



UNIVERSIDAD INTERCULTURAL INDÍGENA DE MICHOACÁN
POSGRADO EN INGENIERÍA PARA LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA

UNIDAD ACADÉMICA
PÁTZCUARO

TÍTULO DE TESIS

Evaluación físico-térmica de la funcionalidad del sargazo (*Sargassum Natans*) como
material propuesto para un sistema constructivo alternativo

TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA PARA LA SOSTENIBILIDAD
ENERGÉTICA

PRESENTA:
Ing. Abraham Custodio Hernández

Director de Tesis
M.C. Mario Morales Máximo

Codirector de Tesis
Dr. Luis Bernardo López Sosa

Pátzcuaro, Michoacán Diciembre 2022.

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	iv
RESUMEN EN PURÉPECHA	v
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema.	2
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivo General	3
1.3.1. Objetivos específicos	3
1.4. Hipótesis	3
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO	4
2.1. La vivienda sustentable	4
2.2. Diseño sustentable	5
2.3. El diseño Bioclimático	7
2.4. La Sustentabilidad	8
2.4.1. La Energía Renovable	9
2.4.2. La ecotecnología	10
2.5. Técnicas de caracterización para materiales constructivos	11
2.5.1. Acondicionamiento térmico de sistemas constructivos (W/m^2)	12
2.5.2. Propiedades acústicas	13
2.5.3. Propiedades mecánicas	15
2.6. El Confort térmico	16
2.7. Materiales sostenibles para bioconstrucción	17
2.7.1. La madera	18
2.7.2. El sargazo	19
2.8. Clasificación y utilización actual del sargazo	21
2.9. El sargazo como propuesta para la vivienda	23
2.10. Propiedades físicas del sargazo	24
CAPÍTULO 3 MATERIALES Y MÉTODOS	26
Diagrama metodológico	26
3.1. Población o universo / muestra y recolección	26
3.1.1. Recolección, secado y molienda del sargazo	27

3.1.2. Mezcla del sargazo para análisis.	28
3.2. Experimentación	28
3.2.1. Materiales constructivos a escala	28
3.2.1.1. Identificación del cemento	29
3.2.1.2. Formulación de mezclas Cemento y Cemento-Sargazo.	29
3.2.2. Evaluación térmica.	30
3.2.3. Análisis de gradiente de Temperatura de los materiales constructivos.	31
3.2.4. Evaluación termográfica	32
3.3. Diseño y simulación	33
3.3.1. Diseño computacional de la vivienda propuesta.	33
3.3.2. Simulación térmica en Solid Works	35
3.3.3. Simulación mecánica	35
3.3.4. Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	36
3.3.5. Render de la vivienda propuesta	36
CAPÍTULO 4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	37
4.1 Simulación térmica y experimental	37
4.4. Análisis del ciclo de vida	51
4.4. Análisis mecánico	52
4.6. Renders	53
CONCLUSIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	55

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

Figura 2.1. Techos Verdes en Alemania.	4
Figura 2.2. Chozo de barro y caña, Tihama, Yemen..	6
Figura 2.3. Bioconstrucción y principios bioclimáticos .	8
Figura 2.4. Orquideorama..	9
Figura 2.5. Artesanos indígenas Sampués, Sucre, Colombia.	11
Figura 2.6. Arreglo experimental para el conocimiento de propiedades optotérmicas, utilizando pellets.	12
Figura 2.7. Absorción Acústica.	14
Figura 2.8. Los tubos de impedancias (tubos de Kundt), son sistemas para el estudio y obtención de las propiedades acústicas de los materiales ensayados..	14
Figura 2.9. Máquina universal.	15
Figura 2.10. Dispositivo de flexión colocado en la máquina universal Zwick Z050.	16
Figura 2.11. Máquina para tensión, Maquina INSTRON® 3369.	16
Figura 2.12. Vista de la resina de pino	19
Figura 2.13. Gran cantidad de sargazo a punto de llegar a la Cancún y La Riviera Maya.	20
Figura 2.14. Características morfológicas de las especies de <i>Sargassum</i> analizadas.	21
Figura 2.15. Mejoran cultivos de cacao con sargazo.	22
Figura 2.16. Las algas <i>Sargassum</i> se pueden usar como fertilizante o composta en el jardín, según el Jefe de Conservación y Pesca en funciones de BVI, Mervin Hastings.	23
Figura 2.17. Casa construida con adobe y sargazo	24
Figura 2.18. <i>Sargassum fluitans</i> (A) y detalle de los aerocistos de <i>Sargassum natans</i> (B). <i>S. fluitans</i> presenta aerocistos desprovistos de espinas y dotados de un pedúnculo corto por el que se unen al caulóide del talo, en cambio <i>S. natans</i> está dotada de aerocistos espiculados con pedúnculos largos.	24
Figura 2.19. Sargazo seco.	25

CAPÍTULO 3 MATERIALES Y MÉTODOS

Figura 3.1. Diagrama metodológico.	26
Figura 3.2. Zona de recolección de sargazo, Cancún Quintana Roo, también conocida como la península de Yucatán, México.	27
Figura 3.3. Recolección de muestras de sargazo.	27
Figura 3.4. Lavado con agua destilada y secado a interperie de sargazo..	28
Figura 3.5. Triturado y cribado de sargazo..	28
Figura 3.6. Cubo de concreto de 10x10 cms con un espesor de 2 cm.	29
Figura 3.7. Pastillas para medición con SUMs	30

Figura 3.8. Irradiancia indirecta con lámpara de 200 W.	31
Figura 3.9. Obtención de datos térmicos e irradiancia solar mediante SUM's	32
Figura 3.10 Arreglo experimental completo..	33
Figura 3.11. Materiales de los prototipos.	34

CAPÍTULO 4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Figura 4.1. Prototipos de bloques de construcción.	37
Figura 4.2 Arreglo experimental.	38
Figura 4.3 Análisis de prototipos.	39
Figura 4.4 Llenado de cilindros y lectura de datos.	40
Figura 4.5 Conductividad térmica.	41
Figura 4.6. Resistividad térmica.	41
Figura 4.7 Análisis del gradiente de temperatura en los pellets (°C).	42
Figura 4.8 Simulación térmica del prototipo 1 (madera).	43
Figura 4.9 Simulación térmica del prototipo 2 (cemento).	44
Figura 4.10 Simulación térmica del prototipo 3 (ladrillo).	46
Figura 4.11 Simulación térmica del prototipo 4 (sargazo).	48
Figure 4.12 Simulación térmica en ladrillos..	49
Figura. 4.13 Gradiente de temperatura en el interior de las tres viviendas analizadas.	50
Figura 4.14 Análisis del ciclo de vida.	51
Figura 4.15 Simulación del comportamiento mecánico de muros de viviendas con revestimientos.	52
Figura 4.16. Deformaciones realizadas.	53
Figura 4.17 Render de habitación.	53

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

Tabla 2.1. Parámetros físico-térmicos usados en simulaciones.	13
Tabla 2.2. Volumen de sargazo pelágico removido de playas seleccionadas en cinco municipios de Quintana Roo, México, en agosto de 2015.	19
Tabla 2.3. Resultado de propiedades térmicas del sargazo.	25

CAPÍTULO 3 MATERIALES Y MÉTODOS

Tabla 3.1 Dosificación del Sargazo en un m ³ de cemento.	29
Tabla 3.2 Porcentajes de concentración de Cemento-Sargazo en pastillas.	30
Tabla 3.3 Identificación de parámetros	35

CAPÍTULO 4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Tabla 4.1 Resultados de Conductividad y Resistividad con ibutton.	40
Tabla 4.2 Propiedades del material de cemento.	43
Tabla 4.3 Cargas térmicas del material de cemento.	44
Tabla 4.4 Propiedades del material de ladrillos de arcilla.	45
Tabla 4.5 Cargas térmicas del ladrillo de arcilla.	45
Tabla 4.6 Propiedades del material de sargazo-cemento.	46
Tabla 4.7 Cargas térmicas del material sargazo.	46

RESUMEN

En los últimos años, la afluencia de *Sargassum* spp. en las costas del Caribe Mexicano ha ido en aumento, generando afectaciones en las zonas hoteleras de lugares turísticos, y se han hecho estudios recientemente en los que se ha descubierto que contiene un alta cantidad de calcita, la cual sirve para la elaboración de cemento Portland quiere decir que se puede utilizar con otros materiales constructivos y como es una fibra tiene propiedades térmicas esto ayuda a mantener una temperatura equilibrada entre el interior y exterior, con esta eco tecnología podríamos tener un material para el desarrollo casas o inmuebles con un diseño bioclimático sostenible, disminuyendo así el impacto a la naturaleza. En las propiedades constructivas a esta alga se observa que a mayor concentración de sargazo hay mayor conductividad siendo el punto más alto con 70% de esta concentración en una mezcla con cemento.

Palabras clave: *Sargassum*, diseño, sostenibilidad, térmico, ecotecnología, conductividad.

ABSTRACT

In recent years, the influx of *Sargassum* spp. on the coasts of the Mexican Caribbean it has been increasing, generating affectations in the hotel zones of tourist places, and recent studies have been carried out in which it has been discovered that it contains a high amount of calcite, which is used for the elaboration of Portland cement it means that it can be used with other construction materials and as it is a fiber it has thermal properties this helps to maintain a balanced temperature between the interior and exterior, with this eco technology we could have a material for the development of houses or buildings with a sustainable bioclimatic design , thus reducing the impact on nature. In previous studies, it was discovered that sargassum contains large amounts of calcite, which is used for the manufacture of Portland cement, this is another reason to attribute constructive properties to this algae. In terms of results, it is observed that the higher the concentration of sargassum, the greater the conductivity. being the highest point with 70% of this concentration in a mixture with cement.

Keywords: *Sargassum*, design, sustainability, thermal, ecotechnology, conductivity.

RESUMEN EN PURÉPECHA

Arhi wéxurhinichani, inte witsakua enka japontarhu tájtsíkuni antarajka, winhamu etsajtsíkurhapasti ka yámintuechanisĩ wantanhiaatani jati. K'oru no yónisti enka eraerarhenhantaka ka xenhantani eska chuperi kurhirakua jataarhaska, enteni engaksi tsĩntsĩricha úrajka ka eska úsínka mamaru jásĩ kutsari jinkoni jewetanhani ka tsĩntsĩrakuarhu marhotanhani. Ka tamu takimesti jimposĩ ts'írharhi o aparekorhekwa no újti inchaakuni, ka niárani inteni úrani nóteru ampe wétarhiati k'umanchikuechani jatsinharhitani, kostiasĩ ampe o sánteru kurhirakua ampe. Jimajkani ampakiti tsĩntsĩratarakwa maesti, inte jás witsakua kánikwa chupentaati niárani cementu jinkoni tayanhanhane.

Wémukuecha: *Itsĩru anapu witsakua*, kantsakua, terukuntskua, takimeti, ecotecnología, pájtamati.

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Introducción

El material reciclado es una necesidad obligatoria para cada nación, y los residuos producidos en una sociedad muchas veces pueden ser, procesados y reutilizados para mitigar el abundamiento de desechos [1]. Pero, así como el hombre produce residuos, la naturaleza los genera también y muchas veces estos son recogidos, y quemados, o recopilados aglutinados juntamente con la basura común y llevados a un mismo sitio sin catalogar y darle un diferente tratamiento. Generalmente los residuos pueden estar catalogados clasificados en materia orgánica e inorgánica [2].

Por otro lado, los elementos de la materia orgánica aún tienen sus propiedades naturales y por lo tanto son biodegradables sin tener la necesidad de recurrir al uso de procesos más elaborados, la descomposición es solo cuestión de tiempo, además la armonía con la que simpatizan con el medio ambiente las convierte en materiales sostenibles, y si las características son las adecuadas pueden ser implementadas en diferentes procesos de la vida cotidiana, incluso en la construcción[3].

El sargazo es una macroalga marina del género *Sargassum* que forma parte de la flora oceánica de regiones tropicales y subtropicales y está compuesto por las especies *S. natans*. Se encuentra generalmente en el Giro Subtropical del Océano Atlántico Norte, se considera que las corrientes dominantes de este giro crean un vórtice que arrastra grandes cantidades de sargazo. Debido a su alta alfluencia en los últimos años, el sargazo afecta a más de 20 países en las playas del Caribe y en los últimos 5 años a estado incrementando el arribo, considerado como desastre natural y se prevé que para el siguiente año aumente en 5.8 veces más[4].

Además amenaza a regiones de África y Europa, y se estima que se extienda hacia el Atlántico, desde el Mar de los Sargazos a islas Azores, Cabo Verde, Mar del Norte y el peñón de Gibraltar[5]. Adicional a la extensión mundial que ha presentado el sargazo, es importante evaluar que el volumen presenta cifras históricas. Visto a nivel de Playas, destacan como las más afectadas las Islas Vírgenes Británicas, Seychelles, Indonesia, Guadalupe, Florida, Martinica y Yucatán (éste Estado de la República Mexicana con diversos frentes afectados) [6].

Las zonas hoteleras y comunidades afectadas se están poniendo de acuerdo para remover el material de sus playas, inclusive en México se anunció una inversión de 52 millones de pesos. Y la Asociación de Hoteles de Cancún y Puerto Morelos dijo que iban a invertir 716 millones de pesos en limpieza. En Julio del 2015, hubo la arribazón masiva de algas y la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Quintana Roo (SEMA) tuvo que hacer la contratación de maquinaria y 4404 obreros para remover el sargazo de 74.6 de km. de playa en cinco municipios [7].

1.1. Planteamiento del problema.

Debido a la afluencia del sargazo pelágico a las costas del caribe mexicano desde el 2015 cuando se intensificó la presencia de esta alga en las playas de México [8], comenzaron a buscarse estrategias de remoción y aprovechamiento para mitigar los efectos negativos [9][10], en este sentido, ha cobrado relevancia la valorización del sargazo para de alguna forma también incentivar la economía local que se ha visto afectada a causa de la presencia del sargazo en las zonas turísticas.

Una de estas aplicaciones novedosas es utilizar el sargazo para actividades vinculadas a la ingeniería civil, en procesos constructivos. Y aunque recientemente se ha explorado en ese tema [11], aún faltan por sistematizarse procesos y lograr su validación. Una pregunta que se busca satisfacer con la presente investigación es respecto a si ¿es viable el uso del sargazo como material de biocostrucción? Y aunque la respuesta no es trivial, de forma conceptual se anticipan dos cuestiones ambientales son de relevancia y se asumen como problemas contemporáneos; el primero, es la afluencia masiva del sargazo a las costas del caribe, y el segundo la búsqueda de estrategias de mitigación ambiental asociadas a la producción del cemento. Por lo que este tema resulta de interés regional, pero tiene un enfoque de atención a problemáticas globales, que se enmarcan también dentro de las 169 metas que se agrupan en los 17 objetivos del desarrollo sostenible de la agenda 2030 [12].

1.2. Justificación

Se tiene que considerar el desastre natural que provoca el alga (Sargazo) disminuyendo su impacto porque no solo es problema de Quintana Roo sino también Yucatán y en toda la extensión que alcanza el mar caribe. Al contabilizar la cantidad del sargazo acumulado en todas las costas mexicanas asciende a millones de toneladas [4].

El monto de erogaciones económicas para la remoción del sargazo es considerable y hasta la fecha no ha habido estudio para utilizarlo técnicamente, pudiendo así emplearlo de forma masiva y en lugar que sea un gasto sea una inversión y obtener un material sostenible para atraer interesados y cambiar este desastre natural en materia prima de un material constructivo [6].

La producción de cemento emite el 42 toneladas métricas de CO₂ del mundo, así mismo con esta investigación se podría abonar a la reducción de estas emisiones.

Se espera que con el diseño y simulación se pueda resolver todos los problemas planteados y comenzar a tener una nueva propuesta de construcción de lineamientos modulares.

1.3. Objetivo General

Determinar la viabilidad termo-mecánica del uso del *Sargassum natans* como material de construcción, a partir de su procesamiento e incorporación en matrices con cemento portland, para evaluar su posible implementación en viviendas de pequeñas dimensiones.

1.3.1. Objetivos específicos

1. Evaluar las propiedades térmicas del *Sargassum natans* (sargazo) para determinar su viabilidad de aislamiento térmico en matrices de cemento portland para validar su posible uso en sistemas constructivos.
2. Realizar un análisis de diseño constructivo para validar las propiedades mecánicas funcionales de la mezcla sargazo-cemento.
3. Analizar el impacto ambiental del material propuesto a través del diseño por computadora de sistemas constructivos de pequeñas dimensiones considerando matrices de cemento portland y sargazo.

1.4. Hipótesis

El uso del sargazo en matrices de cemento portland como material compuesto, puede generar propiedades térmicas aceptables bajo normativa de la construcción para la edificación de viviendas de pequeñas dimensiones. Que aunado al desempeño de las propiedades mecánicas y la posible reducción del impacto ambiental por el uso de esta alga, hacen funcional su uso en la bioconstrucción.

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

2.1. La vivienda sustentable

Los términos bioconstrucción y construcción sostenible muchas veces son utilizadas como complementarias una de otra, la construcción sostenible se enfoca en los temas, ecológicos, sociales y económicos del lugar donde se implementan, y la bioconstrucción es un peldaño de piedra dirigiéndose a lo que se conoce como desarrollo sostenible, cuyo propósito es satisfacer las necesidades del presente sin estar a expensas de las necesidades de las generaciones futuras [13]. En muchos países se han propuesto reducir sus emisiones de CO₂, que son emitidas por fábricas, minerías, transporte y una gran parte de los procedimientos constructivos, ya sea de uso comercial o habitacional, los desechos y emisiones que son generadas en la construcción ha incrementado de un 20% a un 40%, [14] citado por (Mattoni et al., 2017) [15]. Según datos de la Agenda 2030 objetivo 13 (acción por el clima) las emisiones de CO₂ han aumentado un 50% desde 1990, lo que provoca incrementos de temperatura y por ende calentamiento global. La disminución de los glaciares es de proporciones alarmantes, se mide desde los km² que desaparecen y el aumento del nivel de agua oceánica, en los acuerdos de la Agenda se dijo que se pretende reducir hasta dos grados centígrados la temperatura media mundial. Como meta del objetivo 15 es velar por la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas. De ahí cabe señalar las propuestas de desaceleración de las construcciones convencionales y optar por otras más amigables con el medio ambiente. (Objetivos a un desarrollo sostenible Agenda 2030), Ver Figura 2.1.



Figura 2.1. Techos Verdes en Alemania. Fuente [21]

La bioconstrucción es un proceso basado en los principios de construcción sostenible los cuales abordan temas sociales, económicos y ecológicos. Estas edificaciones están diseñadas y construidas con la menor aplicación de energía y uso de recursos limitado que una construcción tradicional, ayudando a minimizar los impactos en el ambiente [16].

De acuerdo con (Hu et al., 2014) [16] opinan que la bioconstrucción y construcción sostenible crea especificaciones técnicas de construcción que fomenta el uso de materiales y mano de obra locales evitando así el disturbio del traslado de recursos externos, mejorando el funcionamiento de los ecosistemas locales, regionales y globales estos beneficios son durante y después del proceso de edificación, además las especificaciones requieren que tengan cierto tiempo de funcionamiento para que el proyecto pueda ser factible [17].

Para la bioconstrucción resulta más difícil el diseño que una construcción convencional, porque se consideran en muchas ocasiones materiales que jamás se han utilizados o crear sistemas constructivos para dichos materiales, ahora para esto se necesita crear un equipo de diseño que resuelve cada aspecto que involucra este nuevo material y/o sistema. Es un proceso holístico e íntegro, que investiga cada detalle a profundidad y tiene como características 3 aspectos generales, la iluminación natural, materiales amigables con el medio ambiente libre de elementos tóxicos y con un diseño de eficiencia energética mejorada como puede ser la orientación o su ventilación natural [18].

2.2. Diseño sustentable

El diseño es un campo integrador y generador de conocimiento que se caracteriza por ser un proceso creativo, estratégico y de innovación [19].

El diseño puede contribuir al desempeño eficiente de un individuo, una empresa o una sociedad, para su bienestar y desarrollo competitivo, sea para un servicio o un producto. En el caso de la construcción sostenible existen varios factores que influyen en la toma de decisión para tener un desempeño eficiente, ahora al momento de atender al llamado de un material alternativo es aún más complicado ya que el producto en cuestión tiene que ser analizado y caracterizado para saber las propiedades necesarias para el uso en la construcción, y después de eso buscar el método constructivo para poderlo llevar a cabo. El diseño propone que la sociedad se involucre para que tanto el solicitante como el planificador, concilien necesidades o solicitudes y factibilidades o próósitos y así tener una estrategia para impulsar la competitividad y el desarrollo sostenible [18].

Para poder diseñar una construcción pueden influir varios factores, pero de todos se pueden destacar tres:

1. Lugar: el entorno donde estará ubicada y el tipo de suelo o geología [20].
2. Uso que se le dará, para tener una satisfacción eficiente dependiendo en lo que se pueda ocupar, casa habitacional, bodega, fábrica, etc. [21].
3. Material y método constructivo, en este punto se tiene que elegir la clase de material con el que se quiera trabajar y dependiendo de eso se debe elegir el método constructivo para poder garantizar estabilidad mecánica, confort térmico y durabilidad, así como disminución de costos [22].



Figura 2.2. Choza de barro y caña, Tihama, Yemen [23]

Los mejores métodos para mitigar un clima extremo, es conocer las construcciones del sitio en cuestión para así conocer en general como construyen en ese lugar, porque en zonas con altas temperaturas siempre se encontrarán construcciones con muchas aberturas para propagar el viento y disminuir la temperatura en el interior de la casa [24].

La evaluación de los sistemas constructivos de una casa deben ser comparados analizando sus elementos y su relación con el ambiente, y así elegir una opción arquitectónica sostenible [23]. Utilizando los materiales constructivos disponibles en el ambiente natural.

Entonces el diseño de una vivienda sostenible, depende de la perspectiva adecuada del lugar para elegir su forma arquitectónica, así como el uso potencial e inteligente de los materiales constructivos vernáculos para satisfacer un confort térmico, salud y maximizar la productividad de los ocupantes [22].

2.3. El diseño Bioclimático

El diseño Bioclimático de una edificación es una acción consciente, que cuida su construcción evitando los materiales tóxicos o altamente dañinos, haciendo inclusión de materiales reciclados y reciclables, así como energías renovables y criterios de ahorro energético, que interactúan con el paisaje [22].

El confort térmico se promueve o es más pronunciado en climas extremos, ya sea con altas temperaturas o bajas temperaturas, el ser humano a desarrollado máquinas y sistemas que ayudan a equilibrar la temperatura [22], pero debido a la demografía ésta demanda ha incrementado y como se sabe todos los sistemas de calefactores convencionales involucran electricidad y en ocasiones gas para su funcionamiento a consecuencia mayores emisiones de CO₂, por lo que se ha buscado e investigado una forma amigable con el medio ambiente para disminuir o aumentar la temperatura de establecimientos con sistemas naturales [25].

El desarrollo de materiales aislantes para un diseño bioclimático, son referentes a una protección solar y regulación de temperatura, para crear microclimas en donde la temperatura en el ambiente exterior es diferente al de la interior de una construcción, logrando un aumento o disminución a comodidad de la que se necesite [26].

Los labores que se han realizado para desarrollar ambientes naturalmente climatizados en una vivienda son varios, y es que, crear ambientes naturales que relajen y estimulen nuestro cerebro para poder optimizar el desempeño del ocupante puede llevar a incluir naturaleza real dentro y fuera de la construcción, en este ramo existe una que es conocido como biofilia del cual se describirá a continuación: “El diseño biofílico busca la reconexión con el entorno y los sistemas naturales con el objetivo de proyectar y construir espacios sostenibles, saludables y productivos para sus ocupantes. Lugares diseñados con criterios biofílicos reducen el estrés, potencian la creatividad y generan un bienestar generalizado” [27].

En este marco se sabe que se debe tomar en cuenta la naturaleza para poder tener un buen diseño bioclimático de la vivienda, y si se sumamos este concepto no sólo en lo visual si no

también en lo estructural haciendo inclusión de este pensamiento en el material constructivo, entonces, se perfeccionará el sentido de bioclimatización. Véase en la Figura 2.3.



Figura 2.3. Bioconstrucción y principios bioclimáticos. [27]

2.4. La Sustentabilidad

En un mundo donde el hombre tiende a un consumismo desmedido e incrementado exponencialmente se requiere una auditoría y evaluación de los productos que adquiere, analizando su importancia y beneficio para el consumo humano, pero no sólo eso sino también la procedencia de todos los suministros, y todo lo que conlleva obtenerlos [28].

La sustentabilidad evalúa los parámetros de la cadena de eventos que se necesita para la obtención de un producto final, así como el desecho de residuos y emisiones de sustancias nocivas para el medio ambiente. El concepto de sostenibilidad, muy habitual en el campo del desarrollo y la cooperación, es utilizado en diferentes sentidos. El primero de ellos es el relativo al desarrollo sostenible, esto es, aquel proceso de desarrollo que utiliza los recursos mundiales preservándolos para generaciones venideras. El segundo uso se refiere a los denominados medios de sustento sostenibles, o medios de vida de las personas o grupos que les permiten mejorar su situación socioeconómica de forma duradera, resistiendo a posibles crisis y sin dañar las oportunidades de otros o de generaciones futuras. Por último, el concepto que aquí abordaremos es el de la “sostenibilidad” de las intervenciones de cooperación, o

capacidad para que los cambios, infraestructuras y servicios que generan se mantengan en el tiempo [29].

La sostenibilidad de un proyecto de cooperación para el desarrollo constituye un criterio esencial para evaluar su calidad. Sólo aquellos proyectos que introduzcan cambios equitativos y aborden de forma duradera las causas de la vulnerabilidad estructural contribuirán a generar sistemas de sustento sostenibles y un desarrollo humano también sostenible [29].

La construcción consume una gran cantidad de recursos procesados, que son elaborados a base de mecanismos emisores de energía y desperdicios [30]. Los materiales como son el cemento y acero son un claro ejemplo de ello, los materiales constructivos más utilizados en la construcción. Por lo tanto, estos elementos no cumplen con los requerimientos que se utilizan para conseguir que un material sea sustentable, y nos lleva a buscar nuevos materiales con capacidades de resistencia y durabilidad similares a ellos, pero sin afectación al medio ambiente, como se puede ver en la Figura 2.4.



Figura 2.4. Orquideorama. Fuente [31]

2.4.1. La Energía Renovable

Las energías renovables nacen de la preocupación y el descuido que se han tenido de todos los años pasados, en cuanto a la naturaleza, y busca por lo tanto disminuir los daños ya provocados y no incrementarlos más, cuidando océanos y lagos, bosques, aire y suelo. Teniendo como generadores de energía procesos sin residuos y que sean fuentes inagotables de energía, como pueden ser el sol, oleaje, hidráulicas, eólicas, biomasa, etc. [32].

El uso de energía renovable tiene muchos beneficios potenciales, incluida una reducción de las emisiones de CO₂, la diversificación de los suministros de energía y una menor dependencia de los mercados de combustibles fósiles. En Europa el movimiento ya tiene

varias décadas desarrollándose más que en ningún otro lugar y busca ampliar la gama de opciones para la utilización de estas energías [33].

Y es que la eficiencia energética es fundamental para conseguir un mundo sostenible. Producir y distribuir energía es muy costoso y tiene un fuerte impacto sobre nuestro medio ambiente. Conseguir la máxima eficiencia energética facilitaría que cualquier persona pueda disfrutar de unas condiciones de vida dignas y saludables obteniendo el mayor partido posible de la energía [34].

La eficiencia energética en los edificios está adquiriendo una gran relevancia. Que, así como ya se ha mencionado anteriormente busca un mejor y más prolongado futuro, así como la reducción del consumo energético y las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

La energía renovable orientado a la construcción, menciona cuatro vías principales para conseguir reducir el consumo de energía en la construcción y mitigar las emisiones de CO₂ el diseño de edificios y viviendas pasivas o rehabilitación de los existentes hasta alcanzar estándares de casa pasiva; una vez conseguido ese objetivo, optar por materiales que reduzcan la huella de carbono del edificio; la incorporación de electrodomésticos, equipos y sistemas de alta eficiencia energética para optimizar la energía operativa del edificio y la utilización e integración de tecnologías de generación de energía renovable [35].

Aunque hasta ahora las investigaciones más desarrolladas y con más opciones son las de producción eléctrica, existen otras más que son prometedoras y de las que aún se necesita tener más empeño y dedicación investigadora. De los estudios que se han realizado en el desempeño energético en la construcción con tierra se ha comprobado la reducción de energía empleada del 32% al 24% siendo este un material 100% biodegradable no tiene residuos contaminantes al suelo, además que tiene propiedades térmicas [36].

2.4.2. La ecotecnología

Las ciencias desarrolladas hasta el momento han descubierto muchas formas de construcción y han ayudado a satisfacer necesidades de la sociedad pero han dejado a la deriva los aspectos ambientales y es ésta comunión que se intenta reconciliar y así llamarle eco tecnología, y la cual se tomará como la definición de Ortiz mencionada en [37].

Entonces para desarrollar una nueva ecotecnia es necesario delimitar bien los pasos a seguir que sean coherentes y mantengan un orden jerárquico sistémico para su comprensiva y

correcta ejecución [37], además si se así ayuda a tener una mejor y más pronta aceptación para la sociedad.

Otro acto sustantivo es la observación y medición del manejo de residuos ocasionados por la elaboración de la nueva ecotecnia, que en este caso será aplicada a la construcción, en donde las investigaciones profesionales tienen muy limitadas sus participaciones [38], por esa razón también se deberá buscar un método de control de residuos.

Así mismo hay que resaltar los trabajos o métodos constructivos empíricamente realizados por los nativos indígenas al momento de realizar una obra ya que ellos utilizaron materiales completamente naturales, y aunque en muchos sistemas constructivos no hay respaldo científico los años de utilización y manejo de esos materiales le dan validez a su edificación, además que se fomenta el rescate de identidad de pueblos indígenas [39].

Por estas razones es que la investigación y creación de nuevas ecotecnologías es crucial para lograr la sostenibilidad y desarrollo del ámbito inmobiliario, como puede verse en la Figura 2.5.



Figura 2.5. Artesanos indígenas Sampués, Sucre, Colombia[39]

2.5. Técnicas de caracterización para materiales constructivos

La necesidad de crear nuevos materiales se hace desde que el hombre crea nuevos aparatos, sistemas constructivos y máquinas que buscan ser más eficientes y sostenibles para el medio ambiente, satisfaciendo otras necesidades para poder tener una vida más cómoda y práctica es ahí donde entra la ciencia e ingeniería de los materiales [40].

El conocer con precisión como son las estructuras de los materiales naturales y sintéticos cristalinos nos permite dar explicación a muchas de sus propiedades químicas, mecánicas,

térmicas, ópticas, electrónicas y magnéticas. Esa información puede emplearse, además, como punto de partida para buscar y sintetizar nuevos compuestos con estructuras específicas que posean propiedades deseadas [41].

Para la medición física y/o química de pellets en cuánto a resistividad térmica, conductividad térmica e irradiancia, se puede utilizar un termómetro de contacto de área mejor conocido como SUMs (stove use monitors, por sus siglas en inglés), el cual mide parámetros de forma sistemática que ayuda obtener resultados útiles como parte de su caracterización. Se han reportado en investigaciones recientes, arreglos experimentales para evaluar las propiedades fototérmicas de diversos materiales, a partir de la medición de su temperatura en intervalos de exposición a la irradiancia solar, Figura 2.6 [42]

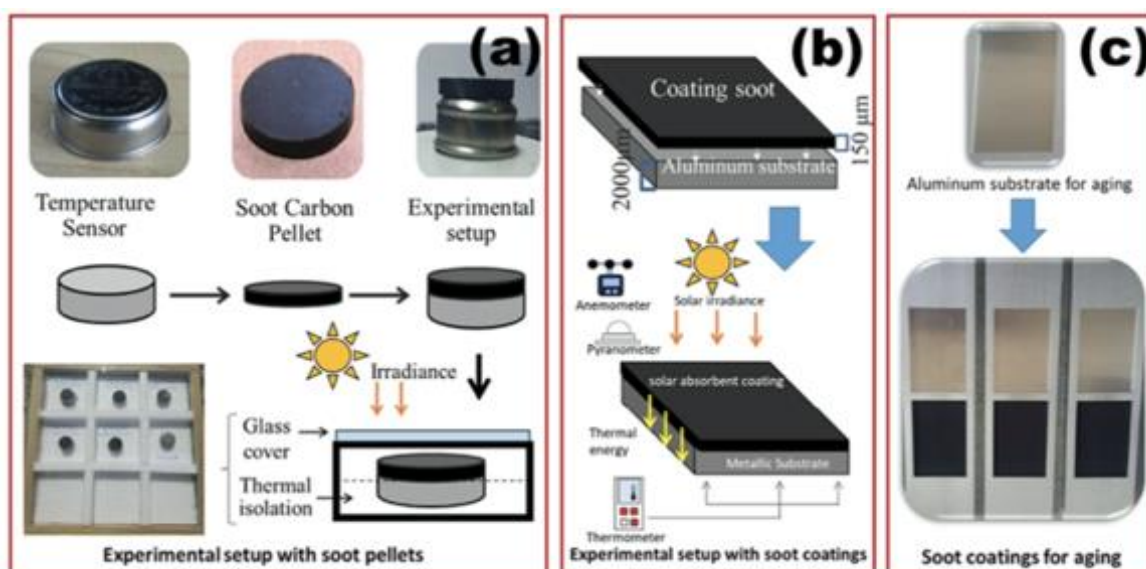


Figura 2.6 Arreglo experimental para el conocimiento de propiedades optotérmicas, utilizando pellets.[43]

2.5.1. Acondicionamiento térmico de sistemas constructivos (W/m^2)

En la actualidad la energía consumida (kWh) para el aire acondicionado, ha incrementado de forma considerable, lo que hace necesario el uso de tecnologías para llegar al confort térmico, y para ello uno de los principales elementos a considerar es el material constructivo que se utiliza, el cual debe poseer propiedades particulares que proporcionan multifunciones en las viviendas (Tabla 2.1) [44]. La energía solar que ingresa a las habitaciones a través de las paredes opacas, representa del 20 al 80% y del 10 al 45% del índice total de pérdida de calor del edificio [45].

Tabla 2.1. Parámetros físico-térmicos usados en simulaciones [45]

Localización	Propiedades			
	Anchor (m)	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica (W/m°C)	Calor específico. (kJ/kg°C)
Muro	0.20	2500.00	1.74	0.92
Piso	0.10	2500.00	1.74	0.92
Poliestireno	0.04	32.00	0.03	1.38
Cal	0.02	1800.00	0.93	1.05

Las paredes pueden reducir de manera efectiva el consumo de energía de calefacción del edificio y se le debe prestar tanta atención como la energía solar que ingresa a las habitaciones a través de las ventanas, por eso es importante tener el análisis de la irradiancia solar, además que ayuda a saber el nivel absorción y por consiguiente así estimar la durabilidad y resistencia a la intemperie [46].

2.5.2. Propiedades acústicas

Para poder obtener las propiedades acústicas primero se debe conocer los puntos críticos que rigen estas propiedades, y es que en la actualidad la contaminación acústica atrae muchos problemas de salud [47].

Los problemas que se desarrollan son producidos por un exceso de ecos, reverberación, focalizaciones, etc. Que pueden ser minimizados si se ocupa un material absorbente, estos materiales suelen tener una superficie porosa o fibrosa que cuando reciben las ondas que producen sonido las convierten en energía cinética o en calor (Figura 2.7) [48].

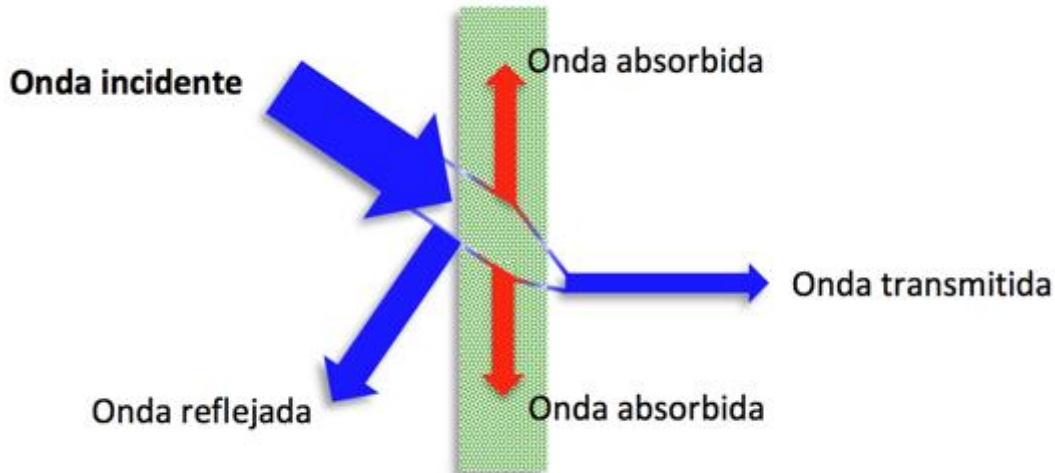


Figura 2.7 Absorción Acústica [48]

Siendo los materiales naturales los más provechosos para el medio ambiente en comparación con los materiales sintéticos como son lana de roca, lana de vidrio, poliuretano o poliéster, que son caros de producir y se basan generalmente en productos petroquímicos[49]. Otra de las ventajas de los materiales naturales, es que se pueden utilizar de diferentes tipos de desechos del hombre o de la naturaleza como pueden ser de cáscaras, fibras de frutas, algas, tecatas, acerrín, entre otros [50]. Para poder obtener las propiedades deseadas se deben analizar y medir el coeficiente de absorción sonora a incidencia normal, la resistencia al flujo del aire, la rigidez dinámica así como la conductividad térmica (Figura 2.8) [51].



Figura 2.8. Los tubos de impedancias (tubos de Kundt), son sistemas para el estudio y obtención de las propiedades acústicas de los materiales ensayados.

<https://www.grupoalava.com/ingenieros/productos/instrumentacion-y-ensayos/acustica-y-vibraciones/tubos-de-impedancia-kundt/>

2.5.3. Propiedades mecánicas

Las pruebas que se hacen a los nuevos materiales deben tener características que otorguen cierta resistencia a las diferentes sollicitaciones a las que trabajará el elemento como pueden ser cargas axiales(compresión), de flexión (Fuerza cortante) y de tensión(tracción).

Para prueba de ello se hacen estudios para cada una ellas una vez que el material ha endurecido como se dice normalmente fraguado para así saber si ocupa algún refuerzo para soportar todas las cargas, una vez fraguado el material no puede retornar a su estado inicial[52].

En cada una de las pruebas tiene mucho que ver la porosidad del material premezclado, humedad, velocidad de aplicación de la fuerza entre otros, por lo que las muestras deben ser lo mejor y más puras posibles evitando así su variación [53].

Los aparatos de medición de las propiedades son encontradas generalmente en escuelas o laboratorios de mecánica de materiales y están al alcance de todos en cualquier ciudad. Los aparatos son los siguientes: Para medir la compresión (ver Figura 2.9).



Figura 2.9. Máquina universal [53]

Para medir la Flexión (ver Figura 2.10).



Figura 2.10. Dispositivo de flexión colocado en la máquina universal Zwick Z050 [54]

Para medir la tensión (ver Figura 11).



Figura 2.11. Máquina para tensión, INSTRON® 3369 [55]

2.6. El Confort térmico

El ser humano siempre ha buscado tener una temperatura que él considera cómoda para estar en un lugar ya sea de trabajo, espacio público o casa, y ha creado sistemas o aparatos para lograrlo, los más comunes son el ventilador y el aire acondicionado.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de Colombia menciona que el confort térmico es representado por la combinación determinada de la temperatura del aire, la humedad, la velocidad del viento y radiación solar; la temperatura que siente una persona en muchos casos resulta diferente a la temperatura ambiente registrada, pero no es determinado exclusivamente por elementos meteorológicos, sino también por factores como la constitución física, la edad, la dieta, el grado de alimentación, las influencias culturales de los habitantes, actividad al sol y sombra y su aclimatación.

Hasta la fecha no se ha logrado obtener un dato exacto de la temperatura que un ser humano podría percibir como confortable, ya que depende de muchas variables sin embargo si se ha logrado obtener un rango de temperaturas para ciertos lugares como es el caso de zonas tropicales que es de los 18 °C a los 24 °C. mientras que en el exterior se encuentran a 28 °C [70]. Y en zonas frías donde la temperatura exterior promedio es de 7°C el confort térmico oscila entre 17°C y 24°C[56].

Rodriguez (2016) [57] menciona los modelos más comunes para medir el confort térmico, el PMV (The Predicted Mean Vote) por sus siglas en inglés y el modelo adaptativo, estos son cálculos de confort térmico de acuerdo con la norma ANSI Funcional / ASHRAE Standard 55, se pueden realizar libremente con la herramienta de Confort Térmico CBE por ASHRAE 55. Y los resultados de estos métodos fueron los siguientes: el método estándar del PMV es de 23 -31°C, mientras que el método adaptativo del ASHRAE Standard 55, la zona de confort se encuentra entre los 19-28°C.

Las propiedades térmicas se refieren a la mayor o la menor capacidad de transmitir calor o acumularlo, y así dar lugar a la inercia térmica de una construcción [58].

2.7. Materiales sostenibles para bioconstrucción

La construcción en muchos países en desarrollo consume una significativa cantidad de recursos energéticos, entre el 20 y 40 por ciento de la energía consumida son construcciones ya sea de uso comercial o habitacional y estos valores van en crecimiento de acuerdo a [15]. Los países en desarrollo no solo son consumidores de energía sino también de los mayores emisores de bióxido de carbono, lo que hace crear la inquietud de mejorar los materiales, procesos y métodos de construcción [15].

Existen críticas acerca del uso de los materiales sostenibles, argumentando que son muy costosos y no son económicamente factibles, pero estudios demuestran lo contrario y uno de ellos es el que menciona [59], argumentando que la implementación de los sistemas para el aislamiento térmico no necesariamente está relacionados a su coste, sin embargo, si se necesita tener prudencia en el proceso de diseño.

La implementación de la bioconstrucción tiene tres puntos de continua observación en cada uno sus proyectos, y son los temas referentes al impacto en el ambiente, la sociedad y la economía [17]. Estos principios sostenibles son usados en cada nuevo sistema, método o

material que se desea investigar, lo que ayuda a buscar el menor impacto al medio ambiente, el aprovechamiento en su uso y sin la afectación de un presupuesto ordinario.

En la actualidad hay muchas formas de construcción con materiales sostenibles a continuación se mencionarán algunos:

- Lana de Roca: es un material absorbente de sonido que es utilizado en la industria, hecho de mineral [60].
- Corcho aglomerado: es un material con poca conductividad térmica, hecha de corcho y resina natural [61].
- Panel aislante de Cáñamo: es un aislante térmico poroso que ocluye el aire dando lugar a una baja conductividad térmica, proporciona la amortiguación suficiente para que pierdan energía las ondas sonoras que incidan. Buena capacidad de regulación higrométrica sin pérdida de las cualidades aislantes. Es un producto transpirable, no tóxico, reciclable, con resistencia mecánica y perdurable [62].
- Biohormigón: es un cemento elaborado con cementos de categoría A1, hecho con otros materiales que no contienen los altos contenidos de radioactividad. También son conocidos como hormigones ligeros hechos con arlita, corcho o virutas de madera [63].
- Mortero con Sargazo: es utilizado el mortero de cemento portland, añadiendo 5%, 10%, 15% y 20% de sargazo a la mezcla además de los materiales petreos comunes [35].

Entre muchos más que aún se siguen investigando y descubriendo, se tomará como base el último mencionado.

2.7.1. La madera

La madera como material sostenible, es el material más utilizado en zonas rurales, por su accesibilidad y abundancia en las zonas boscosas de alturas mayores a los 1600 m.s.n.m. además de ser un material muy maleable y práctico, es 100% biodegradable [64]

Además de aprovechar la madera un pino, también es muy útil su resina, es una sustancia gomosa, pegajosa y semisólida, que puede ser utilizada en adhesivos, tintas, farmacélicas, neumáticos[65]. Pero se comienzan también a hacer estudios para el uso en la mezcla del

cemento y otros materiales petreos y se ha comprobado que el uso de ésta sustancia (resina) ayuda a incrementar las propiedades de aislamiento térmico en un 8-13% (Figura 2.12) [66].



Figura 2.12. Vista de la resina de pino [81]

2.7.2. El sargazo

Desde hace siglos se conoce la presencia del sargazo en las costas del norte atlántico según (Genthe, 1998) mencionado por [67], así mismo el asentamiento del alga es el ojo de un vórtice donde las aguas son quietas. Las corrientes oceánicas que se forman por agua caliente aun siguen moldeándose y por lo tanto dejará aleatoriamente rastros de sargazo en donde desemboque.

El brote del alga se empieza en primavera hasta verano y parte de otoño y atrae consigo variedad de peces y crustáceos que se anidan entre sus ramas.

Las especies de algas pelágicas son asexuales, su reproducción es por fragmentación de un pedazo maduro que se separa del joven ya sea por la incompatibilidad de edades o por un rompimiento accidentado [67]. Después de separarse, la alimentación de materia orgánica y circulación de agua crea organismos que fomentan su extensión.

Mencionando nuevamente a [68] en Julio del 2015, hubo la arribazón masiva de algas y la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Quintana Roo (SEMA) tuvo que hacer la contratación de maquinaria y 4404 obreros para remover el sargazo de 74.6 de km. de playa en cinco municipios (ver Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Volumen de sargazo pelágico removido de playas seleccionadas en cinco municipios de Quintana Roo, México, en agosto de 2015. Fuente: SEMA

Municipio	Playa limpiada (km)	Días de limpieza	Empleados	Sargazo removido

				Total (m3)	M ³ /km día (Promedio e intervalo)
Benito Juárez	36.4	12	2800	19382	208.6 (14-333)
Solidaridad	11.0	6	269	6503	184.2 (27-523)
Cozumel	11.2	2	440	1484	132.3 (130-135)
Tulum	12.5	7	670	37859	261.7 (222-312)
P.Blanco	3.5	3	225	6125	1456.7 (582-3200)
Total	74.6		4404	71353	318.9 (14-3200)

Este sargazo en proceso de descomposición produjo olores fétidos, presumiblemente debido a la producción de ácido sulfhídrico (H₂S) y otros compuestos orgánicos. Se publicaron varias notas en la prensa nacional e internacional anunciando el mal aspecto y olor de las masas en descomposición, aconsejando al turista de evitar este destino para vacacionar (Figura 2.13). Los residentes de algunas comunidades cercanas, así como el personal que trabajó en la limpieza de playas, se quejaron de experimentar dolores de cabeza, náusea y problemas respiratorios, presumiblemente debido a la inhalación de H₂S [68]. A pesar de eso no se hizo ningún estudio aeróbico, y además el gas es altamente corrosivo, y se registraron oxidación de metales en casas cercanas a la playa y avería de aparatos electrónicos.



Figura 2.13. Gran cantidad de sargazo a punto de llegar a la Cancún y La Riviera Maya. [68]

2.8. Clasificación y utilización actual del sargazo

La clasificación del sargazo es muy extensa tan sólo en el Golfo de México y en el Mar Caribe se han detectado 16 especies diferentes, y es que si se catalogarán por su morfología podría haber más pero sea han hecho los estudios de ADN y análisis de genes y se catalogaron en 16 especies, mencionadas a continuación: *S. acinarium*, *S. mathiesonii*, *S. pteropleuron*, *S. pusillum* and *S. ramifolium*, *S. bermudense*, *S. buxifolium*, *S. cymosum*, *S. filipendula*, *S. fluitans*, *S. furcatum*, *S. hystrix*, *S. natans*, *S. polyceratium*, y *S. vulgare* (Figura 3.14)[69].

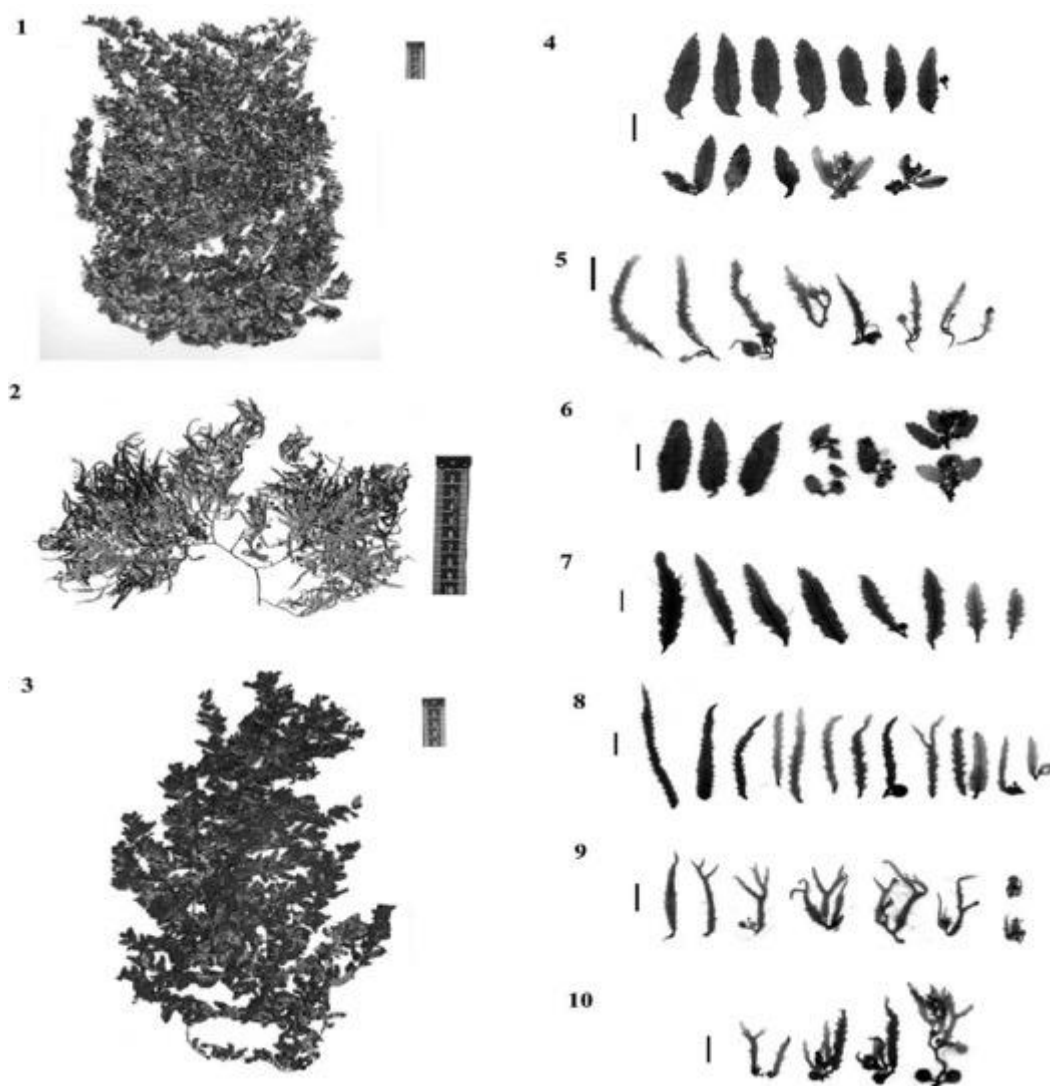


Figura 2.14. Características morfológicas de las especies de *Sargassum* analizadas [69].

Dónde:

1. *Sargassum buxifolium*. Barra de escala = 5 cm.
2. *Sargassum natans*. Barra de escala = 5 cm.
3. *Sargassum hystrix*. Barra de escala = 5 cm.

4. *Sargassum buxifolium*. Láminas y vesículas. Superior: Detalle morfológico de las láminas basales y medias del talo. Abajo: Detalle morfológico de láminas apicales con receptáculos y vesículas de flotación. Barra de escala = 1 cm.
 5. *Sargassum natans*. Láminas y vesículas. Detalles morfológicos característicos de la especie, láminas con ausencia de criptostomas y vesículas de flotación con espina apical. Barra de escala = 1 cm.
 6. *Sargassum hystrix*. Detalles morfológicos de láminas y vesículas. De izquierda a derecha: tres láminas con criptostomas dispersos seguidos de cinco láminas apicales con vesículas de flotación esféricas y receptáculos. Barra de escala = 1 cm.
 7. *Sargassum fluitans*. Hojas y vesículas surtidas; Detalle de láminas con nervadura central pronunciada y ausencia de criptostomas. Barra de escala = 1 cm.
 8. *Sargassum filipendula*. Láminas y vesículas. Detalle morfológico de láminas lanceoladas con criptostomas alineados a los lados de la nervadura central pronunciada. Barra de escala = 1 cm.
 9. *Sargassum ramifolium*. Láminas y vesículas. Morfología de la hoja que muestra hojas bifurcadas en varios niveles con criptostomas alineados con la nervadura central. Barra de escala = 1 cm.
 10. *Sargassum furcatum*. Láminas y vesículas. Detalle de láminas apicales lanceoladas y escasamente bifurcadas con abundantes vesículas esféricas de flotación. Barra de escala = 1 cm
- Fuente [70].

Su uso hasta el momento:

Desde hace mucho tiempo que es utilizada como fertilizante, en el sureste de Asia, por sus nutrientes agrícolas. Por si sola el alga lleva consigo muchos nutrientes a las costas o arrecifes donde esta ubicada, inclusive donde los huracanes causan desastres es utilizada como planta restauradora, o en cultivos como los de cacao (Figura 2.15) [67].



Figura 2.15 Mejoran cultivos de cacao con sargazo. [67]

Investigaciones recientes han mostrado resultados positivos del sargazo utilizado como materia prima en el compostaje a gran escala para producir enmiendas orgánicas del suelo, como la composta [71], ver Figura 2.15.



Figura 2.16 Las algas *Sargassum* se pueden usar como fertilizante o composta en el jardín, según el Jefe de Conservación y Pesca en funciones de BVI, Mervin Hastings.
[72]

2.9. El sargazo como propuesta para la vivienda

El sargazo llega anualmente en cantidades aproximadas de 105 kg/m² y aunque se ha propuesto como fertilizante, (mencionado en el apartado anterior) no se ha obtenido el resultado deseado por la gran cantidad de sales que contiene entonces se optó por hacer un estudio de conductividad eléctrica y es una tecnología que aun se sigue desarrollando [89]. Por otro lado también se utiliza en la elaboración de laminados de plástico mezclados con sargazo que han tenido resultados prometedores encunto a las propiedades mecánicas, ya que tienen buena resistencia a la flexión y compresión [73].

Hace muy poco tiempo se descubrió que el alga reduce el CO₂ y lo convierte en Calcita [91], la que es utilizada en la elaboración de cemento y mortero, para este proceso claro requiere años para su transformación [74].

Y de manera más empírica con proyectos comunitarios se han hecho ladrillos de adobe y sargazo que fueron utilizados para una casa muestra en la ciudad de Puerto Morelos Quintana Roo, y han tenido gran aceptación entre la sociedad [75] Ver Figura 2.17.



Figura 2.17. Casa construida con adobe y sargazo. Fuente: <https://www.elfinanciero.com.mx/pyme/quintanarroense-construye-una-casa-con-tabiques-de-sargazo>

2.10. Propiedades físicas del sargazo

El análisis morfológico ha sido mencionado por varios investigadores [70] para ello se tomará el que tiene 5 puntos importantes de identificación: (1) presencia o ausencia de criptostomata, (2) presencia o ausencia de espinas en el eje central, (3) forma y disposición de las vesículas de flotación, (4) presencia o ausencia de espina apical en vesículas flotantes y (5) forma de las cuchillas. En cuanto al color al estar en su hábitat natural tiene un color verde semioscuro con algunas espículas de color verde o amarillo Ver figura 2.20. Al secarse se convierte en una planta café, con un tono pálido. Ver Figura 2.18 y 2.19.

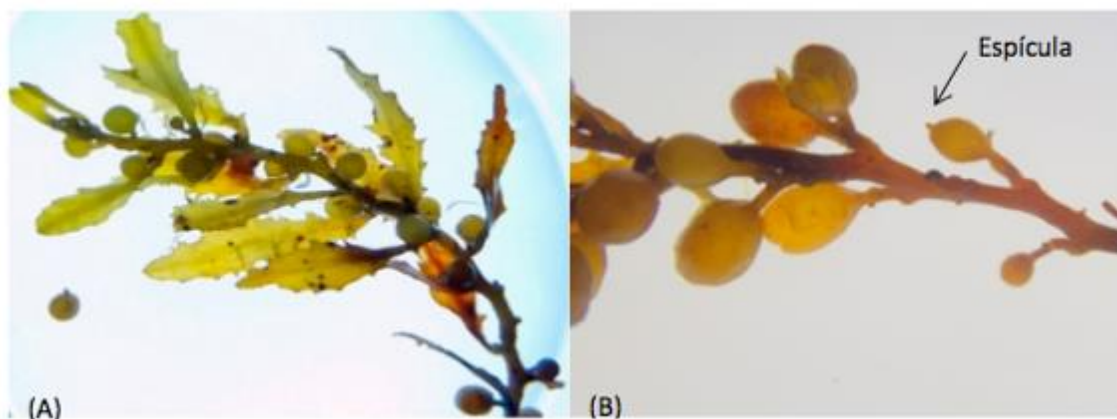


Figura 2.18. *Sargassum fluitans* (A) y detalle de los aerocistos de *Sargassum natans* (B). *S. fluitans* presenta aerocistos desprovistos de espinas y dotados de un pedúnculo corto por el que se unen al cauloide del talo, en cambio *S. natans* está dotada de aerocistos espiculados con pedúnculos largos [76]



Figura 2.19 Sargazo seco Fuente: <http://www.algeanova.com/es/focus-sur-la-sargasse/>

En un experimento que se hizo en el Instituto de Chetumal, Quintana Roo con una mezcla de Mortero y Sargazo se obtuvo lo siguiente: El alga de sargazo cuenta con propiedades de aislamiento térmico debido a su conductividad térmica de 0.045 W/mK y su valor de calor específico de 2000 J/kgK y de acuerdo al análisis prospectivo del alga [76], es teóricamente adecuado para su uso en construcción. Según Asdrubali (2015) [77], para que un material sea considerado un aislante térmico estos valores deben de permanecer menores 0.07 W/mK y mayores a 1400 J/kgK respectivamente lo cual hace de este recurso un material teóricamente apto para su uso como aislante térmico aunque dichos datos pueden variar dependiendo si el material a utilizar es sintético o natural. Basándose en las propiedades de esta alga y la disponibilidad que existe en el estado, se propone darle un uso como material de construcción, convirtiendo este residuo en un beneficio social. Para ello se desarrollarán pruebas mecánicas y térmicas para determinar el comportamiento del alga como material de sustitución al agregado pétreo del mortero y comprobar la viabilidad de su uso [35]. Del estudio anterior se obtuvieron los siguientes resultados al mezclarlo con mortero (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Resultado de propiedades térmicas del sargazo [35]

Propiedades	Unidad	0%	5%	10%	15%	20%
Conductividad Térmica	w/mK	0.788	0.519	0.397	0.236	0.211
Transmitancia Térmica	w/mK	0.63	0.536	0.523	0.474	0.405
Calor Específico	J/g°C	0.884	0.893	0.902	0.911	0.92

CAPÍTULO 3 MATERIALES Y MÉTODOS

Diagrama metodológico

A fin de alcanzar los objetivos planteados, se desarrolló una metodología experimental-descriptiva, con la cual se generó el material propuesto. Esta metodología contempló diferentes fases, desde su caracterización, diseño, construcción conceptual y física de prototipos, hasta ser sometido a diferentes pruebas con el fin de validar la funcionalidad de los sistemas constructivos planteados. La metodología propuesta para esta investigación consta de tres etapas las cuales se pueden observar la Figura 3.1.

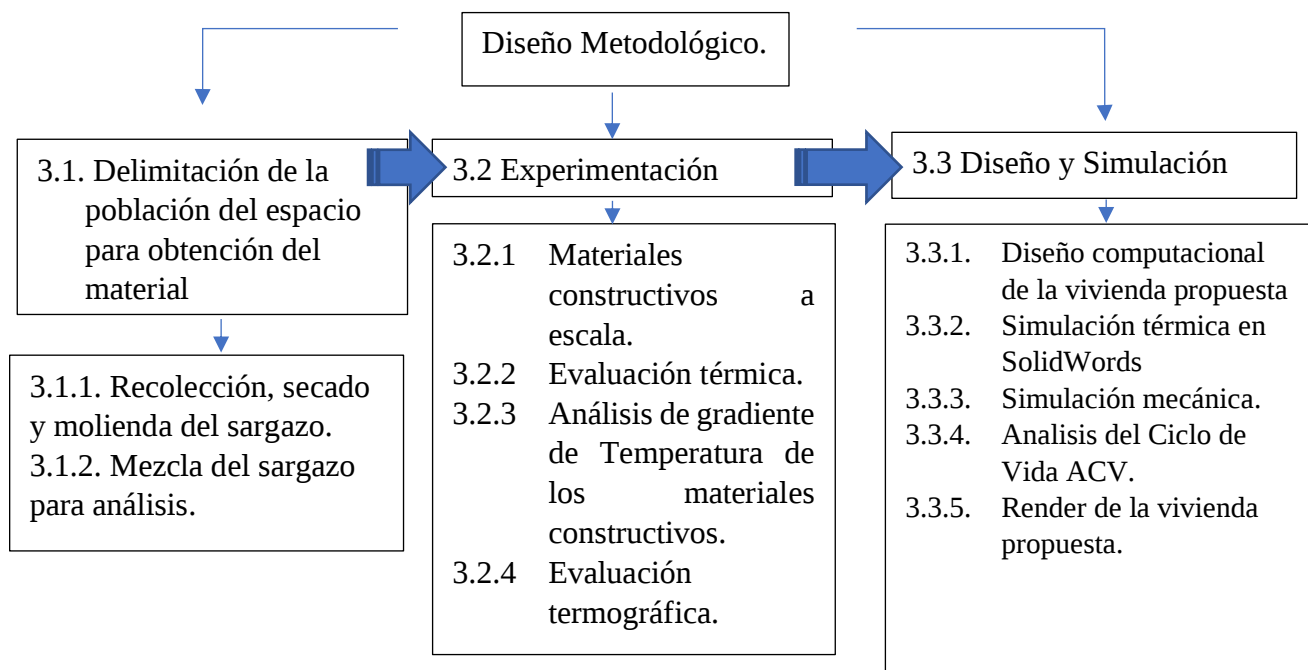


Figura 3.1. Diagrama metodológico

3.1. Población o universo / muestra y recolección

La recolección de las muestras se realizó en las Costas de Cancún Quintana Roo. Obteniendo 20 muestras de distintos kilómetros de playa y analizando los resultados de la caracterización para las mismas. De tal forma de poder obtener resultados concluyentes con el uso del sargazo obtenido (Figura 3.2).



Figura 3.2. Zona de recolección de sargazo, Cancún Quintana Roo, también conocida como la península de Yucatán, México.

3.1.1. Recolección, secado y molienda del sargazo

La recolección se hizo en playas del Cancún y Puerto Morelos del Estado de Quintana Roo en la península de Yucatán, ubicadas generalmente a bordo de playa, ver Figura 3.2.



Figura 3.3. Recolección de muestras de sargazo fuente: propia

Después de la recolección y transporte se buscó un lugar inerte para secar el sargazo una vez restringido el lugar, se hizo el lavado con agua destilada para retirar arena, basura y otras impurezas para posteriormente llevar acabo el secado a la interperie de 2 a 3 días, donde se colocó un triplay para poder mover el sargazo en caso de lluvia así mismo protegerla de basura del suelo. Ver Figura 3.3.



Figura 3.4. Lavado con agua destilada y secado a interperie de sargazo. Fuente propia

3.1.2. Mezcla del sargazo para análisis.

Cuando se secó el sargazo se trituró en una licuadora de cocina común, para después pasarlo por un arnero para así tener un polvo fino e incrementar su maleabilidad. Ver Figura 3.5.



Figura 3.5. Triturado y cribado de sargazo. Fuente propia.

3.2. Experimentación

3.2.1. Materiales constructivos a escala

En este apartado se describen los materiales constructivos a escala que se generaron para corroborar la hipótesis planteada. En este sentido, para diversificar el análisis del cemento portland mezclado con sargazo, se analizó una combinación con agregados pétreos y agua y otra únicamente con sargazo y cemento portland, cuyas particularidades se describen a continuación

3.2.1.1. Identificación del cemento

Para la elaboración de mezclas se utilizó cemento Portland CPC 30R, de uso común para la construcción del cual se sabe que contiene gran cantidad de calcita, útil para nuestras pruebas.

3.2.1.2. Formulación de mezclas Cemento y Cemento-Sargazo.

La caracterización se realizó primero, pruebas con cubos de 10x10 cm. Ver Figura 3.6 haciendo una mezcla de los agregados petreos de forma convencional para tener estándares internacionales ver Tabla 3.1.



Figura 3.6. Cubo de concreto de 10x10 cms con un espesor de 2 cm. Fuente Propia

Tabla 3.1. Dosificación del Sargazo en un m³ de cemento

Dosificación del cemento en una mezcla de 1 m ³ (kg)		
Porcentaje de Sargazo	0%	5%
Cemento	325	325
Agua	320.35	320.35
Agregado fino	1669.93	1586.44
Sargazo	0	27.909

Para despreciar el impacto de los materiales agregados, se analizó una mezcla de cemento portland con sargazo en variación de concentraciones. Se trituro el sargazo hasta tener partículas pequeñas que fueron tamizadas mediante un colador estándar de cocina. Después

se mezcló en proporciones 1:8 de forma decreciente con muestras de 14 gramos. La distribución en masa se aprecia en la Tabla 3.3.

Tabla 3.2. Porcentajes de concentración de Cemento-Sargazo en pastillas. Fuente Propia

Porcentaje de Sargazo	Porcentaje de Cemento
100%	0%
85.71%	14.29%
71.43%	28.57%
57.14%	42.86%
42.85%	57.14%
28.57%	71.43%
14.29%	85.71%
0.00%	100.00%

Estas mezclas fueron compactadas en pellets de pequeñas dimensiones, de 11 mm de diámetro por 3 mm de espesor, que se conformaron en mediante una prensa japonesa, a 2 toneladas de presión durante 2 minutos, los resultados de estos pellets se aprecian en la Figura 3.7.



Figura 3.7. Pastillas para medición con SUMs. Fuente Propia

3.2.2. Evaluación térmica.

Las pruebas y procedimientos para la caracterización del sargazo como material para construcción se enfocarán en seleccionar materiales que permitirán llegar a un modelo de

ladrillo combinado de cemento y sargazo, que garantice condiciones de estabilidad para usarse en muros para vivienda con base en una revisión de la literatura. Adicionalmente, las propiedades térmicas como la conductividad y resistividad de obtuvieron utilizando un equipo TLS-100 para materiales cerámicos, constructivos y de suelos. Este análisis se llevó a cabo para las muestras de pellets descritas en el apartado anterior. Para validar la información obtenida mediante la caracterización, se consideraron algunas normas internacionales para materiales constructivos. (UNE, EN, UNE-EN, RILEM) [75,76].

3.2.3. Análisis de gradiente de Temperatura de los materiales constructivos.

Para ambos materiales, tanto los pellets como las probetas a escala tipo cubo, se utilizó un arreglo experimental de fuente de energía constante, para suponer el comportamiento del material como acumulador térmico ante la energía del sol.

Así, debido a que la presencia de más variables se sitúa en la probeta cúbica sólida con agregados pétreos, se definió utilizar una fuente de energía constante de 200W (lámpara incandescente) minimizando las pérdidas de transferencia de calor. La lámpara fue colocada a una distancia de 50 cm de las muestras para la realización de la prueba durante 20 minutos, en repeticiones de 30 veces (Figura 3.8).

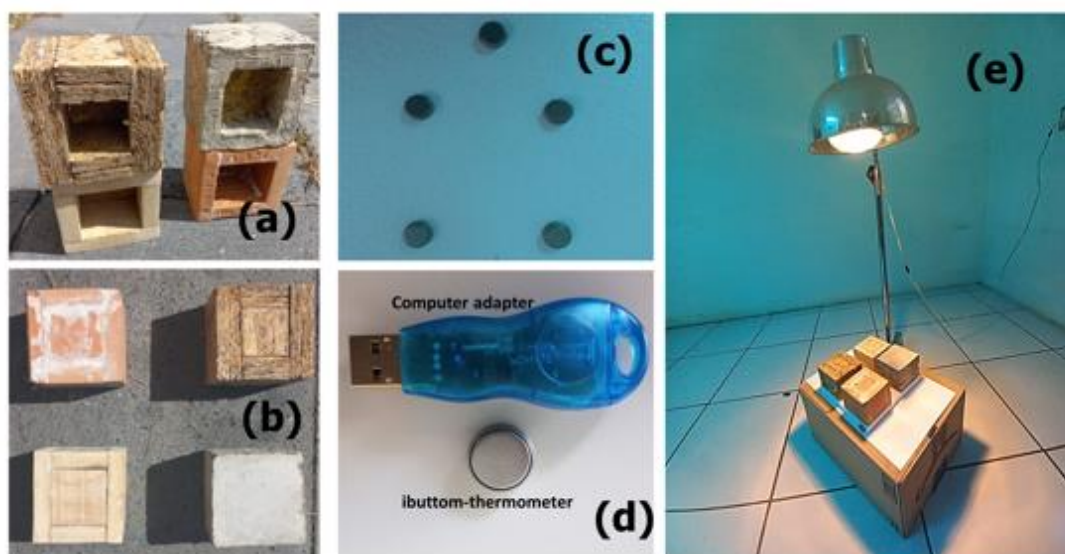


Figura 3.8. Irradiancia indirecta con lámpara de 200 W. Fuente propia

Aunque espectralmente la lámpara no tiene las condiciones de replicar las condiciones de irradiancia solar, lo cierto es que representa una estrategia de fácil acceso y replicabilidad para evaluar propiedades optotérmicas de manera preliminar. Se ha estimado además 1186 W/m^2 , como potencia incidente mediante el uso de dicha lámpara.

En tanto que para los pellets se utilizó radiación solar real con un arreglo experimental controlado aislado, Figura 3.9.



Figura 3.9. Obtención de datos térmicos e irradiancia solar mediante SUM's (Fuente propia)

En ambos casos se utilizaron termómetros SUM's. Los datos de irradiancia solar para las pruebas con los pellets se obtuvieron de la estación meteorológica de la ENES-Morelia, perteneciente a la red de observatorios atmosféricos de la UNAM. Los intervalos de prueba fueron de 20 minutos, durante 10 veces.

3.2.4. Evaluación termográfica

Para este análisis se utilizó una cámara termográfica fluke Tis10 y el software FlukeConnect, que fue útil para todas las pruebas con irradiancia solar directa o simulada, y permitió estimar a temperatura superficial de las muestras de análisis. También para corroborar los resultados obtenidos mediante el análisis termográfico, se utilizó un termómetro con 4 termopares de contacto tipo k, modelo HT-9815 (Figura 3.10).

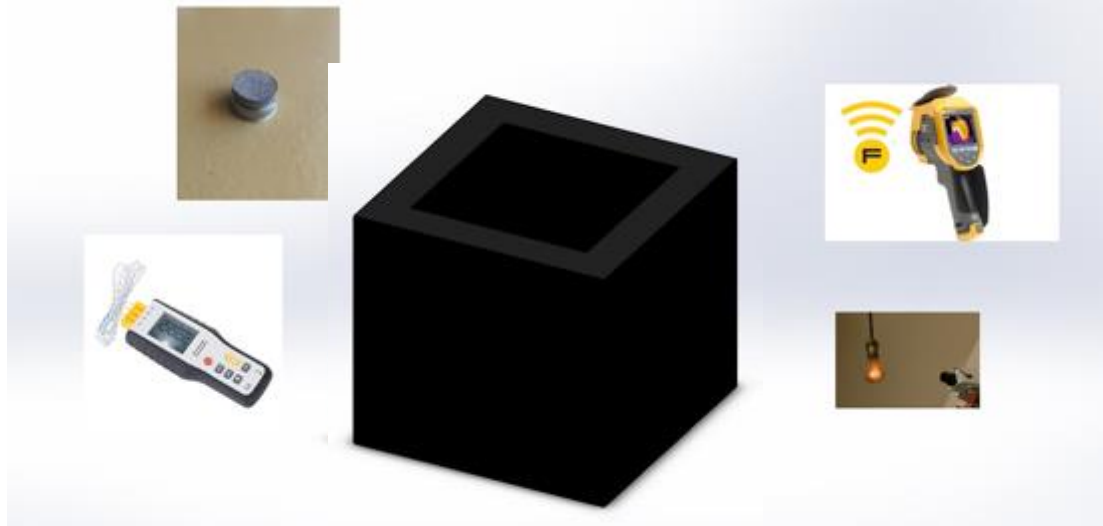


Figura 3.10 Arreglo experimental completo. Fuente Propia

3.3. Diseño y simulación

Después de realizar la caracterización de los materiales compuestos de sargazo y cemento portland, se diseñó y simuló el comportamiento que tendrían estos materiales a dos escalas:

- a) A escala cúbica de mínimas dimensiones, simulando un espacio de 4 paredes y un techo, tal como la probeta que consideró agregados pétreos. Lo que permitirá validar la información obtenida en la fase experimental y representa un análisis de control.
- b) A escala vivienda, donde se propone un espacio de pequeñas dimensiones en apego a las condiciones de viviendas de interés social.

En el siguiente apartado se explica la metodología para analizar ambas escalas.

3.3.1. Diseño computacional de la vivienda propuesta.

Para poder conocer cómo se comporta todos los elementos de una vivienda o parte de ellos en un ambiente natural con todas las solicitaciones a las que estará propensa, se necesita hacer a escala un modelo o parte de él para la obtención de datos y utilizarlos al momento de hacer el sistema constructivo. La experimentación deber ser in situ, teniendo un monitoreo con cada una de las pruebas y los aparatos correspondientes. Primeramente, la elaboración de los cubos: para ello se diseñaron pequeños sistemas de 10 centímetros de largo, 10 centímetros de ancho, y 10 centímetros de alto y en una de sus caras (frontal) se colocara con 2 cm de espesor con una dosificación Cemento-Agua-Material Pétreo, agregado en proporción 14%-

14%72%; después otra muestra de Cemento-Agua-Agregado-Sargazo, en proporción 14%-14%-70%-5% el material resultante se comparó con diferentes materiales: madera, cemento, ladrillo térmico, material compuesto de fibra OSB esto con la finalidad de conocer el comportamiento térmico del conjunto de materiales que también son utilizados en viviendas en México, y así conocer si existe diferencia térmica por cada caja térmica, que suponen ser viviendas de mínimas dimensiones (véase Figura 3.11).

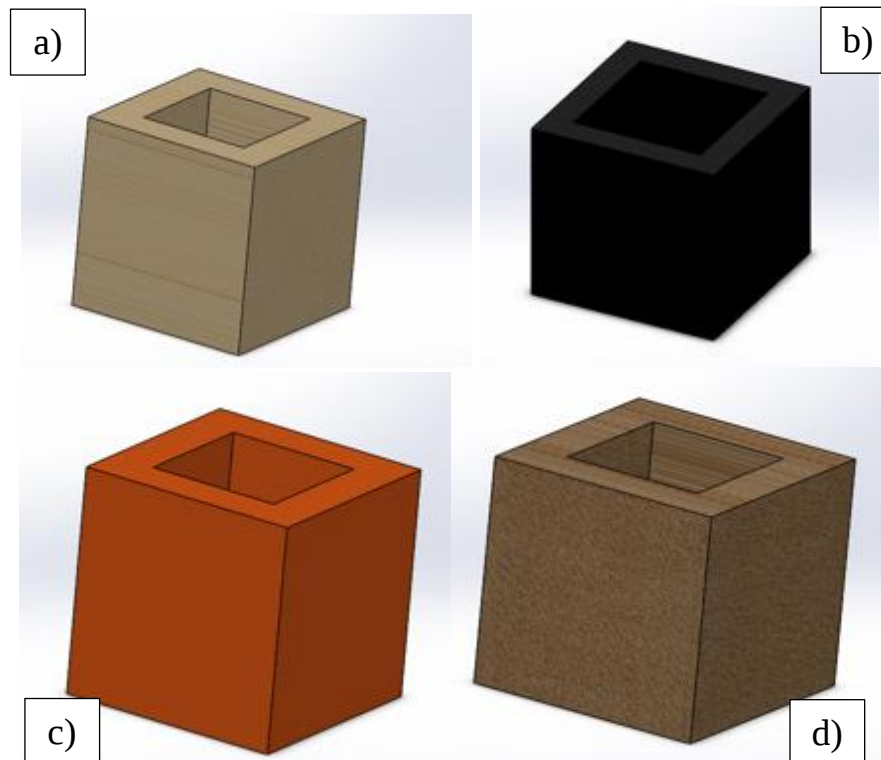


Figura 3.11. Materiales de los prototipos: a) material compuesto/madera de pino, b) material compuesto/cemento-sargazo, c) material compuesto/ladrillo térmico, d) material compuesto/OSB.
Fuente propia

Los datos utilizados para la simulación térmica fueron: conductividad térmica 0.14 a 0.24 W/°C para el material con fibra en la madera; 0.3 W/m°K para la mezcla del material con sargazo, OBS 0.24 W/°C, y el ladrillo 0.67 W/m°K. Esto con base en fichas técnicas de los fabricantes locales.

El diseño se realizó por medio de SolidWorks®, que conjuga todos los datos y obtiene los resultados térmicos, solares, mecánicos, de ACV y obteniendo un Render. El software así mismo imprime cada uno de los resultados en reportes completos y explícitos de cada uno de los estudios solicitados. El uso de este software se realizó utilizando el acceso del Laboratorio

de Ecotecnologías, de la Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia, de la Universidad Nacional Autónoma de México. Para simular el escenario de una vivienda se utilizaron dimensiones de 5x4x3 m con espacios abiertos de una puerta y ventada, de 1x2 m y 1x1m, respectivamente.

3.3.2. Simulación térmica en Solid Works

La simulación térmica, se realizó utilizando el programa de diseño SolidWorks® y utilizando los datos resultantes de la caracterización de los materiales desarrollados para la simulación térmica se utilizó mezclas como material con 100% de sargazo, material de ladrillo sin sargazo, material madera sin sargazo y cemento con un 5% de sargazo, lo anterior es con la finalidad de conocer las propiedades térmicas del material y si este es viable. Asimismo, para el análisis térmico se simuló una vivienda de 5 m de frente por 4 m de ancho con una altura de 2.5 m, considerando la medida de un block convencional de 12 cm de ancho por 25 cm de largo por 6 cm de espesor. También se consideró una temperatura ambiente de 30 °C en el exterior, 15 °C en el interior de la vivienda y una radiación solar de 1000 W/m² durante un intervalo de prueba equivalente a las horas solares pico del sureste de México.

3.3.3. Simulación mecánica

Para el análisis de esfuerzos mecánicos se utilizó un diseño de muro homogéneo. Se analizó la resistencia de los muros de las distintas viviendas, con 100% de sargazo, material de ladrillo sin sargazo, material madera sin sargazo y cemento con un 5% de sargazo, con una carga superior de 2500 N. Para lo cual se requiere conocer los datos que se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.3. Parámetros para las condiciones mecánicas

Parámetro	Unidad de medición
Módulo elástico	N/m ²
Módulo cortante	N/m ²
Densidad de masa	kg/m ³
Límite de tracción	N/m ²
Límite de compresión	N/m ²
Límite elástico	N/m ²
Cociente de amortiguamiento del material	N/D

Nota: los datos requeridos la mayoría ya han sido identificados en la literatura científica y algunos se realizarán para el material del sargazo.

3.3.4. Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

La LCA, o evaluación de ciclo de vida, es un análisis detallado que proporciona la información necesaria para tomar las decisiones más respetuosas con el medioambiente a lo largo del proceso de diseño del producto. SolidWorks ofrece un análisis de ACV el cual tomará la base de datos sobre materiales y se comparará con valores del 5% de sargazo, esto con la finalidad de conocer el impacto que tendrá para el medio ambiente y también si es similar o menor a los sistemas constructivos actuales.

3.3.5. Render de la vivienda propuesta

Un render nos ofrece una imagen lo más realista posible de un espacio, para facilitar la visión espacial al cliente de cómo será el resultado final de su vivienda. Se utilizan principalmente en la fase de elección de materiales y, nos permite mostrar la distribución de una forma mucho más visual.

Para este caso el render será un complemento añadido a la propuesta de esta investigación que nos ayude a imaginar la combinación de los materiales, acabados o el resultado final de algunos elementos de la vivienda.

Para obtener el render de la vivienda propuesta es necesario llevar a cabo todo un proceso que finaliza con el renderizado, tras el cual se obtiene la imagen final. Para ello primero se realizó el modelado 3D del espacio a diseñar, posteriormente se elabora la selección de los materiales en esta investigación sargazo y la iluminación, dos elementos clave que ayudarán a que la imagen se parezca lo máximo posible a la realidad. Finalmente, se ejecuta el renderizado mediante el motor de render escogido, para esta investigación se utilizó el 3D photoview de SolidWorks.

CAPÍTULO 4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Después de la obtención de las probetas cúbicas con agregados pétreos y los pellets tipo pastilla, se realizaron los análisis correspondientes, térmicos de manera experimental y simulada, mecánicos de manera simulada y de proyección a través de software de diseño. Esto se explicita en el presente apartado.

4.1 Simulación térmica y experimental

Para llevar a cabo la experimentación de los materiales estudiados se realizaron 4 prototipos de 10 cm por lado, con un espesor de 2 cm (Figura 4.1 a). Estos prototipos simulan ser casas de las mismas dimensiones, en la cavidad interior se colocaron sensores de temperatura inferiores (Figura 4.1 c y 4.1 d), y se colocaron frente a una fuente de energía constante que simula la irradiación solar y que ha sido utilizada en investigaciones anteriores, registrando una medida de $1180 \text{ w} / \text{m}^2$. El termómetro ibutton registra el aumento de temperatura dentro de los prototipos considerando que la cavidad es un espacio cerrado de acumulación térmica. También se realizó con una cámara termográfica FLUKE Ti-S10, para estudiar la distribución de temperatura fuera de las cavidades.

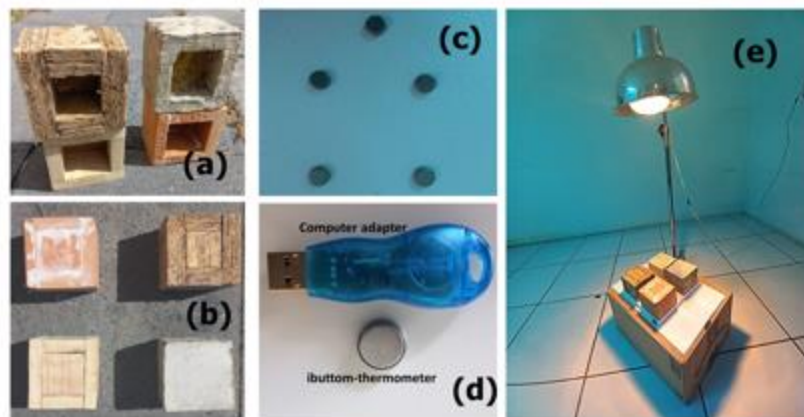


Figura 4.1. Prototipos de bloques de construcción: (a) cavidades (b) superficies expuestas a la fuente de energía (c) arreglo experimental de ibutton (d) registrador de datos utilizado (e) arreglo experimental con una fuente de energía simulada. Fuente propia

Los resultados del aumento de temperatura con una fuente de energía constante se muestran en la Figura 4.1a) Se puede observar que el mayor aumento de temperatura se generó en el prototipo de cemento (Figura 4.1b), mientras que la madera representó el menor aumento de temperatura, siendo OSB y ladrillo de arcilla los materiales con temperaturas intermedias,

este patrón de temperatura también se observó durante el proceso de enfriamiento (Figura 4.2c y 4.2d).

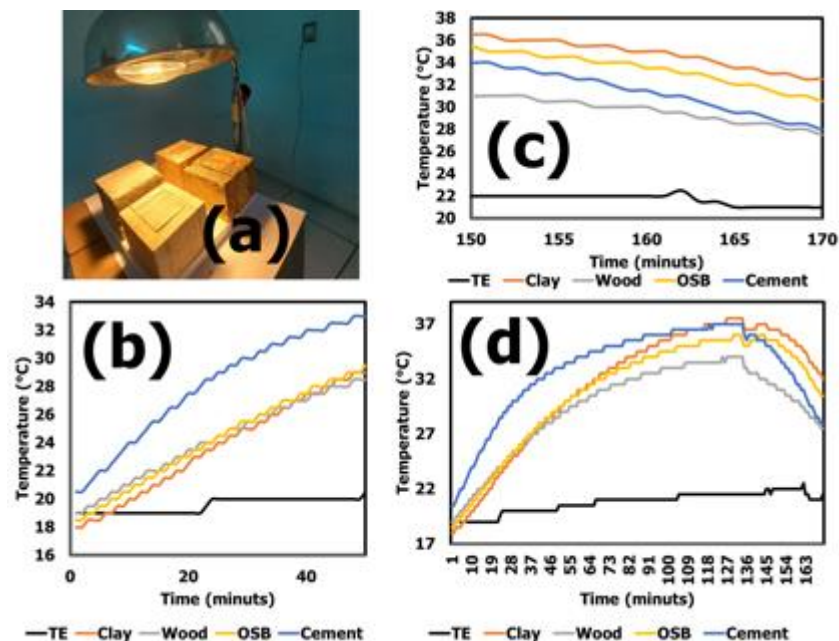


Figura 4.2 Arreglo experimental, a) disposición experimental, (b) aumento de temperatura en las cavidades del prototipo analizado (c) enfriamiento de los prototipos (d) comportamiento térmico durante la prueba de calentamiento y enfriamiento. Fuente propia

La Figura 4.2, muestra que el material de cemento puede alcanzar temperaturas máximas de hasta 34°C y una temperatura mínima de 21°C de 0°C 40 °C, a comparación de los otros materiales. En cambio, en el enfriamiento el material de arcilla resulta guardar la temperatura, su descenso es poco en 20 minutos de diferencia (en este caso de 36°C a 34°C de 150 a 170 minutos). Por último, la prueba de comportamiento térmico muestra que el material de biomasa (madera), resulta tener mejor comportamiento, lo cual permite inferir que al adherirse a matrices de materiales con resistencia mecánica alta como la arcilla y el cemento, podrían dar resultados alentadores.

Este comportamiento térmico también se observó mediante el análisis termográfico que se muestra en la Figura 4.3

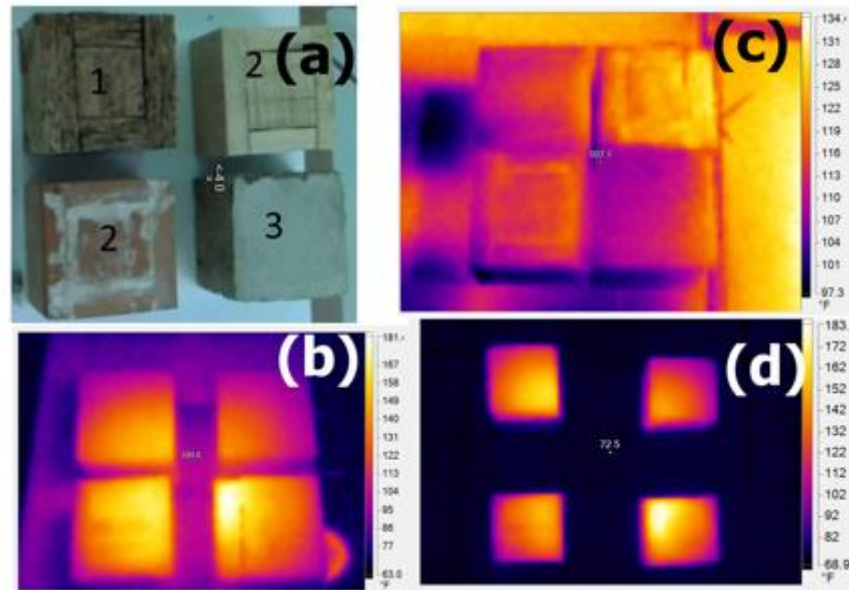


Figura 4.3 Análisis de prototipos: (a) prototipos analizados (b) aumento de temperatura a 1 hora de irradiancia de energía constante (c) comportamiento térmico a las 2 horas (d) temperatura final alcanzada. Fuente propia

La Figura 4.3, muestra el análisis térmico detectado con la cámara térmica, el aumento de la temperatura fue detectado de 40°C a 56°C, siendo el material de madera, el que aumenta la temperatura en 1 hora de irradiancia, en la medición del análisis de 2 horas, 17.2°C a 82.22°C, siendo el material de cemento el que mayor acumulación térmica retiene, por último la temperatura final alcanzada por cada material fue 20.5°C a 83.9, siendo nuevamente el material de cemento el que mayor acumulación térmica retiene, asimismo se puede inferir que las temperaturas encontradas en este análisis, en comparación con la simulación del sargazo-cemento, muestran que el material sargazo-cemento, puede incorporarse a cualquiera de estos materiales para ser un material alternativo de construcción y de revestimiento y generar temperaturas estables y agradables para el usuario, además de no perder su resistencia mecánica.

Posteriormente, se analizaron los pellets desarrollados con la variación de cemento portland y cemento. La Figura 4.4 muestra la preparación del pellet y el acomodo para realizar las mediciones de conductividad y resistividad térmicas.



Figura 4.4 Llenado de cilindros y lectura de datos. Fuente propia

Se hizo el arreglo experimental mencionado en la metodología y se obtuvieron los siguientes resultados de conductividad, resistividad térmica de acuerdo con las diferentes proporciones (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Resultados de Conductividad y Resistividad con ibutton. Fuente propia
Resultados Conductividad y Resistividad térmica [K & R]

%S-H							
100	K [w/mK]	R [mK/w]	14		%S-C	K [w/mK]	R [mK/w]
80-20	0.044	22.42	14	1	100	0.044	22.42
	0.049	20.4	12	0.85714286	90	0.049	20.4
	0.051	19.6	10	0.71428571	70	0.051	19.6
	0.042	23.8	8	0.57142857	50	0.042	23.8
	0.029	34.48	6	0.42857143	40	0.029	34.48
	0.022	45.45	4	0.28571429	20	0.022	45.45
	0.016	52.49	2	0.14285714	10	0.016	52.49
	0.018	55.55	0	0	0	0.018	55.55

Se regularon las muestras incrementando la concentración de Sargazo en los tubos de CPVC e hicieron los muestreos con una diferencia de 2 gr cada una, y con llenado de 70%. Las Figuras 4.5 y 4.6 muestran la variación de la conductividad y resistividad en función de la concentración en peso del sargazo, respectivamente.

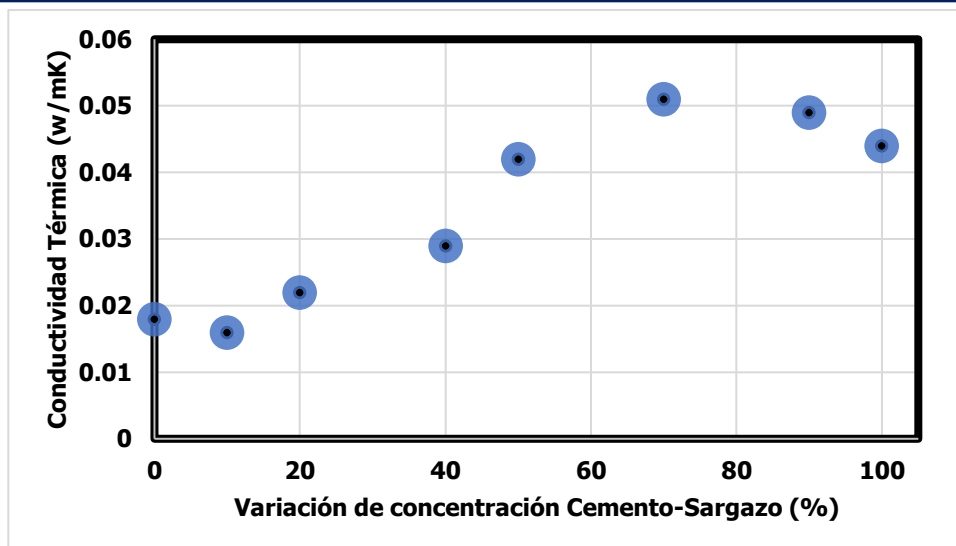


Figura 4.5 Conductividad térmica. Fuente propia

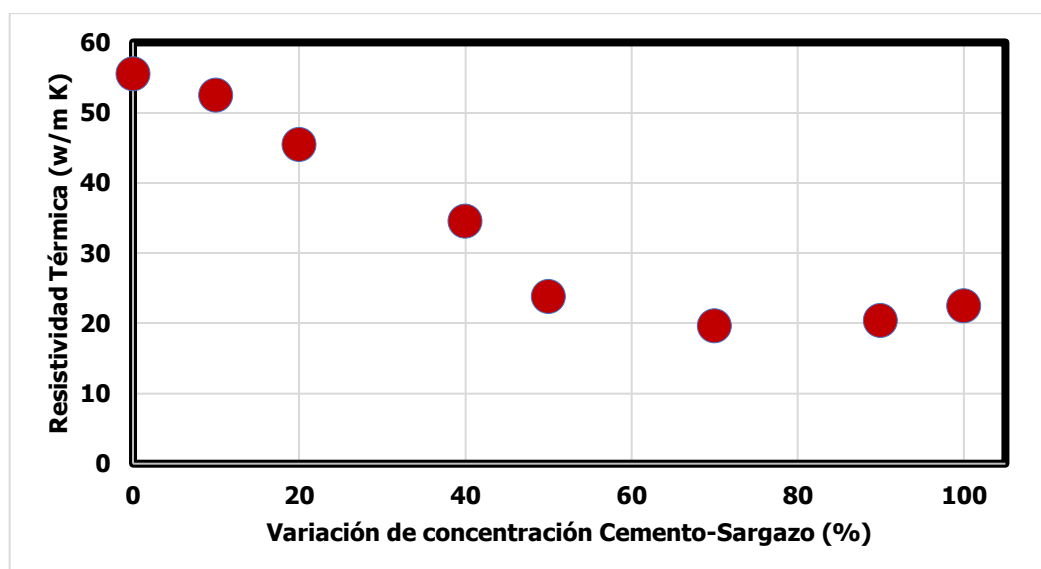


Figura 4.6. Resistividad térmica. Fuente propia

En cuanto a la resistividad térmica se observó que a mayor sargazo se incrementa la resistividad, y por ende, la conductividad es inversamente proporcional. Se resaltan dos conjeturas: la primera, que a bajos niveles de concentración se presume que serán altos niveles de resistencia mecánicas; por lo que, aunque porcentualmente mejoren las propiedades de aislamiento térmico, el valor de sustitución no puede incrementarse indefinidamente, porque perdería las propiedades mecánicas funcionales para su uso en viviendas convencionales.

Una vez concluido el análisis de propiedades térmicas, los pellets se sometieron a una prueba con irradiancia solar, cuyos resultados se muestran en la Figura 4.7

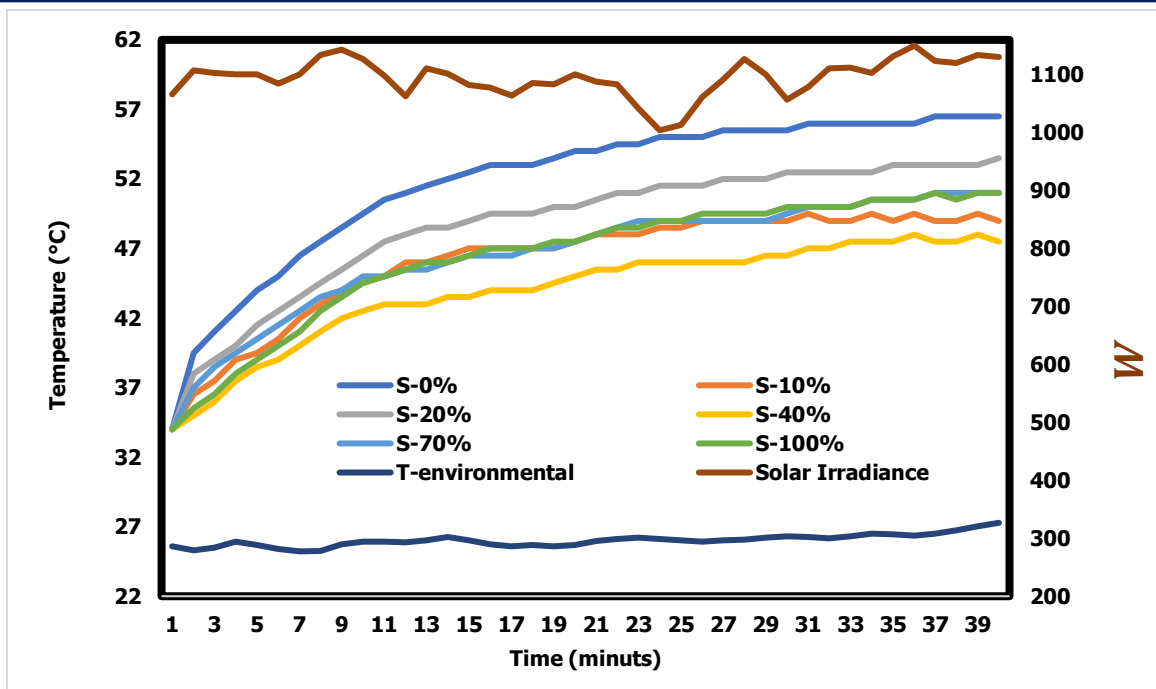


Figura 4.7 Análisis del gradiente de temperatura en los pellets (°C). Fuente propia

La irradiancia solar aplicada de variaciones de 1000 a 1100 W/m² dando resultados crecientes respecto al tiempo la saturación de 0% y 20% de sargazo presentan los picos más altos de temperatura y con una concentración de 40% de sargazo disminuye en más de 10 grados centígrados, en estos resultados también se comprueba que es mejor tener una concentración menor del 50% de sargazo y se denota la funcionalidad del sargazo como aislante térmico. Por otra parte, para generar un esquema de simulación de los datos experimentales con escenarios de predicción computacional, se realizó un análisis mediante el uso de Solid Works. La evaluación térmica realizada en el prototipo de madera 1 teniendo en cuenta la conductividad térmica de la madera de pino 0,05 W / m.K y un coeficiente de convección de 0,163 W / m².K, se puede observar en la Figura 4.8

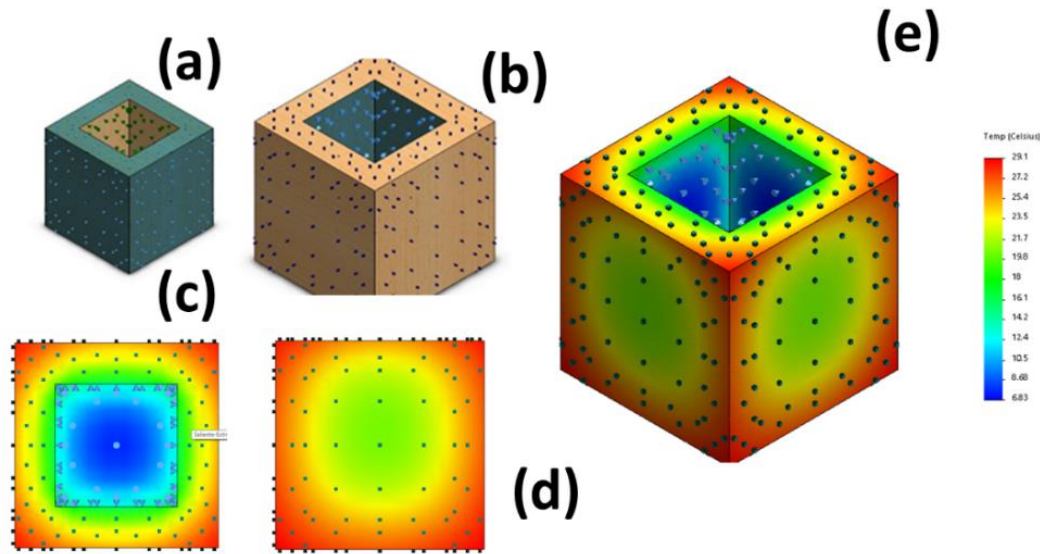


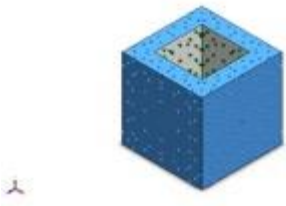
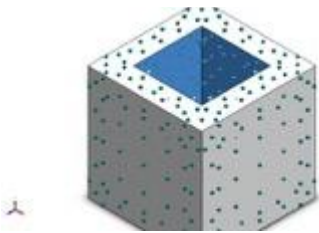
Figura 4.8 Simulación térmica del prototipo 1 (madera). Fuente propia

El resultado del análisis del prototipo 1, muestra la transferencia de temperatura del ambiente (29°C) al interior del prototipo y permite una temperatura mínima que puede tener una casa con un material de madera de pino de $6,83^{\circ}\text{C}$ y una máxima de $29,1^{\circ}\text{C}$. La Figura 4.8 (a) muestra las caras externas del análisis, (b) muestra las caras seleccionadas para la convección de calor en el interior, (c) muestra la diferencia de temperatura de afuera hacia adentro, (d) muestra una cara lateral, (e) muestra una vista isométrica del prototipo con la distribución de temperatura total. El segundo prototipo es un sistema de cemento con sargazo (véase Tabla 4.2 y 4.3), la conductividad térmica es de $0,002\text{ W / m.K}$ y el coeficiente de convección es de $2,5\text{ W / m}^2\text{.K}$.

Tabla 4.2. Propiedades del Material de cemento. Fuente propia

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: Concreto 5% Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Conductividad térmica: 2.5 W/(m.K) Densidad: 2400 kg/m³	Sólido 1 (CONCRETO)
Datos de curva:N/A		

Tabla 4.3. Cargas térmicas del material de cemento. Fuente propia

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Radiación-1		Entidades: 6 cara(s) Radiación Tipo: Superficie a ambiente Temperatura ambiente: 30 Celsius Emisividad: 1 Factor de vista: 0.5
Convección-1		Entidades: 5 cara(s) Coefficiente de convección: 2.5 W/(m^2.K) Variación de tiempo: Desactivar Variación de temperatura: Desactivar Temperatura ambiente: 298.15 Kelvin Variación de tiempo: Desactivar

La transferencia de temperatura del ambiente (29 °C) al interior del prototipo, sumado a la acumulación de energía térmica, permite alcanzar un mínimo de 28.1 °C y un máximo de 30 °C en el interior del hormigón (Figura 4.9).

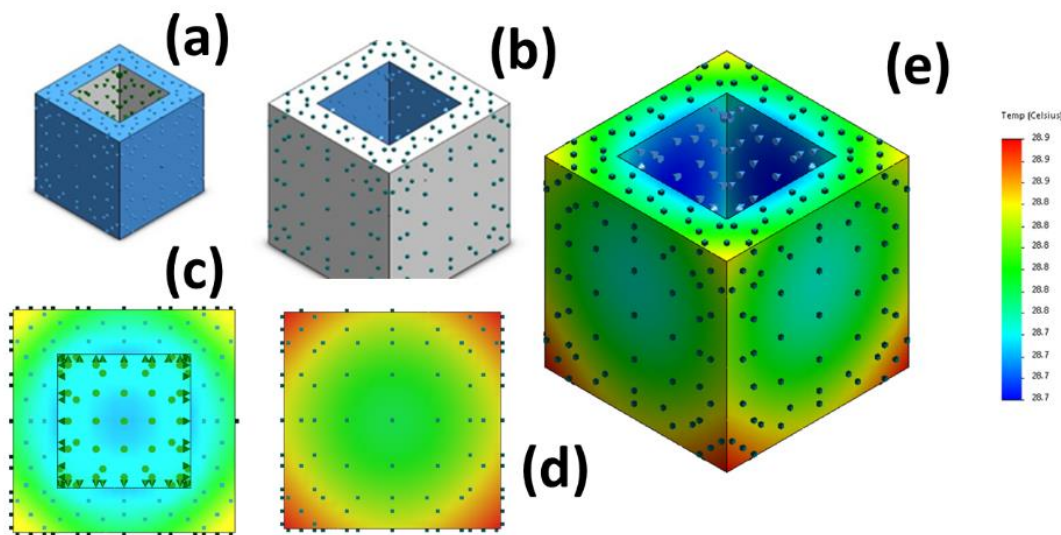


Figura 4.9 Simulación térmica del prototipo 2 (cemento). Fuente propia

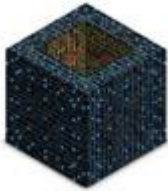
En la Figura 4.9, se muestran las caras externas tomadas para el análisis, las caras seleccionadas para la convección de temperatura en el interior, la diferencia de temperatura del exterior al interior, la cara lateral y una vista isométrica del prototipo general.

El tercer prototipo es un sistema de ladrillos de arcilla (véase Tabla 4.4 y 4.5), se utilizó una conductividad térmica de $0,78 \text{ W / m.K}$ y un coeficiente de convección de $0,6 \text{ W / m}^2\text{.K}$.

Tabla 4.4. Propiedades del material de ladrillos de arcilla. Fuente propia

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: Ladrillos Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Conductividad térmica: 0.78 W/(m.K) Densidad: 2250 kg/m³	Sólido 1(Vaciado1)(LADRILLO)
Datos de curva:N/A		

Tabla 4.5. Cargas térmicas del ladrillo de arcilla. Fuente propia

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Radiación-1		Entidades: 6 cara(s) Radiación Tipo: Superficie a ambiente Temperatura ambiente: 30 Celsius Emisividad: 1 Factor de vista: 0.5
Convección -1		Entidades: 5 cara(s) Coeficiente de convección: 0.6 W/(m².K) Variación de tiempo: Desactivar Variación de temperatura: Desactivar Temperatura ambiente: 298.15 Kelvin Variación de tiempo: Desactivar

El resultado del análisis del prototipo 3 muestra la transferencia de temperatura y acumulación térmica que permite alcanzar una temperatura mínima de $27,7^{\circ} \text{C}$ y una máxima de $29,9^{\circ} \text{C}$ (Figura 4.10).

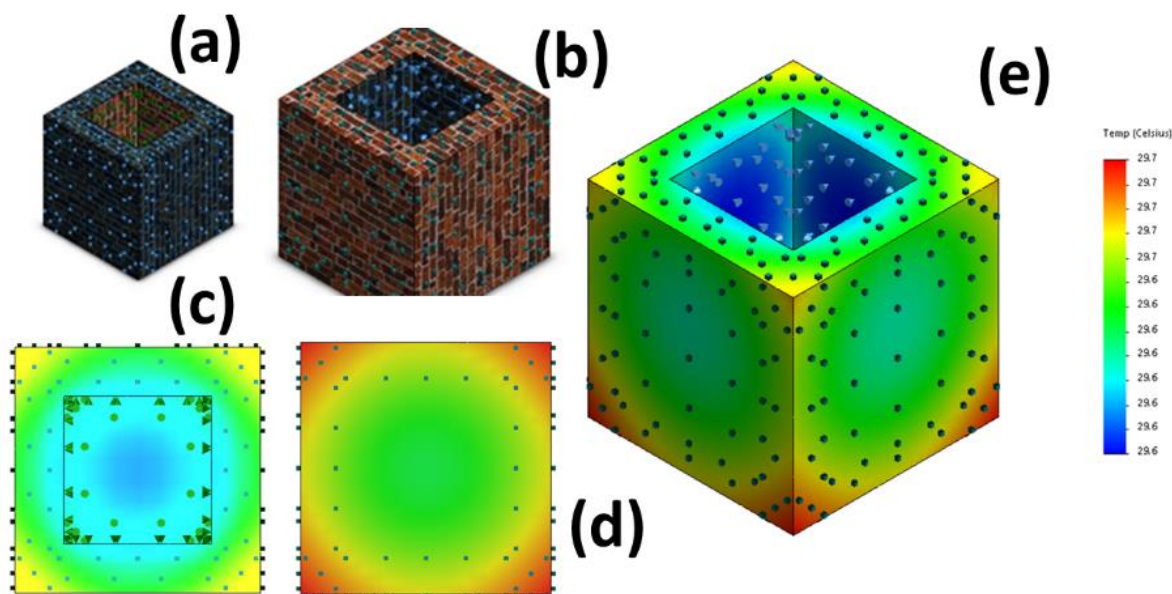


Figura 4.10 Simulación térmica del prototipo 3 (ladrillo). Fuente propia.

El cuarto prototipo es un sistema de Sargazo-Cemento (véase Tabla 4.6 y 4.7), se utilizó una conductividad térmica de 0,83 W / m.K y un coeficiente de convección de 1 W / m2.K.

Tabla 4.6 Propiedades del material de sargazo-cemento. Fuente propia

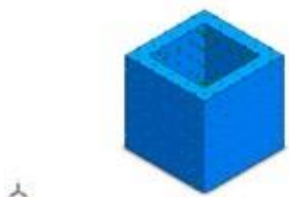
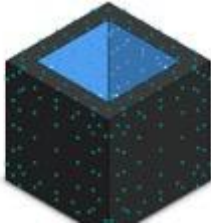
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: Sargazo-cemento Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Conductividad térmica: 0.838 W/(m.K) Calor específico: 902 J/(kg.K) Densidad: 1.43e+006 kg/m^3	Sólido 1(Vaciado1) (sargazo-cemento)
Datos de curva:N/A		

Tabla 4.7 Cargas térmicas del material sargazo. Fuente propia

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Radiación-1		Entidades: 6 cara(s) Radiación Tipo: Superficie a ambiente Temperatura ambiente: 30 Celsius Emisividad: 0.5 Factor de vista: 0.5 Variación de temperatura: activada
Convección-1		Entidades: 5 cara(s) Coefficiente de convección: 1 W/(m^2.K) Variación de tiempo: Desactivar Variación de temperatura: Activar Temperatura ambiente: 270 Kelvin Variación de tiempo: Desactivar

El resultado del análisis del prototipo 4 que está constituido por sargazo y cemento muestra la transferencia de temperatura y acumulación térmica que permite alcanzar una temperatura mínima de 9 ° C y una máxima de 30 ° C (Figura 4.11).

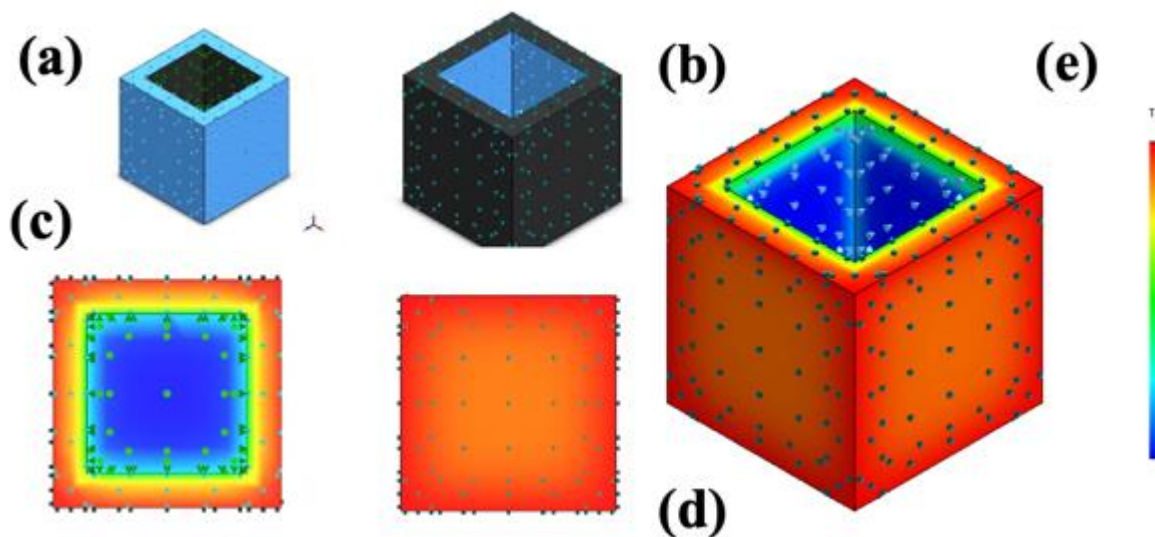


Figura 4.11 Simulación térmica del prototipo 4 (sargazo). Fuente propia.

El resultado del análisis del prototipo 4, muestra la transferencia de temperatura del ambiente (29°C) al interior del prototipo y permite una temperatura mínima que puede tener una casa con un material de madera de hecha con sargazo-cemento de 9°C y una máxima de 30°C . La Figura 4.11 (a) muestra las caras externas del análisis, (b) muestra las caras seleccionadas para la convección de calor en el interior, (c) muestra la diferencia de temperatura de afuera hacia adentro, (d) muestra una cara lateral, (e) muestra una vista isométrica del prototipo con la distribución de temperatura total.

La Figura 4.11 muestra los resultados análogos de la simulación son consistentes con el diseño experimental mostrado en las Figuras anteriores, se puede inferir que las viviendas que pueden ser construidas con materiales sargazo-cemento, de acuerdo con el análisis de simulación obtuvo temperaturas más altas que durante el confinamiento, lo que representa un desafío de adaptación para las familias mexicanas. Y, aunque la madera se utiliza con mayor frecuencia en el sector rural, este material para viviendas es el más adaptativo porque permite alcanzar temperaturas más bajas durante el verano y más bajas durante el invierno, en caso contrario en cemento y ladrillo. Ante una nueva emergencia sanitaria, las viviendas con materiales aislantes serán seguras, cómodas y resilientes para la población, por lo que se debe analizar la posibilidad de migrar a nuevos sistemas constructivos que no incentiven la construcción de viviendas que se conviertan en acumuladores térmicos.

Otro análisis de simulación para el uso de sargazo. como un material de bioconstrucción, fue el que se determinó a partir del comportamiento térmico al interior de dos casas de 5 mx 4 m y una altura de 2.50 m. simulado usando el software Solidworks ® y Energy 2D ®: (a) uno usando una mezcla de cemento-sargazo. (95-5%) con una conductividad térmica de 0,51 W/mK y (b) otro con ladrillo de hormigón para viviendas convencionales (100%), con una conductividad térmica de 0,78 W/mK, los resultados se pueden observar en la Figura 4.12

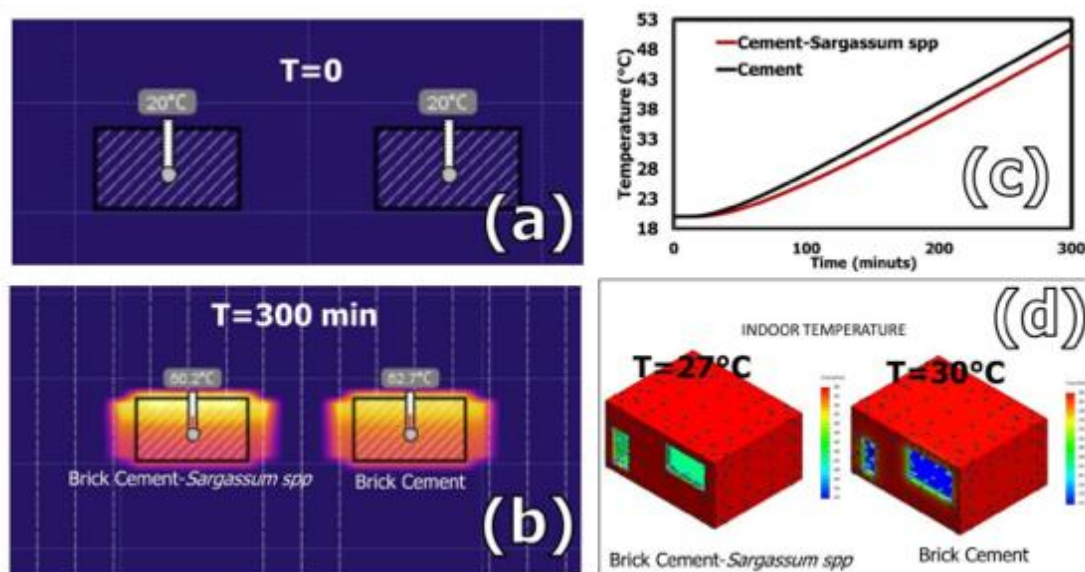


Figure 4.12 Simulación térmica en ladrillos: (a) temperatura ambiente ($t = 0$) (b) 300 minutos (c) incremento de temperatura durante la simulación (d) Simulación en casas. Fuente propia.

Los resultados de la Figura 4.12 muestran la simulación que una casa con ladrillos de cemento y sargazo mantendrá mayor aislamiento térmico que uno con ladrillos convencionales. La simulación en Energy 2D muestra que a una irradiación constante de 1000 w/m^2 , 5% de sargazo reduce el aumento de la temperatura de la superficie, los bloques de construcción en más de dos grados y, en consecuencia, reduce la transferencia y la acumulación de temperatura dentro de la casa (27°C para viviendas con sargazo y 30°C para viviendas convencionales). En lugares como Cancún, México, donde se registran altas temperaturas, este material representa una alternativa interesante. Sargazo spp. puede ser utilizado como material de bioconstrucción, y su protección térmica las propiedades brindan estabilidad para el confort térmico en los hogares; Además es un material sin valor añadido y representa un desecho que debe ser retirado y aprovechado en las costas del Caribe Mexicano.

Con esta herramienta comparativa se realizó un análisis de los prototipos en relación con los parámetros térmicos. Para ello, se requirió información precisa sobre la temperatura térmica experimental de los materiales. Con la información meteorológica ingresada, fue posible obtener simulaciones del comportamiento térmico de los prototipos, simulando que se trataba de viviendas, para diferentes épocas del año, y con diferentes características climáticas. Para esta simulación se consideró una radiación solar de 1000 a 1100 w / m². Este análisis se realizó utilizando Solid Works, que variando la concentración del sargazo se aprecian a continuación resultados más concluyentes.

La Figura 4.13, muestran los gradientes de temperatura al interior y exterior de viviendas de un nivel. Al medio día, considerando irradiancia solar de 1000W/m². En este análisis se simularon tres viviendas: una con cemento y sin sargazo (Figura 4.13a), una con cemento y 5% de sargazo (Figura 4.13b) y una con cemento y 7.5 de sargazo (4.13c). Estas variaciones consideraron viviendas con materias mayoritarios y la sustitución por sargazo fue porcentual en peso de los materiales convencionales.

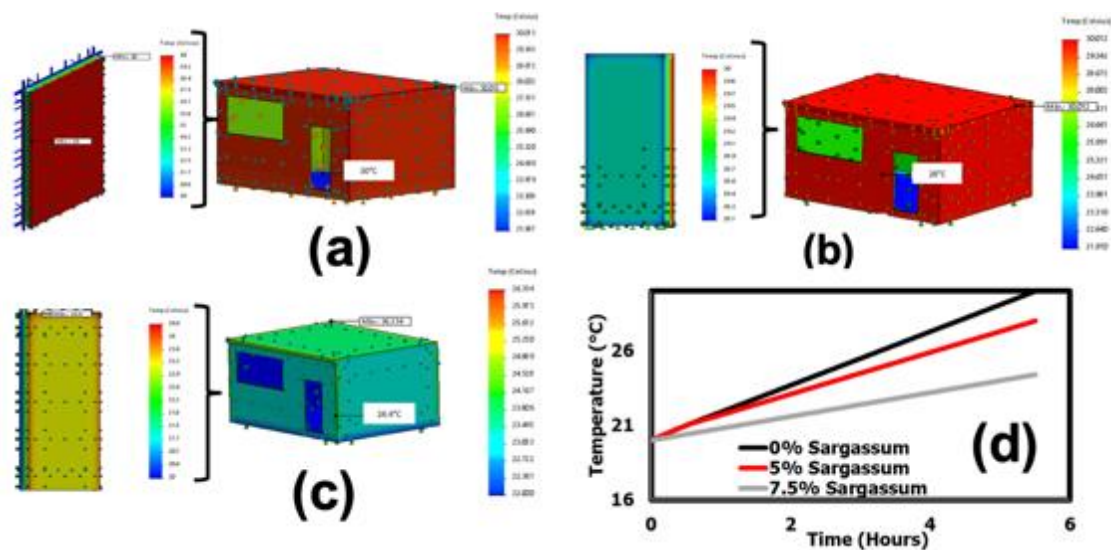


Figura. 4.13 Gradiente de temperatura en el interior de las tres viviendas analizadas: (a) materiales de cemento (b) 5% sargazo en peso (c) 7.5% sargazo en peso (d) gradiente de temperatura al interior de la vivienda. Fuente propia.

La temperatura interna fue de 22°C en la vivienda con 0% de sargazo (Figura 4.13a), de 20°C en la que se añadió 5% de sargazo a los blocks (Figura 4.13b), y de 19°C en la que se utilizó 7.5% de sargazo (Figura 4.13c). En igualdad de circunstancias para las viviendas analizadas el comportamiento de incremento de temperatura es lineal (Figura 4.13d). Aunque el análisis representa un resultado bastante hipotético, este es útil de manera preliminar para suponer el

comportamiento de la temperatura al interior de las viviendas realizadas con sargazo-cemento. Además, es un ejercicio de optimización de recursos previo al dimensionamiento, diseño y construcción de viviendas con este tipo de materiales. Una diferenciación con más de 6 °C como se ha obtenido en este análisis anticipa un uso funcional del material desarrollado en cuanto a sus propiedades térmicas como aislante y que conserva las propiedades mecánicas para su uso como revestimiento, aunque se podría mejorar para ser útil para muros y ladrillos.

4.4. Análisis del ciclo de vida

Finalmente, se realizó un análisis de ciclo de vida (ACV), para hacer la comparación de cada material, en este caso solo se consideraron el prototipo 1 y el prototipo 2, los resultados obtenidos se muestran en la Figura 4.14. Lo anterior considerando el supuesto de sustituir 5% del uso total de materiales convencionales por sargazo, es decir una reducción del 5% de materiales, se traduce en mitigación del impacto ambiental por el uso de sargazo.

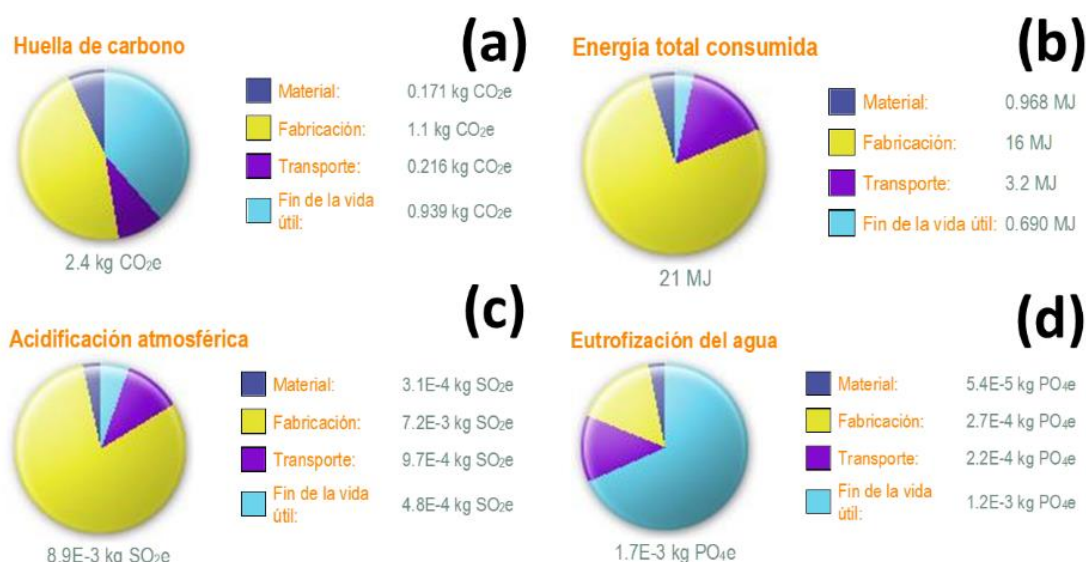


Figura 4.14 Análisis del ciclo de vida. Fuente propia.

Los resultados analizados a través del diseño informático muestran la siguiente comparación que representa un análisis del impacto de cada prototipo con sus respectivas dimensiones:

En cuanto a la huella de carbono, el cemento emite 2,4 kg CO₂e, Pino 0,537 kg CO₂e, Ladrillos 1,4 kg CO₂e, en energía consumida cemento 21 MJ, Pino 2,9 MJ, ladrillos 8,9 MJ, acidificación atmosférica el cemento emite 8,9E-3 kg SO₂e, pino 1,3 E-3 kg SO₂e, ladrillos

2.1E-3 kg SO₂e en eutrofización de agua, cemento emite 1.7E-3 kg PO₄e, pino 4.0E-4 kg PO₄e, ladrillos 1.4E-3 kg PO₄e.

4.4. Análisis mecánico

El análisis se basa en la comparación de resultados de la investigación de Figueroa-Torres [35] haciendo las pruebas de compresión uniaxial aplicada a un cilindro elaborado con mortero y 10% de sargazo arrojaron un resultado de 23.33 kg/cm² de resistencia a la carga axial, y con el uso del 5% de sargazo incrementa hasta 75.86 kg/cm² y de acuerdo a las normas complementarias del Distrito Federal, para el uso de tabique rojo o adocreto en la construcción como mínimo debe tener una capacidad de carga axial de 60 kg/cm² para el uso constructivo por lo que se recomienda el uso de sólo el 5%.

La simulación de esfuerzos mecánicos realizada en SolidWorks® muestra el soporte que tienen las estructuras construidas con blocks hechos de cemento y de cemento con adiciones de 5% y 7.5% de sargazo (Figura 4.15). Los resultados muestran que al compararse con el uso de revestimientos de cemento al 100%, las dos mezclas cemento-sargazo analizadas no presentaron deformaciones drásticas en muros homogéneos ante la aplicación de 2,500 N, evidenciando la funcionalidad de los materiales desarrollados.

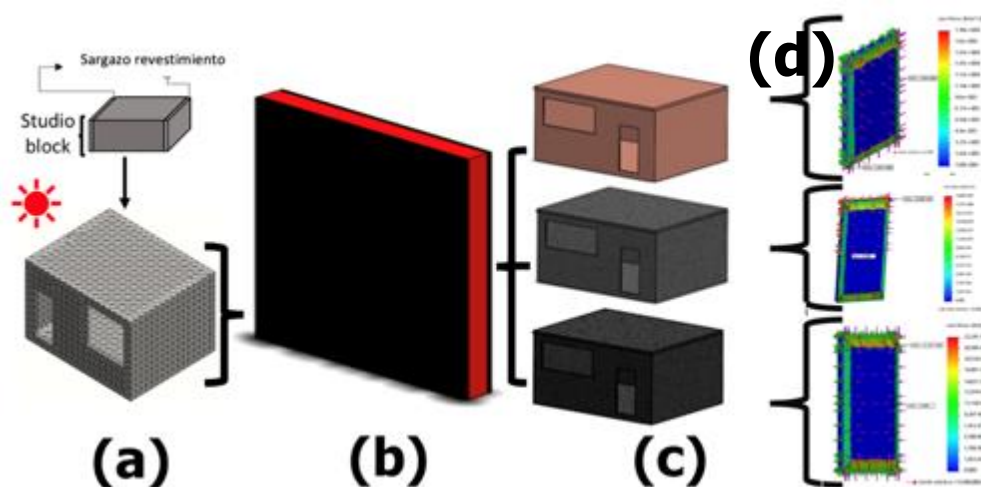


Figura 4.15 Simulación del comportamiento mecánico de muros de viviendas con revestimientos: (a) diseño del análisis en viviendas de pequeñas dimensiones (b) muro revestido con la mezcla de sustitución de sargazo (c) viviendas simuladas con 0%, 5% y 7.5% de sargazo (d) resultados de las pruebas mecánicas. Fuente propia.

Los resultados encontrados en la Figura 4.16 muestran que no existe una deformación drástica sufrida con cada una de las mezclas realizadas para el análisis en el supuesto de una

creación de una vivienda con tabiques de sargazo de una edificación, la Figura 4.15), muestra el desplazamiento de deformación con la aplicación de 2500 N de fuerza.

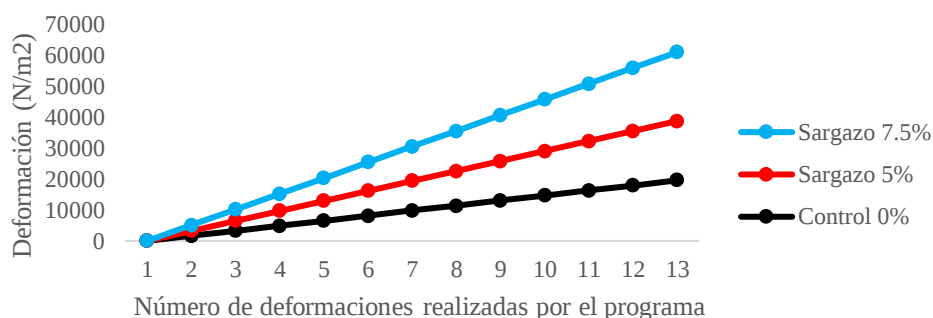


Figura 4.16. Deformaciones realizadas: (a) Mezcla de control, (b) mezcla de sargazo al 5%, (c) mezcla de sargazo al 7.5% (d) grafica de deformación en N/m². Fuente propia.

4.6. Renders

Así mismo se hizo una habitación modelo básica, que consta sólo de un cuarto de dimensiones 4x4 m y 2.5 m de altura, al fallar la losa de sargazo con mortero se propuso teja de barro. Ver Figura 4.17



Figura 4.17 Render de habitación. Fuente propia

La Figura 4.17 muestra una representación visual y propuesta de vivienda que pueden ser diseñadas y fabricadas a partir de materiales a base de Sargazo, en base a los diferentes análisis realizados anteriormente, la propuesta muestra una alternativa de construcción sustentable para zonas donde el recurso del sargazo es abundante y a la vez una problemática, ya existen pocos casos de estudio que abordan el aprovechamiento de residuos de este tipo y generar propuestas amigables con el medio ambiente.

CONCLUSIONES

La presente investigación mostró los resultados de variar la concentración de sargazo en matrices de cemento portland. El estudio se enfocó en utilizar formas mecánicas y asequibles de formación del compuesto cemento-sargazo, desde su recolección, secado, molienda e incorporación a la matriz de cemento. Se resalta que los resultados de análisis térmicos evidenciaron que la presencia de sargazo como fibra natural puede mejorar las propiedades de aislamiento térmico en sistemas constructivos que utilizan materiales cementantes. No obstante, la saturación de sustitución en peso de sargazo está limitado por las propiedades mecánicas que permiten la consistencia de materiales constructivos y proveen seguridad. Por lo que a bajas concentraciones por debajo del 10% se considera útil para cumplir con parámetros de resistividad térmica para materiales constructivos eficientes térmicamente.

En otro sentido, se demostró teóricamente que las propiedades mecánicas para bajas concentraciones de sargazo pueden ser funcional para que estos materiales puedan desempeñarse mecánicamente como revestimientos sin sufrir deformaciones considerables ante la exposición a esfuerzos mecánicos. De forma extrapolada y prospectiva se puede considerar teóricamente que a bajas concentraciones de sustitución de sargazo, algunos materiales cementantes pueden ser funcionales para ser utilizados en materiales de sistemas constructivos para viviendas de interés social, no sólo por los beneficios térmicos enunciados, sino porque esta sustitución está estrechamente vinculada con beneficios ambientales al mitigar el uso de materiales convencionales que contaminan, y también de carácter económico, que de forma escasa representaría un ahorro económico en la industria de la construcción y para fines de beneficios sociales. Finalmente, aunque este estudio es una exploración preliminar, puesto que aún falta por sistematizarse y ser más concluyente técnica y científicamente, resulta ser atractivo y motivante para profundizar en los resultados que se han mostrado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Econ, “Trabajo de grado para obtener el Título de Administrador de Empresas, de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad El Bosque, Bogotá. 2020,” 2020.
- [2] F. Koinonia, E. Joao Merchán-Carreño, Y. Holanda Campozano-Pilay, and G. Liliana Figueroa-Morán, “El manejo de los desechos tecnológicos y su impacto ambiental The management of technological waste and its environmental impact,” pp. 156–171, 2020, doi: 10.35381/s.v.v4i7.665.
- [3] H. Silva Casarín, Rodolfo Chávez Cerón, Valeria Lithgow Serrano, Debora Tsuneki, *Evaluación de la efectividad de la infraestructura verde para la mitigación del riesgo costero en ALC RG-T2675*, UNAM. Banco Interamericano de Desarrollo., 2019.
- [4] G. Martínez-González, “Sargazo: la irrupción atípica de un ecosistema milenario,” *Salud Publica Mex.*, vol. 61, no. 5, pp. 698–700, 2019.
- [5] J. Ribalaygua, R. Monjo, J. Pórtoles, E. Gaitán, and E. Díaz, “XXXIV Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española Influencia del Atlántico Norte sobre la población de la anguila europea española : relaciones en el pasado y para un cambio climático futuro,” p. 5240, 2016.
- [6] L. A. Espinosa and J. J. Li Ng, “El riesgo del sargazo para la economía y turismo de Quintana Roo y México,” pp. 1–35, 2020.
- [7] R. Elisa and V. Tussenbroek, “Florecimientos Algaes Nocivos En México,” pp. 352–365, 2014.
- [8] B. I. Van Tussenbroek, “Sargassum pelágico en las costas del Caribe Sargassum pelágico,” *Taller sobre el Conoc. la arribazón Sargazo a la costa del Caribe Mexicano Investig. manejo y Colab. multisectorial*, pp. 5–6, 2018.
- [9] E. León, A. Betancourt, G. Arias, and A. Ávila, “Vinculación comunitaria y diálogo de saberes en la educación superior intercultural en México,” *Rev. Mex. Investig. Educ.*, vol. 21, no. 70, pp. 759–783, 2016.
- [10] and A. A.-M. L. B. López-Sosa, M. Morales-Máximo, R. Anastacio-Paulino, A.

- Custodio-Hernández, J. C. Corral-Huacuz, “Electron Microscopy Characterization of Sargassum Spp. from the Mexican Caribbean for Application as a Bioconstruction Material,” pp. 3140–3143, 2021, doi: 10.1017/s1431927621010874.
- [11] M. G. Borines, R. L. de Leon, and J. L. Cuello, “Bioethanol production from the macroalgae Sargassum spp.,” *Bioresour. Technol.*, vol. 138, no. March, pp. 22–29, 2013, doi: 10.1016/j.biortech.2013.03.108.
- [12] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL*. 2018.
- [13] C. Rubio, “Bioconstrucción: Parámetros que configuran una relectura contemporánea de la Arquitectura Vernácula,” pp. 1–89, 2019.
- [14] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, and C. Pout, “A review on buildings energy consumption information,” *Energy Build.*, vol. 40, no. 3, pp. 394–398, 2008, doi: 10.1016/j.enbuild.2007.03.007.
- [15] B. Mattoni, C. Guattari, L. Evangelisti, F. Bisegna, P. Gori, and F. Asdrubali, “Critical review and methodological approach to evaluate the differences among international green building rating tools,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, no. September 2017, pp. 950–960, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.09.105.
- [16] Z. X. Hu *et al.*, “Five new secondary metabolites produced by a Marine-associated fungus, *Daldinia eschscholzii*,” *Mar. Drugs*, vol. 12, no. 11, pp. 5563–5575, 2014, doi: 10.3390/md12115563.
- [17] B. G. Hwang and J. S. Tan, “Green building project management: Obstacles and solutions for sustainable development,” *Sustain. Dev.*, vol. 20, no. 5, pp. 335–349, 2012, doi: 10.1002/sd.492.
- [18] U. S. G. B. Council, *Guía de Conceptos Básicos de Edificios verdes y LEED*, vol. 2. 2017.
- [19] M. V. F. Navarro and J. R. Martínez, “Diseño sostenible: herramienta estratégica de innovación,” *Rev. Legis. Estud. Soc. y opinión pública*, vol. 4, no. 8, pp. 47–88, 2011.

- [20] R. Dong, X. Zhang, and H. Li, "Constructing the ecological security pattern for sponge city: A case study in Zhengzhou, China," *Water (Switzerland)*, vol. 11, no. 2, pp. 1–17, 2019, doi: 10.3390/w11020284.
- [21] U. Nacional and Z. Y. Celeste, "Arquitectura +," vol. 3, pp. 40–53, 2018.
- [22] M. Song, N. Mao, Y. Xu, and S. Deng, "Challenges in, and the development of, building energy saving techniques, illustrated with the example of an air source heat pump," *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 10, no. November 2018, pp. 337–356, 2019, doi: 10.1016/j.tsep.2019.03.002.
- [23] A. S. Attia, "Traditional Sustainable Architecture Techniques and Its Applications in Contemporary Architecture : Case Studies of the Islamic House in Fatimid Cairo and Sana ' a , Cities in Egypt and Yemen," vol. 13, no. 5, pp. 266–271, 2019.
- [24] M. Zune, L. Rodrigues, and M. Gillott, "Vernacular passive design in Myanmar housing for thermal comfort," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 54, no. November 2019, p. 101992, 2020, doi: 10.1016/j.scs.2019.101992.
- [25] A. Bać, M. Nemš, A. Nemš, and J. Kasperski, "Sustainable integration of a solar heating system into a single-family house in the climate of Central Europe-A case study," *Sustain.*, vol. 11, no. 15, 2019, doi: 10.3390/su11154167.
- [26] N. Urrutia del Campo and J. Neila González, "Bioclimática, mediciones ambientales y uso de los espacios urbanos: Evaluación comparativa en la Plaza de Chamberí, Madrid," *Revistarquis*, vol. 9, no. 1, pp. 1–26, 2019, doi: 10.15517/ra.v9i1.40257.
- [27] R. Gili, "Biofilia, impacto y aplicación en arquitectura sanitaria," 2020.
- [28] P. A. Østergaard, N. Duic, Y. Noorollahi, H. Mikulcic, and S. Kalogirou, "Sustainable development using renewable energy technology," *Renew. Energy*, vol. 146, pp. 2430–2437, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.08.094.
- [29] J. F. Hoyo Jiménez, "Un futuro sostenible," *Rev. Investig. y Educ. en Ciencias la Salud*, vol. 5, no. S1, pp. 5–6, 2020, doi: 10.37536/riece.2020.5.s1.186.
- [30] J. Chu, "Solutions to Sustainability in Construction: Some Examples," *Procedia Eng.*, vol. 145, pp. 1127–1134, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.04.146.
- [31] E. San Juan, Gustavo Rosenfeld *et al.*, *Diseño bioclimatico como aporte al proyecto*

arquitectónico. 2013.

- [32] FERNANDO LÓPEZ RAMÓN, “Observatorio De Políticas Ambientales 2018,” vol. NIPO: 693-, 2019.
- [33] Energías Renovables, “Solar termoeléctrica: España, protagonista mundial,” *Energías Renov.*, no. 102, 2011.
- [34] L. B. López-Sosa *et al.*, “A new methodology for the development of appropriate technology: A case study for the development of a wood solar dryer,” *Sustain.*, vol. 11, no. 20, 2019, doi: 10.3390/su11205620.
- [35] J. César, “Determinación de las propiedades térmicas de un mortero modificado con sargazo como material alternativo en construcción Determination of the thermal properties of a modified mortar with sargassum as an alternative material in construction,” vol. 3, no. 10, pp. 1–9, 2019, doi: 10.35429/JCE.2019.10.3.1.9.
- [36] J. C. P. y J. M. Evans, “ESTUDIO COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO ENERGÉTICO DE LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA,” vol. 6, pp. 1–5, 2020.
- [37] L. D. C. Álvarez-Castañón and D. Tagle-Zamora, “Transferencia de ecotecnologías y su adopción social en localidades vulnerables: una metodología para valorar su viabilidad,” *CienciaUAT*, vol. 13, no. 2, p. 83, 2019, doi: 10.29059/cienciauat.v13i2.1121.
- [38] L. Abarca-Guerrero, G. Leandro-Hernández, I. Hasbum-Fernández, and J. Solano-Soto, “Gestión de materiales de construcción en Costa Rica para reducción de residuos: barreras y motivaciones,” *Rev. Tecnol. en Marcha*, vol. 32, pp. 65–77, 2019, doi: 10.18845/tm.v32i6.4230.
- [39] P. A. Martinez-osorio, L. C. Paschoarelli, P. Da-cruz-landim, U. E. Paulista, U. B. Brasil, and P. A. Martinez-osorio, “Diseño y artesanado: una mirada contemporánea,” 2019.
- [40] J. Dávila *et al.*, *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales E Industriales*. 2011.
- [41] U. Internacional and M. Pelayo, “Fundamentos de cristalografía.”
- [42] I. Ruiz-Mercado, E. Canuz, and K. R. Smith, “Temperature dataloggers as stove use monitors (SUMs): Field methods and signal analysis,” *Biomass and Bioenergy*, vol.

- 47, no. November 2010, pp. 459–468, 2012, doi: 10.1016/j.biombioe.2012.09.003.
- [43] L. B. López-Sosa, J. Zárate-Medina, M. González-Avilés, H. Servín-Campuzano, H. A. Calderón-Benavides, and F. C. Robles Hernández, “Into the net zero emissions and climate change control: From solid carbon waste to effective solar convertors,” *Carbon N. Y.*, vol. 191, pp. 362–373, 2022, doi: 10.1016/j.carbon.2022.01.066.
- [44] A. R. Padrón, J. Carlos, and P. Darias, “Predicción de irradiancia solar mediante modelos numéricos,” pp. 1–42, 2020.
- [45] H. Li, K. Zhong, J. Yu, Y. Kang, and Z. (John) Zhai, “Solar energy absorption effect of buildings in hot summer and cold winter climate zone, China,” *Sol. Energy*, vol. 198, no. September 2019, pp. 519–528, 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.01.047.
- [46] F. Sutter, J. Wette, and L. Valenzuela, “ENSAYOS DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE REFLECTORES SOLARES SOMETIDOS A RADIACIÓN UV Y CORROSIÓN,” pp. 1–8, 2020.
- [47] M. D. R. V. Santos, “Contaminación acústica y su incidencia en la salud de los habitantes en el cantón Santa Ana,” Universidad Estatal del Sur de Manabí., 2020.
- [48] R. O. Vercher, ““ Materiales absorbentes acústicos basados en fibras de esparto ,”” *Univ. Politécnica Val.*, 2019.
- [49] B. Marques *et al.*, “Vibro-acoustic behaviour of polymer-based composite materials produced with rice husk and recycled rubber granules,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 264, p. 120221, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120221.
- [50] R. 1947-2011 Fernández Durán and L. 1974- González Reyes, *En la espiral de la energía*. 2014.
- [51] M. A. Navacerrada, A. Pedrero, and M. Isaza, “Caracterización acústica y térmica de no tejidos, Introducción Materiales y Métodos,” *Eaa*, no. 43, pp. 1–10, 2016.
- [52] M. Portero and M. José, “Procesamiento de materiales conglomerantes: cal, yeso y cemento Apellidos, nombre,” 2020.
- [53] S. N. Toapanta Santacruz, A. G. Manosalvas Quezada, I. Industrial, and E. Superior, “Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una Mina subterránea,” vol. 6, pp. 1232–1255, 2020.

- [54] J. Yumiko, O. Rosales, E. V. Vélez, L. Alejandro, and A. Caracheo, “DESARROLLO DE DISPOSITIVO DE FLEXIÓN PARA MÁQUINA UNIVERSAL ZWICK Z050 Resumen,” vol. 41, no. 134, pp. 1339–1349, 2019.
- [55] M. Quintero, P. Rodríguez, J. Rubio, L. Jaramillo, and F. Nuñez-Moreno, “Bending and compression characterization of hollow structural elements made of recycled Tetra Pak®-Based Boards (RTPBB) and an approximated calculation of the carbon footprint involved in their production,” *Rev. Ing. Constr.*, vol. 32, no. 3, pp. 131–148, 2017, doi: 10.4067/s0718-50732017000300131.
- [56] M. Wieser-Rey, S. Onnis, and G. Meli, “Desempeño térmico de cerramientos de tierra alivianada Posibilidades de aplicación en el territorio peruano,” *Rev. Arquít.*, vol. 22, no. 1, 2019, doi: 10.14718/revarq.2020.2633.
- [57] J. M. M. del R. María Paula Cerquera López, Carolina Margarita Rodríguez Bernal, “Estrategias para mejorar el confort térmico en viviendas en Bogotá y áreas Conexas,” *Status Bim Adopt. Implement. Exp. Constr. Co. Colomb.*, no. November, pp. 671–679, 2016.
- [58] M. G. Cuitiño-Rosales, R. Rotondaro, and A. Esteves, “Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos de la construcción con tierra,” *Rev. Arquít.*, vol. 22, no. 1, pp. 138–151, 2020.
- [59] N. A. Rodríguez Muñoz, “Evaluation of the thermal performance of construction systems to reduce the energy consumption in buildings: A case study in a cold semi-arid climate,” *Acta Univ.*, vol. 30, pp. 1–18, 2020, doi: 10.15174/au.2020.2941.
- [60] J. J. C. Jorge Jossue Príncipe Jarrín, Fabián Gerardo Campoverde Bravo, “Diseño de un Cerramiento Acústico para disminuir el Ruido en una Planta Metal Mecánica Mediante el uso de Paneles Fonoabsorbentes,” pp. 1–17, 2019.
- [61] L. Haurie, M. P. Giraldo, and A. M. Lacasta, “Comportamiento de reacción al fuego del corcho,” *Congr. LIGNOMAD 19*, pp. 199–204, 2019.
- [62] A. Jorge Fontoba Ferrándiz Director José Enrique Crespo Amorós Codirector Ernesto Juliá Sanchis, ““Caracterización mecánico-acústica de nuevos materiales Eco-Composites para soluciones constructivas,”” Universitat Politècnica de

Valencia, 2019.

- [63] S. Vanney, A. Paravano, and F. Ocampo, “Carbonatación acelerada en muestras de pasta de cemento con incorporación de bacterias .,” pp. 1–8, 2019.
- [64] M. M. Máximo, M. Alexa, and D. Torre, “Diseño y análisis de un modelo de vivienda sustentable,” 2011.
- [65] P. Alcaraz, A. Jim, and M. Morales, “OBTENCIÓN DE PRODUCTOS DE OLERRESINA DE PINO MEDIANTE UN PROCESO INTEGRAL , POR MEDIO DE ARRASTRE.”
- [66] A. Bicer and N. Celik, “Influence of pine resin on thermo-mechanical properties of pumice-cement composites,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 112, no. May, p. 103668, 2020, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2020.103668.
- [67] K. T. Walsh, “Examining the Quality of a Compost Product Derived From Sargassum (Sargassum Fluitans and Sargassum Natans),” no. May, p. 57, 2019.
- [68] M. A. Salter, R. E. Rodríguez-Martínez, L. Álvarez-Filip, E. Jordán-Dahlgren, and C. T. Perry, “Pelagic Sargassum as an emerging vector of high rate carbonate sediment import to tropical Atlantic coastlines,” *Glob. Planet. Change*, vol. 195, p. 103332, 2020, doi: 10.1016/j.gloplacha.2020.103332.
- [69] D. González-Nieto, M. C. Oliveira, M. L. N. Resendiz, K. M. Dreckmann, L. E. Mateo-Cid, and A. Senties, “Molecular assessment of the genus Sargassum (Fucales, Phaeophyceae) from the Mexican coasts of the Gulf of Mexico and Caribbean, with the description of *S. xochitlae* sp. nov.,” *Phytotaxa*, vol. 461, no. 4, pp. 254–274, 2020, doi: 10.11646/phytotaxa.461.4.3.
- [70] L. A. Rosado-Espinosa, Y. Freile-Pelegrín, E. Hernández-Nuñez, and D. Robledo, “A comparative study of Sargassum species from the Yucatan Peninsula coast: morphological and chemical characterisation,” *Phycologia*, vol. 59, no. 3, pp. 261–271, 2020, doi: 10.1080/00318884.2020.1738194.
- [71] J. A. Sembera, E. J. Meier, and T. M. Waliczek, “Composting as an alternative management strategy for sargassum drifts on coastlines,” *Horttechnology*, vol. 28, no. 1, pp. 80–84, 2018, doi: 10.21273/HORTTECH03836-17.

- [72] D. Fragoso *et al.*, “Characterization of the CaCO_3 biomineral in coralline red algae (Corallinales) from the Pacific coast of Mexico | Caracterización del biomineral CaCO_3 en algas rojas coralinas (Corallinales) de las costas del Pacífico Mexicano,” *Ciencias Mar.*, vol. 36, no. 1, pp. 41–58, 2010.
- [73] I. F. H. R. Ricardo Herbé Cruz Estrada, Carlos Vidal Cupul Manzano, “Obtención de un compuesto con sargazo y plástico recuperado, con aplicación potencial como material de construcción,” pp. 0–9, 2020.
- [74] S. Subramani, F. Fernández, A. J. Dos Santos, M. del Rio, and O. López, “Efectos de la humedad en la calcita natural, aragonita y portlandita de las piedras de cal de construcción = Effects of moisture on natural calcite, aragonite and portlandite building limestones,” *An. Edif.*, vol. 5, no. 1, p. 66, 2019, doi: 10.20868/ade.2019.3915.
- [75] G. D. S.-A. A. Palafox-Muñoz, “El Ecoturismo en Quintana Roo. Análisis de sus Proyectos Comunitarios,” *El Periplo Sustentable*, vol. 38, pp. 100–133, 2020.
- [76] F. Fernández *et al.*, “Análisis Elemental Prospectivo De La Biomasa Algal Acumulada En Las Costas De La República Dominicana,” *Rev. Cent. Azúcar*, vol. 44, no. 1, pp. 11–22, 2017.
- [77] S. Schiavoni, F. D’Alessandro, F. Bianchi, and F. Asdrubali, “Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 62, pp. 988–1011, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.05.045.