{h}{\text{dia}}$
$20 \left(\frac{kW * h}{\text{dia}} \right) = \# \text{ paneles} * 2 \frac{kW * h}{\text{dia}}$
$\frac{20 \left(\frac{kW * h}{\text{Dia}} \right)}{2 \left(\frac{kW * h}{\text{dia}} \right)} = 10 \text{ paneles}$

Por lo tanto, se encuentra que se requieren 10 paneles solares de 400 W, para suplir la demanda energética proyectada para la estructura eco-amigable

Por facilidad y estética en la instalación se usarán nueve (9) paneles, lo cual, como ya se mencionó no afectará el correcto funcionamiento por ser un sistema On-Grid.

7.3.2 Cálculo de inversor

Para la elección del inversor, además de realizar una consulta sobre el estado del arte del mercado, se tuvieron en cuenta las especificaciones técnicas que debe tener el inversor, para poderse acoplar tanto a los paneles como al SIN.

Para el acople con los paneles, se debe cumplir que:

- La potencia que soporta el inversor es mayor a la potencia generada.
- La corriente soportada a la entrada del inversor debe ser mayor a la corriente de los paneles.

- El voltaje generado en conjunto por los paneles no debe superar el voltaje de entrada permitido por el inversor.
- Y para el acople al SIN:
- Tener sistema Anti-Island (deja de generar en caso de falla en la red de la electrificadora)
 - Voltaje y frecuencia de salida acorde con la normatividad colombiana.
 - Por lo tanto, se optó por usar el Fronius Symo 3.7, que cumple con todas las características como se puede ver en la tabla 16.

Tabla 16.*Propiedades Inversor Fronius SYMO 3.7- 3-S*

Propiedades inversor	Calculo	Resultado (dato panel)	Dato referencia inversor	Cumple
Potencia Requerida	Potencia panel * # paneles	0,4 kWh* 9 = 3,6 kWh	3.7	3.6 < 3.7 ✓
Rango de tensión	Voltaje paneles * # paneles	75,6 V * 9 = 680,4 V	250 - 800 v	250 < 680,4 < 800 V ✓
Corriente máxima de entrada	Debe ser < corriente máxima de salida del panel	5.58 A	16 A	5.58 A < 16 A ✓
Voltaje y frecuencia requeridos	<ul style="list-style-type: none"> • Según reglamento colombiano debe ser 120 V entre fase y neutro con una frecuencia de 60 Hz • Acoplamiento a la red tiene como salida trifásica 380/220 V 			

Nota. Tabla elaborada por el autor según datos encontrados en la ficha descriptiva del Inversor Fronius SYMO 3.7- 3-S

Según la ficha de características podemos ver que el inversor cumple con las siguientes normas:

ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 6172 AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777 1), CEI 0-21 1), NRS 097

7.3.3 Generación mensual energía limpia

Ecuación 2.

Generación mensual energía solar

Formula
$\text{Energía generada mensual} \left(\frac{kW * h}{mes} \right) = P \text{ nom} (kW) * \# \text{ paneles} * Bs \frac{h}{dia} * 30 \text{ dias}$

$$\text{Energía generada mensual} \left(\frac{kW * h}{mes} \right) = \frac{400}{1000} kW * 9 * 5 \frac{h}{dia} * 30 \frac{días}{mes}$$

$$\text{Energía generada mensual} \left(\frac{kW * h}{mes} \right) = 0.4 kW * 9 * 150 \frac{h}{mes}$$

$$\text{Energía generada mensual} \left(\frac{kW * h}{mes} \right) = 540 \frac{kW * h}{mes}$$

La energía total generada mensualmente por el sistema de generación fotovoltaico será de 540 (kWh/mes), este cálculo es importante para determinar el ahorro económico y la disminución de emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Según la Unidad de Planeación Minero-Energética UPME, la relación de contaminación por electricidad es de 0.166 kg CO₂ por cada kWh, de esta forma podemos inferir que:

Ecuación 3.

Disminución mensual emisiones de CO₂

Formula
$\text{Energía generada mensual} \frac{kWh}{mes} * \text{Coeficiente de contaminación} \frac{kg CO_2}{kWh}$ $= \text{disminución emisiones de } kgCO_2$

$$540 \frac{kWh}{mes} * 0.166 \frac{kg CO_2}{kWh} = 89,64 \frac{kgCO_2}{mes}$$

Por lo que se tiene que mensualmente con este sistema de generación de energía eléctrica se estarían dejando de emitir aproximadamente 90 kilogramos de dióxido de carbono por mes al ambiente.

Es decir que si multiplicamos este valor por los doce meses que tiene un año, estaríamos calculando el valor anual de reducción de kg de CO₂

$$\text{Reduccion } CO_2 \text{ Anual} = \frac{89,64 \text{ Kg } CO_2}{\text{mes}} * 12 \text{ meses}$$

$$\text{Reduccion } CO_2 \text{ Anual} = 1075,68 \frac{\text{Kg } CO_2}{\text{año}}$$

Es decir que anualmente se dejarían de emitir al ambiente aproximadamente una tonelada de CO₂ lo que se traduce, en que si este prototipo llega a realizarse, el aporte solo con este sistema de generación a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) sería de 8 toneladas de CO₂ mitigadas.

En la actualidad, la Universidad Libre Seccional Socorro aporta con sus proyectos de generación de energía alternativa a la reducción de emisiones de CO₂ como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17.

Mitigación de CO₂ proyectada en los parques solares de la Universidad Libre Socorro

Lugar	potencia panel (W)	# paneles	# brillo solar (h)	# Días	Energía generada Wh/mes	Energía generada kWh/año	coeficiente contaminación (kg CO ₂ /kWh)	Emisión CO ₂ mitigada TON CO ₂ / año
Parque Solar Majavita	310	15	5	30	697500	8370	0,166	1,38942
Parque Solar del Café	325	24	5	30	1170000	14040		2,33064
Estructura eco-amigable	400	9	5	30	540000	6480		1,07568

Nota. Tabla elaborada por el autor en Excel usando la ecuación 3 y 4

Es decir que actualmente se aporta anualmente a la reducción de 3,72 Ton de CO₂ y con la posible construcción de la estructura sostenible estructura eco-amigable, se estaría aportando con la reducción de 4,8 Ton de CO₂ solo en lo que concierne a la generación de energía limpia.

7.3.4 Cálculo de ahorro económico

El sistema de generación de energía alternativa aporta al factor económico en la reducción de costos de compra de energía eléctrica convencional, este ahorro se calcula tomando el valor monetario que cobra la empresa prestadora del servicio de energía por kWh (en Santander – ESSA), este valor está establecido según la razón social y nivel económico; para el caso particular de la Universidad Libre es:

Tabla 18.

Propiedades de costo energía

Razón social	Comercial
Nivel social	3
Precio kWh	\$607.25
Potencia del transformador	75 kW
Energía generada paneles solares	600 kWh/mes

Nota. Tabla elaborada por el autor con información tomada del recibo de la luz emitido por ESSA

Ecuación 4.

Calculo ahorro monetario

$$\mathbf{Ahorro\ monetario\ mensual = \$ kWh(pesos) * Energia\ generada \frac{kWh}{mes}}$$

$$Ahorro\ monetario\ mensual = \$ 607.25\ kWh * 600 \frac{kWh}{mes}$$

$$Ahorro\ monetario\ mensual = \$364.350/mes$$

$$Ahorro\ monetario\ anual = \$364.350/mes * 12\ meses$$

$$Ahorro\ monetario\ anual = \$4'372.200/año$$

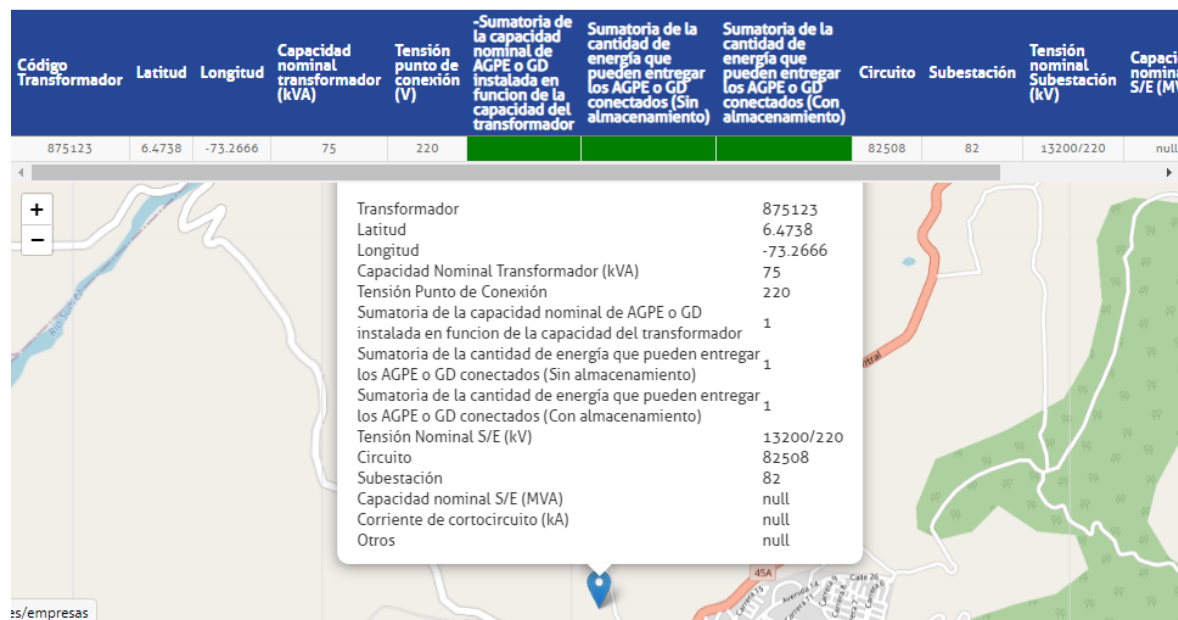
Esto traduce que en caso de llevarse a cabo la instalación de este sistema integrado de generación de energía renovable se estaría haciendo un ahorro monetario de \$365.0000 mensuales y de 4 millones de pesos anuales.

7.3.5 Cálculo de excedentes

Para el cálculo de la cantidad máxima de excedentes que se puede entregar al SIN, se consultó en la página de la electrificadora ESSA, el porcentaje de potencia que puede ser entregado al transformador del Campus Universitario Majavita

Figura 46.

Consulta disponibilidad de Red eléctrica



Nota. Tomada de

Se eligió hacer el cálculo de acuerdo con el primer parámetro, es decir, a partir de la capacidad nominal del transformador, ya que este valor permanece constante a lo largo del tiempo, mientras que el segundo y tercer parámetros corresponden a la energía entregada que a su vez depende de la consumida, la cual puede cambiar y por ende debería ser actualizada al momento de implementar el diseño.

La ecuación 5, muestra el cálculo realizado de acuerdo con la información obtenida en el sitio web de la electrificadora ESSA.

Ecuación 5.

Cálculo de Excedentes posibles de entregar a la ESSA.

$$\text{Excedentes} \leq \frac{15\% * \text{Potencia del transformador}}{100\%}$$

$$\text{Excedentes} \leq \frac{15\% * 75 \text{ kW}}{100\%}$$

$$\text{Excedentes} \leq 11.25 \text{ kW}$$

Por lo tanto, se tiene que la máxima potencia que se puede entregar a la red es de 11.25 kW.

Tabla 19.

Cálculo de potencia entregada.

Máxima potencia dada por los paneles	Potencia generada W	Total, potencia entregada en kW
Parque Solar Majavita	15 paneles * 310 W = 4650 W	4,65 kW
Estructura Eco-amigable	9 paneles * 400 W = 3600 W	3,6 kW
Potencia Total Generada,		8,25 kW

Nota. Tabla elaborada por el autor para calcular la máxima potencia entregada al transformador.

En la tabla 19 se muestra la potencia total generada por los sistemas fotovoltaicos que estarían conectados al transformador, es decir, el Parque Solar Majavita y el Estructura Eco-amigable (el Parque Solar del Café no se tiene en cuenta dado que va conectado a otro transformador). De esta se puede notar que la potencia total generada es de 8,25 kW, por lo que se tiene que incluso si no hay consumo al interior de la universidad, los excedentes (8,25 kW) serán menores a lo estipulado (11.25 kW)

7.4 Diseño final sistema integrado de energía solar fotovoltaica

Figura 47.

Conexión Paneles e inversor



Nota. Figura elaborada por el Autor, imágenes reales de los dispositivos elegidos para el diseño del sistema de generación.

De los cálculos previamente realizados, se puede concluir, que los nueve (9) paneles estarán conectados en serie formando una sola cadena (String)

7.5 Diseño final construcción sostenible

Para realizar el modelo final de la construcción sostenible se tuvieron en cuenta las sugerencias puestas por los usuarios en el modelo de elección planteado en el objetivo dos; se adecuó el diseño a los materiales elegidos mediante la evaluación de criterios de sostenibilidad que se planteó en el objetivo tres y se adaptó en su techo el sistema de generación de energía alternativa planteado en el objetivo cuatro. Se modelaron todos los cambios en el software SketchUp, los resultados los presentamos a continuación:

7.6 Conclusiones

- Se optó por un sistema On-Grid por ser ambientalmente preferible.
- El consumo diario demandado es de 20 kWh, por lo tanto, usando la potencia nominal de los paneles solares comerciales MAXEON 3 (400 W), así como el brillo solar del Socorro, se encontró que se debe hacer una instalación de 10 paneles solares. Se decide usar nueve (9) por razones estéticas y porque no afecta el funcionamiento por ser un sistema On-Grid.
- Con este sistema de generación energética, se está contribuyendo con la reducción anual de emisiones de CO₂ en aproximadamente 1 Ton.
- El mejor panel del mercado en este momento es el MAXEON C5, este panel cuenta con un micro inversor, pero solo está disponible para una frecuencia de 50 Hz. La instalación de un sistema de generación aporta positivamente a la sostenibilidad, ayudando al criterio ambiental con la reducción de emisiones de CO₂, en el criterio económico, con la reducción de gastos en energía convencional y en el criterio social promoviendo la cultura en torno a las energías sostenibles.

8. Conclusiones Generales y Perspectivas Futuras

El presente proyecto se centró en el desarrollo de una propuesta preliminar de una estructura eco-amigable con fines de estudio/descanso que pudiese ser ubicada en las zonas verdes de la Universidad Libre seccional Socorro. Para ello, como primera medida, se aplicó una encuesta dirigida a la comunidad universitaria con dos fines: i) identificar las preferencias-percepciones de los usuarios y ii) como forma para estimar el consumo indirecto de energía eléctrica. Los resultados de dicha encuesta permitieron concluir que, la demanda por una estructura eco-amigable se centraría más en zona de estudio que de diversión-ocio. Por otra parte, la demanda estimada de consumo de energía eléctrica fue de 20 kW-h/día siendo los celulares los dispositivos móviles más empleados.

Definidos las expectativas de los usuarios y mediante la aplicación del QFD, se pudo identificar los aspectos de diseño más relevantes que podrían influir en alcanzar-lograr-conectar con las expectativas de los usuarios. Es de resaltar que, más allá de una estructura eco-amigable, se consideró el desarrollo de una estructura de construcción sostenible; es decir, un valor superior en los usuarios y en la sociedad en general. Se pudo identificar que los aspectos más relevantes que permiten el logro de una construcción sostenible son el diseño acorde con los demandados por los usuarios, el costo de la construcción y el uso de

residuos/desechos de las otras actividades. También, la incorporación de prado o zonas verdes dentro de diseño es otro de los aspectos a resaltar. Para responder con el primer criterio, se propusieron tres diseños preliminares los cuales, fueron sometidos a valoración ante la comunidad universitaria. Sorprendentemente, un diseño “más conectado con la naturaleza”, fue más seleccionado por los usuarios. Ahora bien, para intentar cumplir con el uso de materiales de desecho dentro del diseño y factores de costos (tercer y segundo aspecto relevante), diversos materiales de construcción sostenible fueron analizados.

Dentro de los análisis de los materiales de construcción sostenible, diversos criterios de selección de materiales de construcción sostenible fueron usados inmersos en tres dimensiones, ambiental, social y económico. Tras la búsqueda a través de fuentes secundarias de diversos materiales de construcción sostenible y su potencial desarrollo en la región, un total de 10 materiales fueron analizados. Dentro de estos, la madera reciclada fue identificada como el material que en mayor medida permite responder a criterios ambientales, sociales y económicos. Otros materiales de potencial uso son, la madera, los fardos de paja y la tierra apisonada, este último ampliamente usada en la región. Estos materiales fueron incorporados al diseño preliminar que fue de mayor preferencia por parte de la comunidad universitaria.

Aunque el uso de paneles solares no fue visto como aspecto relevante de diseño que permite conectar con las expectativas de los usuarios, al final del presente estudio y en correspondencia con los objetivos planteados, se aportaron los cálculos correspondientes al diseño de un sistema integrado de generación de energía solar fotovoltaica. Dos razones principales justifican su incorporación. La primera, es, que, aunque como diseño no se mostró como relevante desde el punto de vista de los usuarios sí que es reconocido como aspectos importantes que debería ser tenido en cuenta en el desarrollo de una construcción sostenible. La segunda, se debe a la continuidad que se ha mostrado en cuanto la expansión del uso de la tecnología adaptada de energía solar fotovoltaica que se ha venido gestando durante los últimos años al interior de la Universidad Libre.

Una de las limitaciones del presente estudio fue que, las encuestas fueron aplicadas en pleno pico de la pandemia por lo que, en un retorno a clases presenciales no se sabe hasta qué punto de las expectativas de los usuarios hayan cambiado. Sin embargo, es probable que tras el confinamiento prolongado que supuso la pandemia, una mayor preferencia por estructuras “naturales” ubicadas a campo abierto hayan incrementado en su preferencia. Frente a la limitación de un análisis teórico de materiales que podrían ser empleados, el presente restudio abre la puerta para el desarrollo de futuras investigaciones que permitan, desde el punto de vista de la práctica de la ingeniería ambiental, desarrollar nuevos materiales que sin duda pueden redundar en el progreso de la región hacia un mundo más sostenible.

9. Referencias Bibliográficas

- 7 reasons why we should build straw houses and live in them.* (2015, enero 29). LifeGate.
<https://www.lifegate.com/7-reasons-why-build-straw-houses-to-live-in>
- 11 Colombian Houses That Feature Exposed Brick.* (2020, mayo 20). ArchDaily.
<https://www.archdaily.com/939644/11-colombian-houses-that-feature-exposed-brick>
- A House Made of Corn Cobs.* (s. f.). Recuperado 5 de septiembre de 2021, de
<https://earthpowernews.com/a-house-made-of-corn-cobs/>
- Abdellatef, Y., & Kavgic, M. (2020). Thermal, microstructural and numerical analysis of hempcrete-microencapsulated phase change material composites. *Applied Thermal Engineering*, 178. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115520>
- Abed, M. S., Resan, S. F., & Zemam, S. K. (2022). Developing knotted slender reinforced concrete column based on bamboo culm biomimicry. *Asian Journal of Civil Engineering*, 23(1), 99-111. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s42107-021-00411-x>
- Abessolo, D., Biwole, A. B., Fokwa, D., Ganou Koungang, B. M., & Yembe, B. B. A. A. H. (2022). Physical, Mechanical and Hygroscopic Behaviour of Compressed Earth Blocks Stabilized with Cement and Reinforced with Bamboo Fibres. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 59, 29-41. Scopus. <https://doi.org/10.4028/p-spbskv>
- Adamová, T., Hradecký, J., & Prajer, M. (2019). VOC emissions from spruce strands and hemp shive: In search for a low emission raw material for bio-based construction materials. *Materials*, 12(12). Scopus. <https://doi.org/10.3390/ma12122026>
- Adell, J., Bedoya, C., Ayllón, J. H., Humero, A., & Lombana, E. (2018). *Brick façade of a main historic building to be preserved by reinforced and panelled, to disassemble and reassemble fixed on a new structure.* 0(222279), 871-882. Scopus.

- Ahmadi, R., Souri, B., & Ebrahimi, M. (2020). Evaluation of wheat straw to insulate fired clay hollow bricks as a construction material. *Journal of Cleaner Production*, 254. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120043>
- Alarcón, L., & Montero-Fernández, F. (2018). Nature in the city: Open space and ruin. *RA Revista de Arquitectura*, 20, 104-117+279 and283. Scopus. <https://doi.org/10.15581/014.20.104-117>
- AlShuhail, K., Aldawoud, A., Syarif, J., & Abdoun, I. A. (2021). Enhancing the performance of compressed soil bricks with natural additives: Wood chips and date palm fibers. *Construction and Building Materials*, 295, 123611. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123611>
- Alyousef, R., Ahmad, W., Ahmad, A., Aslam, F., Joyklad, P., & Alabduljabbar, H. (2021). Potential use of recycled plastic and rubber aggregate in cementitious materials for sustainable construction: A review. *Journal of Cleaner Production*, 329. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129736>
- Antivil-Marinao, W., & Orellana-Yaez, I. (2020). *Sustainable Concepts Reflected in Mapuche Constructions*. 503(1). Scopus. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/503/1/012054>
- Application of Coconut Fibres as Outer Eco-insulation to Control Solar Heat Radiation on Horizontal Concrete Slab Rooftop. (2015). *Procedia Engineering*, 125, 765-772. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.129>
- Arehart, J. H., Nelson, W. S., & Srubar, W. V., III. (2020). On the theoretical carbon storage and carbon sequestration potential of hempcrete. *Journal of Cleaner Production*, 266. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121846>

Arquitectura con tierra, las casas de Barichara en Colombia. (s. f.). Recuperado 5 de septiembre de 2021, de <https://revistaaxis.com.co/arquitectura/casa-sostenible-barichara/>

Asare, B. J., & Danyuo, Y. (2020). Mechanical Characterization of Earth-Based Composites Materials Reinforced with Treated Bamboo Fibres for Affordable Housing. *MRS Advances*, 5(25), 1313-1321. Scopus. <https://doi.org/10.1557/adv.2020.214>

Aurrekoexea, I., & Cultrone, G. (2020). *Chemical, mineralogical and physical characterization of lightweight bricks with the addition of sawdust for use in construction and preservation of architectural heritage.* 94-101. Scopus.

author/lauren-shanesy. (2016, diciembre 5). *Insulating Homes with Natural Sheep's Wool.* Builder. https://www.builderonline.com/products/building-materials/insulating-homes-with-natural-sheeps-wool_o

Awoyera, P. O., Nworgu, T. A., Shanmugam, B., Arunachalam, K. P., Mansouri, I., Romero, L. M. B., & Hu, J.-W. (2021). Structural retrofitting of corroded reinforced concrete beams using bamboo fiber laminate. *Materials*, 14(21). Scopus. <https://doi.org/10.3390/ma14216711>

Bakhom, E. S., Garas, G. L., & Allam, M. E. (2015). Sustainability analysis of conventional and eco-friendly materials: A step towards green building. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(2), 788-796. Scopus.

Bamboo Treehouse in Colombia. (s. f.). Guadua Bamboo. Recuperado 5 de septiembre de 2021, de <https://www.guaduabamboo.com/blog/bamboo-treehouse>

BambooU. (s. f.). *Bamboo U Home.* Recuperado 10 de junio de 2022, de https://www.bamboou.com/?r_done=1&utm_medium=website&utm_source=archdaily.c

- Barnaure, M., Bonnet, S., & Poullain, P. (2021). Earth buildings with local materials: Assessing the variability of properties measured using non-destructive methods. *Construction and Building Materials*, 281, 122613. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122613>
- Barreca, F., Martinez Gabarron, A., Flores Yepes, J. A., & Pastor Pérez, J. J. (2019). Innovative use of giant reed and cork residues for panels of buildings in Mediterranean area. *Resources, Conservation and Recycling*, 140, 259-266. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.005>
- Basak, M., Dutta, S., Biswas, S., Chakraborty, S., Sarkar, A., Rahaman, T., Dey, S., Biswas, P., & Das, M. (2021). Genomic insights into growth and development of bamboos: What have we learnt and what more to discover? *Trees - Structure and Function*, 35(6), 1771-1791. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02197-6>
- Best Solar Inverters 2021*. (s. f.). CLEAN ENERGY REVIEWS. Recuperado 7 de septiembre de 2021, de <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/best-grid-connect-solar-inverters-sma-fronius-solaredge-abb>
- Birjukovs, M., Sinka, M., Jakovics, A., & Bajare, D. (2022). Combined in situ and in silico validation of a material model for hempcrete. *Construction and Building Materials*, 321. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126051>
- Bleiel, J., Bogue, J., & Troy, A.-J. (2011). New product development for functional foods: Focusing on mega-trends to increase consumer acceptance. *Agro Food Industry Hi-Tech*, 22(5), 20-22. Scopus.
- Bonnefin, I. (s. f.). *Emerging Materials: Mycelium Brick*. Recuperado 5 de septiembre de 2021, de <https://www.certifiedenergy.com.au/emerging-materials/emerging-materials-mycelium-brick>

- Bonoli, A., Rizzo, S., & Chiavetta, C. (2014). Straw as construction material for sustainable buildings: Life Cycle Assessment of a post-earthquake reconstruction. En *Vernacular Architecture: Towards a Sustainable Future* (pp. 143-146). Scopus. <https://doi.org/10.1201/b17393>
- Bracho, L., & Martinez, P. (2020). *Diagnosis of the Generation of Solid Waste in the Construction of a Building under the Approach of Industrial Ecology*. 503(1). Scopus. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/503/1/012023>
- Briede W., J. C., & Alarcón C., J. (2012). Sustainable strategies applied to regional context: Design of wooden and unconventional raw materials boards for decorative finishing. *Interciencia*, 37(12), 927-933. Scopus.
- Bukhari, H., Musarat, M. A., Alaloul, W. S., & Riaz, M. (2021). *Hempcrete as a Sustainable Building Material: A Review*. 633-635. Scopus. <https://doi.org/10.1109/DASA53625.2021.9682411>
- Cabina de caza—JD Composites*. (s. f.). Recuperado 5 de septiembre de 2021, de <https://jdcomposites.ca/portfolio/hunting-cabin/>
- Casa de corcho*. (s. f.). Recuperado 5 de septiembre de 2021, de <https://www.architecture.com/awards-and-competitions-landing-page/awards/riba-regional-awards/riba-south-award-winners/2019/cork-house>
- Cascone, S., Rapisarda, R., & Cascone, D. (2019). Physical properties of straw bales as a construction material: A review. *Sustainability (Switzerland)*, 11(12). Scopus. <https://doi.org/10.3390/SU11123388>
- Chaohotechuang, P., & Mariano, S. (2016). Alignment of new product development and product innovation strategies: A case study of Thai food and beverage SMEs. *International Journal*

- of Globalisation and Small Business*, 8(2), 179-206. Scopus.
<https://doi.org/10.1504/IJGSB.2016.078821>
- Chaurasia, D. (2019). «Bamboo» with reference to Indian context: Potential sustainable building material and awareness. 2158. Scopus. <https://doi.org/10.1063/1.5127128>
- Chaussinand, A., Scartezzini, J. L., & Nik, V. (2015). *Straw bale: A waste from agriculture, a new construction material for sustainable buildings*. 78, 297-302. Scopus.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.646>
- Chen, L., & Yang, M. (2021). *The impact of the use of new environmentally friendly materials on the management of construction projects: Taking straw fiber materials as an example*. 2011(1). Scopus. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2011/1/012019>
- Chen, R., Zhang, W., Guan, L., Gu, J., Lin, W., & Hu, C. (2018). Manufacturing technology of composite particleboard using waste newspaper and wood particles. *Journal of South China Agricultural University*, 39(6), 85-90. Scopus. <https://doi.org/10.7671/j.issn.1001-411X.2018.06.013>
- Chen, Z.-S., Martínez, L., Chang, J.-P., Wang, X.-J., Xionge, S.-H., & Chin, K.-S. (2019). Sustainable building material selection: A QFD- and ELECTRE III-embedded hybrid MCGDM approach with consensus building. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 85, 783-807. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.08.006>
- Chiou, Y.-C., Shen, M.-Y., Chiang, C.-L., Li, Y.-L., & Lai, W.-M. (2022). Effects of Environmental Aging on the Durability of Wood-Flour Filled Recycled PET/PA6 Wood Plastic Composites. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(4), 1300-1313. Scopus.
<https://doi.org/10.1007/s10924-021-02268-2>

- Chotikhun, A., Kittijaruwattana, J., Arsyad, W. O. M., Salca, E.-A., Hadi, Y. S., & Hiziroglu, S. (2022). Some Properties of Wood Plastic Composites Made from Rubberwood, Recycled Plastic and Silica. *Forests*, *13*(3). Scopus. <https://doi.org/10.3390/f13030427>
- Chowdhury, F. I., Islam, J., Haldar, S. S., & Zabed, H. M. (2022). Recycled wood plastic biocomposites and development of new materials. En *Recycled Plastic Biocomposites* (pp. 119-145). Scopus. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88653-6.00011-0>
- Contributor, T. R., Rise. (2020, octubre 16). *Building with Hempcrete*. Rise. <https://www.buildwithrise.com/stories/building-with-hempcrete>
- Cuccurullo, A., Gallipoli, D., Bruno, A. W., Augarde, C., Hughes, P., & La Borderie, C. (2020). Earth stabilisation via carbonate precipitation by plant-derived urease for building applications. *Geomechanics for Energy and the Environment*, 100230. <https://doi.org/10.1016/j.gete.2020.100230>
- de la Rosa, R. H., Aenlle, A. A., & Muñoz, N. V. (2018). Evaluation of natural additives for warm asphalt mix. *Revista de la Construcción*, *17*(2), 330-336. Scopus. <https://doi.org/10.7764/RDLC.17.2.330>
- Dias, P. P., Jayasinghe, L. B., & Waldmann, D. (2021). Investigation of Mycelium-Miscanthus composites as building insulation material. *Results in Materials*, *10*. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2021.100189>
- Dotelli, G., Moletti, C., Aversa, P., Sabbadini, S., Marzo, A., Tripepi, C., Lauriola, P., & Luprano, V. A. M. (2020). *Hempcrete Buildings: Environmental Sustainability and Durability of Two Case-Studies in North and South Italy*. 1007-1014. Scopus. <https://doi.org/10.23967/dbmc.2020.213>

- Dueñas, M. E., & Vera, A. I. (2017). *Construction of a floor tile prototype using PET recycled plastics and rice husk, an innovation in Ecuador. 2017-July*. Scopus. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.120>
- Effect of Treatments on Properties of Cement-fiber Bricks Utilizing Rice Husk, Corncob and Coconut Coir. (2017). *Procedia Engineering*, 180, 1266-1273. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.288>
- Eid, J., Taibi, S., Fleureau, J. M., & Hattab, M. (2015). Drying, cracks and shrinkage evolution of a natural silt intended for a new earth building material. Impact of reinforcement. *Construction and Building Materials*, 86, 120-132. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.115>
- Eleftheriadis, S., Duffour, P., & Mumovic, D. (2018). Participatory decision-support model in the context of building structural design embedding BIM with QFD. *Advanced Engineering Informatics*, 38, 695-711. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2018.10.001>
- Enfrin, M., & Giustozzi, F. (2022). Recent advances in the construction of sustainable asphalt roads with recycled plastic. *Polymer International*. Scopus. <https://doi.org/10.1002/pi.6405>
- Enviro Board Corporation | Una solución de construcción natural globalmente sostenible*. (s. f.). Recuperado 5 de septiembre de 2021, de <http://enviroboard.com/>
- Enviroboards. (s. f.). *Total Building Materials*. Recuperado 17 de mayo de 2022, de <https://totalbm.com/enviroboards/>
- Erika, L., Martina, N., & Miriam, O. (2018). *Comparison of materials for building construction and their innovations in terms of sustainable growth*. 177-184. Scopus.

- Fan, Y., Li, S., Li, Y., Liang, H., Tang, M., Huang, K., & Zhu, L. (2021). Recycling of municipal solid waste incineration fly ash in foam ceramic materials for exterior building walls. *Journal of Building Engineering*, 44. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103427>
- Fardos de paja: Un residuo de la agricultura, un nuevo material de construcción para edificios sostenibles—ScienceDirect.* (s. f.). Recuperado 9 de julio de 2021, de <https://www-sciencedirect-com.sibulgem.unilibre.edu.co/science/article/pii/S1876610215023784>
- Faris, F., & Adi, A. D. (2022). HEIGHT RELIABILITY-BASED ANALYSIS OF WOVEN BAMBOO MAT REINFORCED MECHANICALLY STABILIZED EARTH WALL IN TEMPORARY RAILWAY EMBANKMENT. *ASEAN Engineering Journal*, 12(1), 189-196. Scopus. <https://doi.org/10.11113/aej.v12.17320>
- Fatourehchi, D., & Zarghami, E. (2020). Social sustainability assessment framework for managing sustainable construction in residential buildings. *Journal of Building Engineering*, 101761. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101761>
- Foti, D., Voulgaridou, E. E., Karastergiou, S., Taghiyari, H. R., & Papadopoulos, A. N. (2022). Physical and mechanical properties of eco-friendly composites made from wood dust and recycled polystyrene. *Journal of Renewable Materials*, 10(1), 75-88. Scopus. <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.017759>
- Fuentes-García, R., Valverde-Palacios, I., & Valverde-Espinosa, I. (2015a). A new procedure to adapt any type of soil for the consolidation and construction of earthen structures: Projected earth system. *Materiales de Construccion*, 65(319). Scopus. <https://doi.org/10.3989/mc.2015.06614>
- Fuentes-García, R., Valverde-Palacios, I., & Valverde-Espinosa, I. (2015b). A new procedure to adapt any type of soil for the consolidation and construction of earthen structures: Projected

- earth system. *Materiales de Construcción*, 65(319), 063.
<https://doi.org/10.3989/mc.2015.06614>
- Govindan, B., Ramasamy, V., Panneerselvam, B., & Rajan, D. (2022). Performance assessment on bamboo reinforced concrete beams. *Innovative Infrastructure Solutions*, 7(1). Scopus.
<https://doi.org/10.1007/s41062-021-00616-8>
- Grewal, N., Escallon, M., Chaudhary, A., & Hramyka, A. (2019). *INFRASONIC A mycelium-based, earthquake-resistant building proposal in Kathmandu, Nepal*. 234-245. Scopus.
- Grillo, C. C., & Saron, C. (2022). Wood-plastic from Pennisetum Purpureum Fibers and Recycled Low-density Polyethylene. *Journal of Natural Fibers*, 19(3), 858-871. Scopus.
<https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1764436>
- Grow.me by Mediavine*. (s. f.). Recuperado 5 de septiembre de 2021, de <https://app.grow.me/>
- Guillen, J., & Rojas-Valencia, M. N. (2019). Study of the properties of the Echerhirhu-Block made with Opuntia ficus mucilage for use in the construction industry. *Case Studies in Construction Materials*, 10. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00216>
- Gutiérrez, L. M. D. (2017). *Definición de criterios sostenibles para la selección de materiales de viviendas en Bogotá* [Trabajo de Grado Maestría, Universidad Católica de Colombia].
https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15397/1/Monica%20Duran_Definicion%20de%20Criterios%20de%20Sostenibilidad%20.pdf
- Hall, M. R., Lindsay, R., & Krayenhoff, M. (2012). Overview of modern earth building. En *Modern Earth Buildings: Materials, Engineering, Constructions and Applications* (pp. 3-16). Scopus. <https://doi.org/10.1533/9780857096166.1.3>
- Hamada, H. M., Jokhio, G. A., Al-Attar, A. A., Yahaya, F. M., Muthusamy, K., Humada, A. M., & Gul, Y. (2020). The use of palm oil clinker as a sustainable construction material: A

- review. *Cement and Concrete Composites*, 106, 103447.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103447>
- Hamard, E., Cazacliu, B., Razakamanantsoa, A., & Morel, J.-C. (2016). Cob, a vernacular earth construction process in the context of modern sustainable building. *Building and Environment*, 106, 103-119. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.06.009>
- Hamdaoui, S., Bouchikhi, A., Azougagh, M., Akour, M., Ait Msaad, A., & Mahdaoui, M. (2022). Building hollow clay bricks embedding phase change material: Thermal behavior analysis under hot climate. *Solar Energy*, 237, 122-134. Scopus.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.03.073>
- Harja, M., Gencil, O., Sari, A., Sutcu, M., Erdogmus, E., & Hekimoglu, G. (2022). Production and characterization of natural clay-free green building brick materials using water treatment sludge and oak wood ash. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 22(2). Scopus. <https://doi.org/10.1007/s43452-022-00400-0>
- Hoier, P., Hammersberg, P., Klement, U., & Krajnik, P. (2021). *On assessing grindability of recycled and ore-based crankshaft steel: An approach combining data analysis with material science*. 104, 1601-1606. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.270>
- Home. (s. f.). Kodiak Steel Homes. Recuperado 5 de septiembre de 2021, de <https://kodiaksteelhomes.com/>
- Hossain, Md. U., Sohail, A., & Ng, S. T. (2019). Developing a GHG-based methodological approach to support the sourcing of sustainable construction materials and products. *Resources, Conservation and Recycling*, 145, 160-169.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.030>

How Is Ferrock Made? (2020, agosto 9). BuilderSpace. <https://www.builderspace.com/how-is-ferrock-made>

How solar power works—On-grid, off-grid and hybrid systems. (s. f.). CLEAN ENERGY REVIEWS. Recuperado 7 de septiembre de 2021, de <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/2014/5/4/how-solar-works>

How to choose a quality solar panel. (s. f.). CLEAN ENERGY REVIEWS. Recuperado 7 de septiembre de 2021, de <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/best-quality-solar-panels-manufacturers>

Innovation for a Sustainable Low Carbon Built Environment. (2017). *Procedia Engineering*, 180, 16-32. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.161>

Is There an Eco-friendly Spray Foam Insulation? (2015, octubre 14). *BuildDirect Blog: Life at Home*. <https://www.builddirect.com/blog/is-there-an-eco-friendly-spray-foam-insulation/>

Iždinský, J., Vidholdová, Z., & Reinprecht, L. (2021). Particleboards from recycled thermally modified wood. *Forests*, 12(11). Scopus. <https://doi.org/10.3390/f12111462>

Johnson, C. (2016, octubre 4). Timbercrete: An Innovative Building Material to Offset Emissions. *Build Abroad*. <https://buildabroad.org/2016/10/04/timbercrete/>

Karthika, S., Rose, A. L., & Priyadarshini, G. (2021). *Sustainable development on Ferrock mortar cubes*. 2040(1). Scopus. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2040/1/012020>

Kavgic, M., & Abdellatef, Y. (2021). Temperature control to improve performance of hempcrete-phase change material wall assemblies in a cold climate. *Energies*, 14(17). Scopus. <https://doi.org/10.3390/en14175343>

- Kerroum, N., Nouibat, B., Benyahia, A., & Redjem, A. (2018). Study of the performance of adobe brick coated for sustainable construction in the Algerian Sahara. *Materiaux et Techniques*, 106(4). Scopus. <https://doi.org/10.1051/mattech/2018041>
- Keshav, L., Srisanthi, V. G., & Rajkumar, N. (2012). Eco friendly and earthquake resistant building constructed using earth block-an experimental study. *Ecology, Environment and Conservation*, 18(4), 915-923. Scopus.
- Koh, C. H. (Alex), & Kraniotis, D. (2020). A review of material properties and performance of straw bale as building material. *Construction and Building Materials*, 259, 120385. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120385>
- Kumar, P., Gautam, P., Kaur, S., Chaudhary, M., Afreen, A., & Mehta, T. (2021). Bamboo as reinforcement in structural concrete. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.342>
- La construcción con muros de tierra*. (2021, febrero 24). EcoHabitar. <https://ecohabitar.org/la-construccion-con-muros-de-tierra/>
- Li, L., Liu, W., You, Q., Chen, M., & Zeng, Q. (2020). Waste ceramic powder as a pozzolanic supplementary filler of cement for developing sustainable building materials. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120853. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120853>
- Li, Z., Liu, K., Demartino, C., & Xiao, Y. (2022). Use of Bamboo in Constructions. *Springer Tracts in Civil Engineering*, 15-27. Scopus. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91990-0_2
- Liu, L., Zou, S., Li, H., Deng, L., Bai, C., Zhang, X., Wang, S., & Li, N. (2019). Experimental physical properties of an eco-friendly bio-insulation material based on wheat straw for buildings. *Energy and Buildings*, 201, 19-36. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.07.037>

- Lysyannikov, A. V., Egorov, A. V., Lysyannikova, N. N., Shram, V. G., Kovaleva, M. A., Lynev, A. S., & Kaizer, Y. F. (2019). *Polymer materials from recycled plastic in road construction*. 1399(4). Scopus. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/4/044064>
- Maia, S. F. D., & Melo, M. B. F. V. (2013). *Use of the recycled plastic roof main beam in the construction of popular houses: Impact on laborer's health*. 109-112. Scopus.
- Malchiodi, B., Marchetti, R., Barbieri, L., & Pozzi, P. (2022). Recovery of Cork Manufacturing Waste within Mortar and Polyurethane: Feasibility of Use and Physical, Mechanical, Thermal Insulating Properties of the Final Green Composite Construction Materials. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(8). Scopus. <https://doi.org/10.3390/app12083844>
- Marzouk, M., Metawie, M., Hisham, M., Al-Sulahi, I., Kamal, M., & Al-Gahtani, K. (2014). *Modeling sustainable building materials in Saudi Arabia*. 1546-1553. Scopus. <https://doi.org/10.1061/9780784413616.192>
- Massicotte, H. B., Melville, L. H., & Peterson, R. L. (2005). Building a basidiocarp: A case study of *Laccaria* spp. fruitbodies in the extraradical mycelium of *Pinus ectomycorrhizas*. *Mycologist*, 19(4), 141-149. Scopus. <https://doi.org/10.1017/S0269915X05004027>
- McClain, J., Wohlt, J. E., McKeever, K. H., & Ward, P. L. (1997). Horse hair coat cleanliness is affected by bedding material: A comparison of clean and used wheat straw, wood shavings and pelleted newspaper. *Journal of Equine Veterinary Science*, 17(3), 156-160. Scopus. [https://doi.org/10.1016/S0737-0806\(97\)80308-5](https://doi.org/10.1016/S0737-0806(97)80308-5)
- Mercader-Moyano, P., Requena García-de-la-Cruz, M. V., & Yajnes, M. E. (2017). Development of new eco-efficient cement-based construction materials and recycled fine aggregates and EPS from CDW. *Open Construction and Building Technology Journal*, 11, 381-394. Scopus. <https://doi.org/10.2174/1874836801711010381>

- Mills, H. F., Gonzalez, M. G., & Buchhorn, H. (2022). Ternary Shed: An Exemplar Design for Bamboo Construction. *Springer Tracts in Civil Engineering*, 187-198. Scopus. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91990-0_15
- Morley, M. (2017). *Investigating the use of earth tubes for passive cooling and ventilation through thermal modelling. 1*, 330-339. Scopus. <https://doi.org/10.26868/25222708.2017.771>
- Nanostead | Pequeño | Simple | Sostenible*. (s. f.). Recuperado 5 de septiembre de 2021, de <https://nanostead.com/>
- Nassar, M. A., Abdelwahab, N. A., & Elhalawany, N. R. (2009). Contributions of polystyrene to the mechanical properties of blended mixture of old newspaper and wood pulp. *Carbohydrate Polymers*, 76(3), 417-421. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.11.039>
- Nguyen, T.-D., Bui, T.-T., Limam, A., Bui, T.-L., & Bui, Q.-B. (2021). Evaluation of seismic performance of rammed earth building and improvement solutions. *Journal of Building Engineering*, 43. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103113>
- Niveditha, M., Manjunath, Y. M., & Prasanna, S. H. S. (2020). Ferro rock: A carbon negative sustainable concrete. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 11(4), 90-98. Scopus. <https://doi.org/10.30880/ijscet.2021.11.04.008>
- Ofuyatan, O., Olowofoyeku, A., Adaramaja, G., Oluwafemi, J., & Edeki, S. (2020). Potential use of coconut stem as reinforcement in concrete slab. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00355. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00355>
- Orozco, M. E. M., Velázquez-Lozano, J., & Vázquez-Jiménez, M. G. (2020). Thermal behavior of three prototypes in saltillo, coahuila (With earth blocks, concrete and egg cartons).

- Habitat Sustentable*, 10(1), 23-31. Scopus.
<https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.01.02>
- Özdemir, E., Saeidi, N., Javadian, A., Rossi, A., Nolte, N., Ren, S., Dwan, A., Acosta, I., Hebel, D. E., Wurm, J., & Eversmann, P. (2022). Wood-Veneer-Reinforced Mycelium Composites for Sustainable Building Components. *Biomimetics*, 7(2). Scopus.
<https://doi.org/10.3390/biomimetics7020039>
- Parlato, M. C. M., & Porto, S. M. C. (2020). Organized framework of main possible applications of sheep wool fibers in building components. *Sustainability (Switzerland)*, 12(3). Scopus.
<https://doi.org/10.3390/su12030761>
- Pelé-Peltier, A., Fabbri, A., Morel, J.-C., Hamard, E., & Lhenry, M. (2022). A similitude relation to assessing the compressive strength of rammed earth from scale-down samples. *Case Studies in Construction Materials*, 16. Scopus.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00921>
- Potente panel solar casero | Maxeon 5 | SunPower Australia*. (s. f.). Recuperado 7 de septiembre de 2021, de <https://sunpower.maxeon.com/au/solar-panel-products/ac-modules/maxeon-5-ac-modules>
- Potkány, M., Krajčírová, L., & Stasiak-Betlejewska, R. (2021). Use of Target Costing methodology in the construction of wood-aluminium windows—Case study. *Engineering Management in Production and Services*, 13(4), 148-159. Scopus.
<https://doi.org/10.2478/emj-2021-0037>
- Pozo, E. C., López, E. A. R., & Martín, A. L. A. (2005). La interfaz I+D/marketing en las empresas españolas de alta tecnología: Tendencias actuales e implicaciones para el éxito de los

nuevos productos. *Investigaciones europeas de dirección y economía de la empresa*, 11(1), 179-201.

Prašnikar, J., & Škerlj, T. (2006). New product development process and time-to-market in the generic pharmaceutical industry. *Industrial Marketing Management*, 35(6), 690-702. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2005.06.001>

Proceedings of the 1996 Conference on the Use of Recycled Wood and Paper in Building Applications. (1996). Proceedings of the Conference on the Use of Recycled Wood and Paper in Building Applications. Scopus.

Programa LEED® en Colombia – Consejo Colombiano de Construcción Sostenible – CCCS. (s. f.). Recuperado 17 de abril de 2020, de <https://www.cccs.org.co/wp/capacitacion/talleres-de-preparacion-leed/>

Properties of Coconut, Oil Palm and Bagasse Fibres: As Potential Building Materials. (2017). *Procedia Engineering*, 200, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.002>

Qureshi, L. A., Ali, B., & Ali, A. (2020). Combined effects of supplementary cementitious materials (silica fume, GGBS, fly ash and rice husk ash) and steel fiber on the hardened properties of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 263. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120636>

Raamets, J., Lokko, L., Ruus, A., Kalamees, T., & Muoni, K. (2021). *Assessment of moisture and mould of hempcrete and straw panels*. 2069(1). Scopus. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2069/1/012194>

Raavi, S. S. D., & Tripura, D. D. (2021). Predicting the effect of weathering and corrosion on the bond properties of bamboo- and steel-reinforced cement-stabilized rammed earth blocks.

- Advances in Structural Engineering*, 24(14), 3267-3280. Scopus.
<https://doi.org/10.1177/13694332211026222>
- Raavi, S. S. D., & Tripura, D. D. (2022). Evaluating the flexural strength and failure patterns of cement stabilized rammed earth wallettes reinforced with coir, bamboo and steel. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 55(2). Scopus. <https://doi.org/10.1617/s11527-022-01896-x>
- Rahman, N. A., Rong, C. L., & Pin, L. H. (2022). Bamboo Reinforced Concrete Beam. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 215, 497-509. Scopus. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7924-7_32
- Reinprecht, L., & Iždinský, J. (2022). Composites from recycled and modified woods—Technology, properties, application. *Forests*, 13(1). Scopus.
<https://doi.org/10.3390/f13010006>
- Resilience by Design: Can Innovative Processes Deliver More? (2017). *Procedia Engineering*, 180, 7-15. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.160>
- Rodríguez, F., & Fernández, G. (2010). Sustainable engineering: New objectives for construction projects. *Revista Ingenieria de Construccion*, 25(2), 147-160. Scopus.
- Rojas-Valencia, M. N., & Bolaños, E. A. (2016). Sustainable adobe bricks with construction wastes. *Proceedings of Institution of Civil Engineers: Waste and Resource Management*, 169(4), 158-165. Scopus. <https://doi.org/10.1680/jwarm.16.00014>
- Roy, M., & Mandal, S. (2020). Constructing a PV-Integrated Permanent Bamboo Building – An Experience. En S. Hashmi & I. A. Choudhury (Eds.), *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials* (pp. 50-57). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11663-7>

- Samadi, M., Huseien, G. F., Mohammadhosseini, H., Lee, H. S., Abdul Shukor Lim, N. H., Tahir, M. M., & Alyousef, R. (2020a). Waste ceramic as low cost and eco-friendly materials in the production of sustainable mortars. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121825. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121825>
- Samadi, M., Huseien, G. F., Mohammadhosseini, H., Lee, H. S., Abdul Shukor Lim, N. H., Tahir, M. M., & Alyousef, R. (2020b). Waste ceramic as low cost and eco-friendly materials in the production of sustainable mortars. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121825. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121825>
- Sánchez-Garrido, A. J., & Yepes, V. (2020). Multi-criteria assessment of alternative sustainable structures for a self-promoted, single-family home. *Journal of Cleaner Production*, 258. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120556>
- Santi, S., Pierobon, F., Corradini, G., Cavalli, R., & Zanetti, M. (2016). Massive wood material for sustainable building design: The Massiv–Holz–Mauer wall system. *Journal of Wood Science*, 62(5), 416-428. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s10086-016-1570-7>
- Schneider, H., & Samaniego, J. (s. f.). *La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*. 46.
- Scopus—Document details. (s. f.-a). Recuperado 31 de agosto de 2020, de <https://www-scopus-com.sibulgem.unilibre.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85077823418&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=sustainable+building+material&nlo=&nlr=&nls=&sid=564719cba0bf0c787a0af9d92a00abd4&sot=b&sdt=b&sl=36&s=TITLE%28sustainable+building+material%29&relpos=23&citeCnt=0&searchTerm=>

Scopus—Document details. (s. f.-b). Recuperado 31 de agosto de 2020, de <https://www-scopus-com.sibulgem.unilibre.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85070406019&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=sustainable+building+material&nlo=&nlr=&nls=&sid=564719cba0bf0c787a0af9d92a00abd4&sot=b&sdt=b&sl=36&s=TITLE%28sustainable+building+material%29&relpos=35&citeCnt=0&searchTerm=>

Scopus—Document details. (s. f.-c). Recuperado 31 de agosto de 2020, de <https://www-scopus-com.sibulgem.unilibre.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85089019925&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=sustainable+building+material&nlo=&nlr=&nls=&sid=564719cba0bf0c787a0af9d92a00abd4&sot=b&sdt=b&sl=36&s=TITLE%28sustainable+building+material%29&relpos=46&citeCnt=0&searchTerm=>

Scopus—Document details. (s. f.-d). Recuperado 31 de agosto de 2020, de <https://www-scopus-com.sibulgem.unilibre.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85055740038&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=sustainable+building+material&nlo=&nlr=&nls=&sid=564719cba0bf0c787a0af9d92a00abd4&sot=b&sdt=b&sl=36&s=TITLE%28sustainable+building+material%29&relpos=29&citeCnt=1&searchTerm=>

Scopus—Document details. (s. f.-e). Recuperado 31 de agosto de 2020, de <https://www-scopus-com.sibulgem.unilibre.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85049354164&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=sustainable+building+material&nlo=&nlr=&nls=&sid=564719cba0bf0c78>

7a0af9d92a00abd4&sot=b&sdt=b&sl=36&s=TITLE%28sustainable+building+material%29&relpos=58&citeCnt=16&searchTerm=

Scopus—Document details—Recycling of raw corn cob residues as an agricultural waste material for ammonium removal: Kinetics, isotherms, and mechanisms. (s. f.). Recuperado 17 de mayo de 2022, de https://www-scopus-com.sibulgem.unilibre.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-84896965649&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=agricultural+residue+waste+material&sid=11122215f6190335c9c7f6410512758b&sot=b&sdt=b&sl=42&s=TITLE%28agricultural+residue+waste+material%29&relpos=0&citeCnt=4&searchTerm=&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAIL_S_EXPORT:1

Scopus—Document details—Study on application of straw as landscape wall construction material. (s. f.). Recuperado 17 de mayo de 2022, de https://www-scopus-com.sibulgem.unilibre.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85009080453&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=construction+material+straw&sid=94d888d211539eb0165d23f9c465ab2c&sot=b&sdt=b&sl=34&s=TITLE%28construction+material+straw%29&relpos=9&citeCnt=0&searchTerm=&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1

Shantveerayya, K., Mahesh, K. C. L., Shwetha, K. G., Jima, F., & Fufa, K. (2022). Performance Evaluation of Hollow Concrete Blocks Made with Sawdust Replacement of Sand: Case Study of Adama, Ethiopia. *International Journal of Engineering Transactions C: Aspects*, 35(6). Scopus. <https://doi.org/10.5829/ije.2022.35.06c.03>

- Shi, S. Q. (2013). Wood, the best material for sustainable building design. *Wood and Fiber Science*, 45(3), 235-236. Scopus.
- Silva, E. J. da, Marques, M. L., Velasco, F. G., Fornari Junior, C., Luzardo, F. M., & Tashima, M. M. (2017). A new treatment for coconut fibers to improve the properties of cement-based composites – Combined effect of natural latex/pozzolanic materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 12, 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2017.04.003>
- Silvestre, J. D., Pargana, N., De Brito, J., Pinheiro, M. D., & Durão, V. (2016). Insulation cork boards-environmental life cycle assessment of an organic construction material. *Materials*, 9(5). Scopus. <https://doi.org/10.3390/ma9050394>
- Solahuddin, B. A. (2022). A Review on Structural Performance of Bamboo Reinforced Concrete. *Materials Science Forum*, 1056 MSF, 75-80. Scopus. <https://doi.org/10.4028/p-dx1x87>
- Solar Panels | Guide to Buying Solar*. (s. f.). CLEAN ENERGY REVIEWS. Recuperado 7 de septiembre de 2021, de <https://www.cleanenergyreviews.info/solar-panels>
- Sridhar, J., Gobinath, R., & Kırgız, M. S. (2022). Comparative study for efficacy of chemically treated jute fiber and bamboo fiber on the properties of reinforced concrete beams. *Journal of Natural Fibers*. Scopus. <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2054894>
- Straw bale: A Waste from Agriculture, a New Construction Material for Sustainable Buildings. (2015). *Energy Procedia*, 78, 297-302. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.646>
- SunPower Solar Panels Review 2021*. (s. f.). CLEAN ENERGY REVIEWS. Recuperado 7 de septiembre de 2021, de <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/sunpower-solar-panels-review>
- Tahmoorian, F., & Yeaman, J. (2018). *Utilizing plastic for pretreating recycled construction aggregate to eliminate binder absorption in asphalt mixture*. 5(2). Scopus.

- Tang, Z., Li, W., Tam, V. W. Y., & Xue, C. (2020). Advanced progress in recycling municipal and construction solid wastes for manufacturing sustainable construction materials. *Resources, Conservation & Recycling: X*, 6, 100036. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2020.100036>
- Temga, J. P., Mazzù, A., Nguetnkam, J. P., Palazzini, D., Ndjouenkeu, R., & Vitali, F. (2014). Valorisation of crude earth as sustainable building material: A case of international cooperation in the Logone Valley (Chad-Cameroon). *International Journal of Sustainable Engineering*, 7(3), 222-234. Scopus. <https://doi.org/10.1080/19397038.2013.807886>
- Terai, M. (2022). AGING OF BAMBOO-REINFORCED CONCRETE AFTER 10-YEAR OUTDOOR AND UNDER-GROUND EXPOSURE. *AIJ Journal of Technology and Design*, 28(68), 30-35. Scopus. <https://doi.org/10.3130/aijt.28.30>
- The house made of hemp*. (2010, diciembre 1). New Atlas. <https://newatlas.com/first-us-hemp-house/17115/>
- Tiza, T. M., Singh, S. K., Kumar, L., Shettar, M. P., & Singh, S. P. (2021). Assessing the potentials of Bamboo and sheep wool fiber as sustainable construction materials: A review. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.322>
- Tola, A. (2014). Bio-construction and renewable raw materials: The case of cork. En *Pathways to Environmental Sustainability: Methodologies and Experiences* (pp. 137-146). Scopus. https://doi.org/10.1007/978-3-319-03826-1_14
- Top 10 Solar Panels—Latest Technology 2021*. (s. f.). CLEAN ENERGY REVIEWS. Recuperado 7 de septiembre de 2021, de <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/2017/9/11/best-solar-panels-top-modules-review>

- Tripura, D. D., Gupta, S., Debbarma, B., & Deep, R. S. S. (2020). Flexural strength and failure trend of bamboo and coir reinforced cement stabilized rammed earth wallettes. *Construction and Building Materials*, 242. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117986>
- Tu, J. (2018). Application of recycled plastic building materials in modern home design. *Hecheng Shuzhi Ji Suliao/China Synthetic Resin and Plastics*, 35(6), 100-102. Scopus.
- Umniati, B. S., Sulton, M., Sulaksitaningrum, R., Abdullah, M. M. A. B., & Muhtadi, S. (2021). *Mechanical characteristics of bamboo reinforced concrete precast column, a numerical analysis*. 2447. Scopus. <https://doi.org/10.1063/5.0072834>
- Unterrainer, W. (2018). *Wood – A sustainable building material?* 216379. Scopus. https://doi.org/10.5176/2301-394X_ACE18.43
- Vallas, T., & Courard, L. (2017). Using nature in architecture: Building a living house with mycelium and trees. *Frontiers of Architectural Research*, 6(3), 318-328. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.05.003>
- Venkatarama Reddy, B. V., & Sri Bhanupratap Rathod, R. (2022). Influence of interlayer shear studs on the behaviour of cement stabilised rammed earth under compression, tension and shear. *Journal of Building Engineering*, 49. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104096>
- Vijayan, D. S., Dineshkumar, Arvindan, S., & Janarthanan, T. S. (2020). *Evaluation of ferrock: A greener substitute to cement*. 22, 781-787. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.10.147>
- Villamizar, M. C. N., Araque, V. S., Reyes, C. A. R., & Silva, R. S. (2012). Effect of the addition of coal-ash and cassava peels on the engineering properties of compressed earth blocks.

- Construction and Building Materials*, 36, 276-286. Scopus.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.056>
- Vitolina, S., Shulga, G., Neiberte, B., Jaunslavietis, J., Verovkins, A., & Betkers, T. (2022). Characteristics of the Waste Wood Biomass and Its Effect on the Properties of Wood Sanding Dust/Recycled PP Composite. *Polymers*, 14(3). Scopus.
<https://doi.org/10.3390/polym14030468>
- Wairagade, V. R., & Sonar, I. P. (2022). Bamboo-Reinforced Concrete Lintel—A Sustainable Approach. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 172, 317-328. Scopus.
https://doi.org/10.1007/978-981-16-4396-5_29
- Wang, Y., Feng, Y., Zhang, B., & Yang, Y. (2021). Experimental study on seismic performance of bamboo mesh and cement mortar reinforced rammed earth wall. *World Earthquake Engineering*, 37(3), 104-110. Scopus.
- Ward, P. L., Wohlt, J. E., & Katz, S. E. (2001). Chemical, physical, and environmental properties of pelleted newspaper compared to wheat straw and wood shavings as bedding for horses. *Journal of Animal Science*, 79(6), 1359-1369. Scopus.
<https://doi.org/10.2527/2001.7961359x>
- Ward, P. L., Wohlt, J. E., Zajac, P. K., & Cooper, K. R. (2000). Chemical and physical properties of processed newspaper compared to wheat straw and wood shavings as animal bedding. *Journal of Dairy Science*, 83(2), 359-367. Scopus. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74887-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74887-9)
- Wongsa, A., Kunthawatwong, R., Naenudon, S., Sata, V., & Chindaprasirt, P. (2020). Natural fiber reinforced high calcium fly ash geopolymer mortar. *Construction and Building Materials*, 241, 118143. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118143>

- Xing, Y., Brewer, M., El-Gharabawy, H., Griffith, G., & Jones, P. (2018). *Growing and testing mycelium bricks as building insulation materials*. 121(2). Scopus. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/121/2/022032>
- Xu, X., Xu, P., Zhu, J., Li, H., & Xiong, Z. (2022). Bamboo construction materials: Carbon storage and potential to reduce associated CO₂ emissions. *Science of the Total Environment*, 814. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152697>
- Yamasue, E., Minamino, R., Tanikawa, H., Daigo, I., Okumura, H., Ishihara, K. N., & Brunner, P. H. (2013). Quality evaluation of steel, aluminum, and road material recycled from end-of-life urban buildings in Japan in terms of total material requirement. *Journal of Industrial Ecology*, 17(4), 555-565. Scopus. <https://doi.org/10.1111/jiec.12014>
- Yathushan, K., Kishok, S., Thevarajah, B. E., & Nithurshan, M. (2021). *Bamboo cane as an alternative reinforcement in reinforced concrete beam*. 154-159. Scopus. <https://doi.org/10.1109/MERCon52712.2021.9525805>
- Zaffar, S., Kumar, A., Memon, N. A., Kumar, R., & Saand, A. (2022). Investigating Optimum Conditions for Developing Pozzolanic Ashes from Organic Wastes as Cement Replacing Materials. *Materials*, 15(6). Scopus. <https://doi.org/10.3390/ma15062320>
- Zhang, X., Hu, J., Fan, X., & Yu, X. (2022). Naturally grown mycelium-composite as sustainable building insulation materials. *Journal of Cleaner Production*, 342. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130784>
- Zheng, B., Hu, C., Guan, L., Gu, J., Guo, H., & Zhang, W. (2019). Structural characterization and analysis of high-strength laminated composites from recycled newspaper and HDPE. *Polymers*, 11(8). Scopus. <https://doi.org/10.3390/polym11081311>

Zimele, Z., Irbe, I., Grinins, J., Bikovens, O., Verovkins, A., & Bajare, D. (2020). Novel mycelium-based biocomposites (Mbb) as building materials. *Journal of Renewable Materials*, 8(9), 1067-1076. Scopus. <https://doi.org/10.32604/jrm.2020.09646web>

Webgrafía

Biblioteca digital. (s/f). Edu.Co Adaptado de <https://repository.cesa.edu.co/>

Consejo Colombiano de Construcción Sostenible – CCCS – Liderando el desarrollo sostenible de la industria de la construcción. (s/f). Org.co Adaptado de <https://www.cccs.org.co/>

Eficiencia energética y energía solar en Colombia. (s/f). Celsia.com Adaptado de <https://blog.celsia.com/new/>

enero. (s/f). Solución Solar & Led. Blogspot.com Adaptado de <https://solucionsolarled.blogspot.com/>

Environmental XPRT - the Environmental Industry online. (s/f). Environmental-expert.com Adaptado de <http://www.environmental-expert.com/>

Le proporcionamos las herramientas cómodas y gratuitas para publicar y compartir la información. (s/f). Docplayer.Es Adaptado de <http://docplayer.es/>

Revistas Universidad Externado de Colombia. (s/f). Edu.co Adaptado de <https://revistas.uexternado.edu.co>
Universidad El Bosque. (s/f). Repositorio institucional. Universidad El Bosque Adaptado de <https://repositorio.unbosque.edu.co/>

Universidad Sergio Arboleda. (s/f). Universidad Sergio Arboleda Adaptado de <https://www.usergioarboleda.edu.co/>

(S/f). Blogspot.com Adaptado de <http://dhticsalumnos.blogspot.com/>