

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE AISLANTES TÉRMICOS NATURALES BASADOS EN RESIDUOS DE BIOMASA PARA SU APLICACIÓN EN LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS EDIFICACIONES EN AMÉRICA LATINA

Velasco, L.; Goyos, L.; Nicolás, F.; Naranjo, C.

Departamento de Energía y Mecánica. Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE).
Sangolquí. Ecuador.

e-mail: luisvelascoroldan@espe.edu.ec

Resumen: El objetivo de la presente investigación es revertir la situación actual de absoluta insostenibilidad energética de los sistemas constructivos convencionales ecuatorianos y latinoamericanos, así como la ineficiencia energética del parque edificado mediante el desarrollo de productos y materiales aislantes útiles en toda la envolvente edificatoria en climas fríos o cálidos de alta radiación solar. El propósito es la drástica reducción de la demanda energética requerida para alcanzar las condiciones de habitabilidad interior mediante la utilización de materiales de bajo coste y limitada huella ecológica basadas en el aprovechamiento de los recursos naturales, la evolución de las técnicas ancestrales y la mejora de las técnicas constructivas contemporáneas. La metodología se basa en el análisis exhaustivo de las potenciales materias primas o residuos no valorizados para el desarrollo de productos constructivos adecuados y su evaluación mediante instrumentación normalizada de sus características mecánicas, térmicas e higroscópicas.

Palabras clave: Residuos agrícolas, aislamiento térmico, eficiencia energética, recursos naturales.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF NATURAL THERMAL INSULATION BASED ON WASTE BIOMASS FOR THEIR USE IN IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS IN LATIN AMERICA

Abstract: The main objective of this research is to reverse the current situation of absolute energy unsustainability of Ecuadorian and Latin American building systems. The existing buildings are clearly inefficient from the energy consumption perspective. Through the development of products and insulation materials useful in the envelope of the buildings both in cold weather or warm high solar radiation, we will achieve the objective. The purpose of this research is the drastic reduction of the energy demand required to achieve internal comfort conditions using low cost insulation materials and limited ecological footprint based on the exploitation of natural resources, the evolution of the ancient techniques and improved contemporary construction techniques. The methodology is based on a thorough analysis of potential raw materials or recycled waste that is not suitable for the development of construction products. Simultaneously, evaluating raw materials takes place by standardized mechanical, thermal and hygroscopic properties instrumentation.

Key words: Agricultural waste, thermal insulation, energy efficiency, natural resources

INTRODUCCIÓN

Los grandes movimientos migratorios y un mal entendido “progreso económico o social” que se le presupone la construcción basada en materiales industrializados en sustitución de los materiales tradicionales, viene derivando en América Latina en el abandono paulatino de los sistemas de edificación popular y los saberes constructivos ancestrales. Estos vienen siendo sustituidos casi invariablemente por un modelo de construcción basado en el bloque de hormigón y la chapa de acero o fibrocemento.

Esta falta de diseños ajustados a las características climáticas, industriales y medio ambientales de la vivienda social (de promoción pública y privada) ha llevado a que los habitantes de las comunidades de climas con un cierto grado de exigencia, ya sean fríos o cálidos, a abandonar en las viviendas construidas. Las que son habitadas presentan graves problemas de confort y requieren grandes consumos de energía para su acondicionamiento térmico.

Mientras tanto, en toda América Latina, las actividades agrícolas generan muy diversos residuos no valorizados que, sumados a numerosos recursos naturales en forma de biomasa vegetal podrían convertirse en componente fundamental para muy diversos materiales de construcción (Hidalgo, 2007). Estos componentes no solo tendrían la capacidad suplir, mediante una explotación sostenible, a agregados costosos o no disponibles, si no que podrían convertirse en materia prima aislante capaz de mejorar las características térmicas de los componentes constructivos tradicionales.

Hasta el momento se han realizado investigaciones relacionadas con los residuos o recursos vegetales, los cuales en

pequeñas cantidades demuestran su capacidad de mejorar de la resistencia de los hormigones (especialmente a tracción) y una interesante reducción de los agregados pétreos de este (Berardo, 2011).

En cambio, apenas existen estudios relacionados con el potencial que atesoran gran parte de estos como base de aislamientos térmicos conductivo, no habiéndose realizado aún una experimentación en profundidad en torno a las posibilidades aislantes de la introducción de altos porcentajes de residuos de biomasa en elementos constructivos tales como: bloques, adobes, tapial o pisos de tierra estabilizados, paneles, mantas, así como la posible utilización de residuos vegetales en bruto confinados en cámaras.



Figura 1. Biomasa de bagazo, pajonal, cacao mineralizado con cemento, raquis de palma, cascarilla de café, y cascarilla de arroz.

El objetivo de la presente línea de investigación es por lo tanto el desarrollo de cualquier aspecto que experimente en torno a las posibilidades de desarrollo de dichos materiales constructivos aislantes bajo el

prisma del bajo coste y la reducida huella ecológica. Se estima que es posible reducir las necesidades energéticas en construcciones situadas en climas fríos y cálidos de alta radiación entre un 20 y un 60%, evitando el vertido de grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera, así como reducir los costes las viviendas aisladas construidas con materiales industrializados en torno a un 30%.

En aislamiento térmico en la envolvente edificatoria depende principalmente de la dificultad al paso de la energía a través del elemento constructivo que ofrecen el aire que contenidas en dicho material al bloquear este la transmisión de energía por conducción. El propio crecimiento vegetal de algunas especies genera de forma natural tallos, cortezas o espigas que albergan en su interior celdas de aire compartimentadas que pueden conformarse como una excelente materia prima de aislamiento.

Otra importante hipótesis a investigar es como aglomerar, constituir paneles o disponer en cámaras dichos materiales de forma que su propia disposición genere pequeños espacios de aire entre las propias fibras, semillas, cáscaras, etc., igualmente válidas como múltiples cámaras de aire interpuestas al paso de la energía.

Las biomásas iniciales de estudio serán aquellas producidas o desechadas en zonas climáticas en las que el aislamiento térmico pueda suponer ahorros energéticos relevantes o mejorar considerablemente las condiciones de habitabilidad tal como se mostraron en la figura 1: pajonal y totora en climas frío de montaña o páramo y el bagazo, cascarilla de café, cacao y arroz, raquis de banano o palma africana y desechos de bambú en climas cálidos o de alta radiación solar. Las biomásas de estudio han sido seleccionadas desde criterios de la

sustentabilidad de su explotación de forma que su utilización no comprometa el ecosistema en el cual se implantan.

A pesar de enorme potencial aislante que atesoran, una investigación en torno a las fibras vegetales centrada exclusivamente en el estudio de la conductividad térmica y la transferencia de calor estarán abocada al fracaso. Será imprescindible abordar la investigación desde una perspectiva integral que evalúe todos los aspectos físicos, higroscópicos y mecánicos, así como cualquier aspecto que pueda condicionar la implantación de los aislantes desarrollados a la dinámica constructiva económica y social de su entorno.

Por lo tanto, la sustentabilidad de las soluciones a desarrollar no será evaluada exclusivamente desde el prisma energético, sino por un análisis completo y exhaustivo del ciclo de vida de los materiales a desarrollar, la utilización de materias primas renovables y accesibles que permita la mejora de hábitat de la población sin capacidad económica para la utilización de materiales de aislamiento industrializados.



Figura 2. Totoro o Typha. Tallos

A consecuencia de ello, se considera imprescindible abordar el desarrollo de productos de alta eficiencia energética de

producción local manufacturados mediante técnicas de autoconstrucción, cuya explotación no comprometa la propia sostenibilidad de los recursos. Para ello, el desarrollo de productos y materiales parte del conocimiento y técnicas constructivas ancestrales, con el objetivo de mejorarlas, no de sustituirlas.

Dicha aproximación no sólo se justifica en el interés y sustentabilidad de la arquitectura vernácula sino que pretende vencer posibles inercias constructivas que pudieran dificultar la implantación de materiales o técnicas excesivamente innovadoras, integrándose en el sistema de producción y consumo de materiales de construcción ya establecidos.

METODOLOGÍA

La metodología de investigación propuesta se estructura en base al estudio exhaustivo de cada una de las biomásas detectadas en zonas climáticas frías o cálidas de alta radiación. Para cada una de estas, una vez analizado su potencial aplicación a parte o partes de la envolvente edificatoria, se detectarán las variables de estudio que permitan determinar su idoneidad y sus características.

De esta forma se evalúa su localización, su producción o cantidad de desechada, así como su valorización actual, sus características físicas, químicas o higroscópicas, su compatibilidad y sus posibilidades de aglomeración con otros materiales de construcción tradicionales o contemporáneos, así como sus posibles agentes destructores.

El siguiente objetivo de la investigación será determinar la conductividad térmica de las distintas biomásas seleccionadas mediante instrumentos homologables de certificación

según las normas, así como sus posibles aglomeraciones o panelados. Para alcanzar dicho objetivo se ha desarrollado en el Laboratorio de Energías renovables del Departamento de Energía Mecánica un aparato de medición de conductividad de placa caliente según la Norma ASTM. (Method, 2013)

Con el objetivo de evaluar cualquier parámetro que implique la factibilidad, así como la sostenibilidad energética, social y económica de las soluciones propuestas se determinarán una serie de variables de control a evaluar para cada solución constructiva a desarrollar que puedan aportar conocimiento en torno a un campo complejo aún por investigar, tales como la resistencia y deformabilidad, la absorción de agua (durante el curado o por capilaridad frente a lluvia o nieve), su granulometría y compacidad (en procesos de fabricación manual o mecanizada), sus dimensiones más adecuadas y su estabilidad dimensional, la resistencia y reacción al fuego, su durabilidad, su posible exposición a ataques químicos o xilófagos, su coste, su compatibilidad con las técnicas constructivas locales, su disponibilidad y la sostenibilidad de su explotación, la complejidad de su procesamiento , etc.

PRODUCTOS Y ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS A DESARROLLAR

Muros

En zonas andinas, la base de la construcción ancestral ecuatoriana se basa principalmente en el adobe y el tapial, mientras que los muros formados por bloques huecos de hormigón constituyen en la actualidad la práctica totalidad de los cerramientos verticales construidos, pese a que en determinadas zonas con presencia abundante de arcillas mantienen sistemas

constructivos de ladrillo cocido.

En las áreas de costa y amazonia los muros se construyen tradicionalmente con tablas de madera o fibras vegetales. La utilización de cualquiera de estos tipos constructivos en zonas frías o cálidas de alta radiación no aporta el imprescindible aislamiento térmico a los muros que eviten demandas energéticas desproporcionadas y situaciones de discomfort térmico interior.

Dados los requerimientos propios de las fachadas, en el caso de los bloques, ladrillos, adobes o tapial de biomasa-cemento o biomasa-tierra (estabilizada o no) se ensayará la conductividad, la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción, la absorción de agua y la durabilidad frente a la erosión de la lluvia. Se determinará también el coste relativo con respecto a aislamientos convencionales, así como la reducción de la huella ecológica con respecto al bloque convencional de hormigón como patrón convencional de referencia.

En torno a la fabricación de muros, existe un campo de singular interés en torno al cual ya se está investigando en el Departamento de Energía Mecánica: el carácter aglomerante que podrían atesorar las cenizas de las propias biomásas en estudio mezcladas con la propia biomasa. Su consideración comportaría que la quema de parte del material inerte reduciría en gran medida las cantidades de cemento requeridas en la mezcla de hormigón, disminuyendo el coste del producto final. La sostenibilidad ambiental de la solución dependerá del balance comparado entre la reducción de emisiones de CO₂ imputables al ahorro de cemento y las emitidas en la quema de biomasa para la producción de puzolanas.

Por todos los puntos de interés anteriores se

propone el desarrollo de:

Bloques aislantes. La experimentación en torno a compuestos de biomasa y cemento en bloques, como en la figura 3, se ha demostrado prometedora en cuanto a su conductividad térmica en elementos compuestos por hasta el 80% de biomasa, obteniéndose aislamientos térmicos que podrían reducir a un 25% la transmisión de calor a través de los cerramientos de tapial o bloques de hormigón (Salas & Veras Castro, 2012).

Lamentablemente el estado del arte en torno a este tipo de *composites* se limita a experimentos parciales en torno a un reducido arco de biomásas (Berardo, UPV - 2011), quedando por determinar el comportamiento térmico de muchas de ellas, así como sus posibilidades en la conformación de distintos tipo de muros, su resistencia, absorción de agua, durabilidad, coste, etc.



Figura 3. Ensayos de aglomerante cemento con cascarilla de arroz, cacao y bloque macizo de compuesto café, cemento y arena

De los primeros ensayos en el curso de la presente investigación se demuestra que las

fibras cortas, como el café, el cacao, el cuesco de palma o la cascarilla de arroz, son potencialmente interesantes para la aglomeración en forma de paralelepípedos (bloques, ladrillos o adobes), demostrándose un factor capital de éxito el proceso de aglomeración y curado dada la irregular y prolongada absorción de agua de los compuestos vegetales (Salazar, 1999). Las fibras largas, como el raquis de banano o el bagazo, pueden ser trituradas o cortadas para evaluar su capacidad de aglomeración en este tipo de elemento constructivo.

Será el objetivo de la fase experimental encontrar, para cada biomasa, los porcentajes máximos de esta, su posible encapsulado (Salazar, 1988), el tipo de aglomerante más adecuado, la inclusión o no de otros áridos inertes, la compatibilidad química de todos los componentes, su proceso constructivo y su curado de forma adecuada, con el objetivo de obtener la mínima conductividad manteniendo una resistencia suficiente para las prestaciones requeridas en los muros.

Ladrillos BTC aislantes. Los BTC o bloques de tierra comprimida son bloques de tierra estabilizada con cal o cemento sometidos a presión y curado al aire, como se muestra en la figura 4. (Proterra & Proterra, 2011).

Las biomásas potencialmente más adecuadas para el compuesto tierra + biomasa son aquellas largas y resistentes a esfuerzos de tracción, con un cierto grosor de forma que exista en las fibras cierta cantidad de aire encapsulado como ocurre el pajonal, el sigse, el bagazo, el raquis de banano o la totora. La investigación en este campo no derivará en una reducción de coste, pues la tierra en general no supone un desembolso como el caso del cemento, pero si en cambio una importante mejora en la

eficiencia energética del muro y consecuentemente en la habitabilidad interior.



Figura 4. Bloque de BTC y totora

Adobes o tapial. El adobe y el tapial forman parte de los saberes constructivos populares desde tiempo inmemorial. Tradicionalmente a estos elementos se les añade pequeños porcentajes de paja para mejorar su comportamiento resistente y la reducción de las fisuras por retracción. El estudio pretende investigar, al igual que en el caso de los BTC, en torno a la posible mejora aislante de estas técnicas tradicionales mediante la adición de grandes cantidades de biomasa tales el pajonal, el sigse, el bagazo, raquis de banano o la totora.

Muros de bahareque mejorado. El bahareque o muros de entramado de palos, cañas o guadua revestido de barro o mortero de cemento, ha sido y continúa siendo un sistema constructivo muy extendido en toda América Latina. El bahareque presenta interesantes características dado su bajo coste, su estructura antisísmica y su ligereza, pero una gran desventaja frente a otros tipos de muro tradicional de mayor espesor: su limitadísimo aislamiento térmico. Desde la presente investigación se vienen realizando pruebas para la utilización del bagazo como estructura tejida o superpuesta como base

aislante para recibir el revestimiento interior y exterior de tierra o cemento.

Con ello se obtendría un tipo de bahareque aislante que mejoraría en zonas frías o cálidas de alta radiación la habitabilidad interior de la vivienda con materiales de deshecho como materia prima básica, tal cual como se presenta en la figura 5. Los principales retos a superar en dicha técnica constructiva innovadora son el ataque de microorganismos o insectos así como la formación de una subestructura lo suficientemente rígida como para conformar muros de altura suficiente.



Figura 5. Muestras de paneles aislantes de bagazo para cielo raso aislante o bahareque mejorado

Pisos aislantes. En zonas frías como las del páramo ecuatoriano la temperatura de los pisos en contacto con el terreno puede alcanzar temperaturas inferiores a 5°C de forma permanente, por lo que el aislamiento térmico de este elemento es imprescindible para alcanzar el confort térmico interior (remarcar que el confort interior así como la limitación de la demanda energética de un

edificio es imprescindible aislar toda la envolvente de este ya que de otra forma los elementos no aislados pasan a convertirse en verdaderos sumideros de energía).

Las solicitaciones requeridas al material base del piso se limitan a la resistencia a la abrasión de la capa superficial y la indeformabilidad de la solera frente a las limitadas cargas que recibe. Es por ello que el compuesto de tierra apisonada o estabilizada con reducidas cantidades de cal o cemento y altos porcentajes de biomasa atesoran un enorme potencial aislante de bajo coste. El campo de investigación en pisos aislantes se abre a prácticamente todas las biomásas de estudio: pajonal, totora, bagazo, café, cacao, cascarilla de arroz, raquis de banano y residuos de bambú.

En los compuestos de biomasa-tierra + estabilizantes se ensayará la conductividad térmica y la resistencia a la compresión según las teorías de tierra estabilizada.

Paneles aislantes. Gran parte de la edificación del país y todo el continente sudamericano situado en zonas frías y cálidas de alta radiación solar presenta graves problemas de habitabilidad debido a las pérdidas de energía que se producen a través de las cubiertas así como el intenso sobrecalentamiento producido por la fuerte radiación incidente sobre estas. El problema se convierte en insostenible cuando la cubierta se construye con chapa metálica conformada o placas de fibrocemento.

La formación de un cielo raso aislante bajo la cubierta de forma que genere una cámara de aire ventilada entre cubierta y cielo raso. Reduciría las pérdidas y ganancias de energía indeseables en torno a un 80% fomentando no solo la eficiencia energética

de las nuevas construcciones, sino que permitiría la rehabilitación energética de los edificios construidos.

Dicha rehabilitación energética podría extenderse a los muros mediante trasdosados aislantes formados por placas aglomeradas de biomasa y un acabado de madera o yeso laminado. En la figura 6 se muestra la totora o typha, también usada para estos fines.



Figura 6. Totora o Typha. Panelado con colas naturales

El potencial de estas soluciones motiva que uno de los objetivos prioritarios de la presente investigación se centre en la búsqueda de un sistema económico de aglomeración de la biomasa en paneles. Por el momento se están realizando muestras con colas de carpintero o de pescado, caseínas, látex o colas de almidón.

Los primeros ensayos realizados con una prensa de acero expuesta a la radiación solar demuestran que la adición de presión y calor mejora la aglomeración del panel y reduce las necesidades de aglomerante. La presencia de hongos y el ataque de insectos

denota que será imprescindible en zonas templadas o cálidas la adición algún producto natural que preserve la biomasa e incremente la durabilidad de los paneles.

Se está investigando en la actualidad la efectividad de las resinas superficiales o los tratamientos en masa con agua de chocho, sales de bórax, las cenizas volcánicas o cemento. En cuanto a las fibras más adecuadas para este elemento constructivo se está trabajando con biomasa de fibra larga como el bagazo, el raquis de banano y la totora, dada la menor cantidad de aglomerante que precisan comparados con fibras de grano menor.

En paneles aislantes se ensayará la conductividad térmica, la deformabilidad del producto acabado así como su durabilidad de los tratamientos preservantes frente a posibles agentes destructores.

Aislamiento en masa. Determinadas biomasa confinadas en un ambiente seco y protegida de hongos e insectos puede convertirse por sí sola en un efectivo aislamiento térmico. Hasta el momento, no existe una caracterización del potencial aislante de las distintas biomasa, a excepción de cálculos (no todos realizados según norma) de especies vegetales como la paja o la celulosa dada su utilización en Europa como componente en distintos materiales de construcción.

El primer objetivo por lo tanto de la investigación será la determinación de la conductividad de las distintas biomasa susceptibles de convertirse en aislante térmico en Ecuador, de forma que sea posible mapear el país en función de las necesidades de aislamiento dadas las condiciones climáticas y los recursos naturales disponibles a tal efecto. Se está

trabajando en esta línea con biomásas como: el pajonal, la totora, el bagazo, la cascarilla de café, cacao y arroz, el raquis de banano, el cuesco o raquis de palma africana, y los desechos o residuos de bambú

DESARROLLO DE INSTRUMENTACIÓN

Una vez evaluados determinados los potenciales elementos constructivos, se han detectado las características físicas, mecánicas o higrotérmicas, así como los indicadores de sustentabilidad a controlar en cada uno de ellos. En base a estos se ha desarrollado la instrumentación necesaria para su medición de forma homologada según la norma establecida.

Conductividad térmica

El objetivo principal es la obtención de materiales que mejoren la sostenibilidad energética de los sistemas constructivos actuales por lo que será prioritario el desarrollo de materiales con el máximo aislamiento térmico mediante la inclusión de los mayores porcentajes de biomasa posibles, investigando en torno a sus posibilidades de aglomeración en función de las características de esta y el tipo de elemento constructivo a desarrollar. Para la determinación de la conductividad térmica de los distintos materiales se ha diseñado y construido un banco de pruebas para la determinación de la conductividad térmica según las normas de la ASTM (Method, 2013).

En la actualidad (octubre de 2014) no existe un banco de pruebas de conductividad homologable según la norma ASTM (Method, 2013) en Ecuador, ni material no importado que cuente con una ficha técnica que incluya su coeficiente de conductividad térmica. Es por ello que el planteamiento de un aparato fácilmente replicable de bajo coste (3000\$)

de resultados homologables puede suponer un instrumento eficaz para el desarrollo de aislamientos térmicos nacionales certificados basados o no en productos vegetales.

La norma C177-13 (Method, 2013) establece criterios de laboratorio para la medida del flujo de calor en estado estacionario a través de una muestra plana y homogénea de caras paralelas monitoreada a temperaturas constantes mediante un sistema llamado de placa caliente. El principio se basa en la determinación del flujo térmico a través de una muestra de espesor conocido y las temperaturas de las caras calientes y frías de la muestra.

La inducción de calor se produce en la placa caliente mediante un sistema de resistencias eléctricas controladas por un sistema electrónico. La placa fría, por su parte, asegura la disipación de la energía transmitida y asegurar un flujo de calor constante habilitando la aplicación de la ley de Fourier. Las temperaturas registradas en las placas frías y calientes determinan un gradiente que puede ser ajustado mediante la variación de la potencia eléctrica. Un calentamiento perimetral de la muestra alrededor de la placa caliente (mediante el llamado anillo de guarda) permite asegurar una transmisión unidireccional del flujo de energía emitida por esta de forma perpendicular a las placas y al material de muestra.

Las principales variaciones con respecto a otros modelos construidos según los criterios de las normas ASTM consiste en el montaje de un banco de pruebas que permita el ensayo de espesores variables mayores (hasta 20 cm) a los testados habituales como aislantes puros, de forma que sea posible el ensayo de compuestos de menor capacidad aislante, composición heterogénea pero

económicos y accesibles, tal como se muestra en la figura 7.

La utilización de una prensa permite evitar todo contacto entre el material de muestra y cualquier otro elemento que no sean las placas fría y caliente, eliminando cualquier transmisión no deseada de energía por conducción en la muestra. Una campana de vacío que envuelve todo el equipo permite eliminar por su parte la transmisión de energía por convección. Ambas estrategias aseguran la transmisión de la energía estrictamente por conducción a través del material interpuesto entre placas



Figura 7. Fotografía del aparato de medida

Resistencia

La resistencia es la capacidad de una estructura, de sus partes y elementos de contrarrestar una carga determinada sin descomponerse (Pisarenko, Yákovlev, 1979). Un factor clave a determinar en los productos con requerimientos estructurales será la resistencia mínima a alcanzar, dado que, con la inclusión de altos porcentajes de biomasa, esta se verá mermada con respecto a productos desarrollados estrictamente con aglomerantes convencionales como el cemento o la cal.

La resistencia exigida a los sistemas constructivos ancestrales no acostumbra a estar regulada por normativas técnicas específicas, pese a que recientemente se vienen realizando interesantes aproximaciones dentro de la construcción en tierra (Cid, Mazarrón, & Cañas, 2011).

Dicha circunstancia, forzada en parte por la imposibilidad de control estricto de sus componentes, proceso de fabricación y curado, intrínseco a dichas técnicas, podría condenar al abandono cualquier técnica no sujeta a los estrictos controles de calidad únicamente posibles mediante procesos de fabricación industrializados. Es por ello que acrecentar el conocimiento científico de las técnicas ancestrales promueve su evolución y su mantiene su vigencia.

Todavía, para el compuesto biomasa vegetal-cemento, la cinética de evolución de su resistencia mecánica durante su proceso de curado no es plenamente conocida por lo que la determinación de este para un amplio rango de biomasa resultará de especial interés.

Resistencia a la compresión

El esfuerzo de compresión es la resultante de las tensiones que existen dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada en materiales de construcción por una reducción de volumen o un acortamiento en determinada dirección (Caballero, Silva, & Bernabé, 2010).

Existe una amplia bibliografía en torno a investigaciones destinadas a la reducción de costes del hormigón mediante la sustitución de parte de los áridos por pequeños porcentajes de fibras vegetales. (Beraldo, 2011), (Robayo et al., 2013), (Salazar, 1988). En todos los casos un incremento del porcentaje de biomasa supone una disminución de la resistencia del composite,

como se muestra en la figura 8.

Pese a ello, la limitada reducción de resistencia comparada con las proporciones de biomasa introducidas en la mezcla, es suficientemente prometedor como para plantear la hipótesis de que la adición de altas proporciones de biomasa pueda reducir la conductividad térmica de la mezcla manteniendo valores suficientes de resistencia.



Figura 8. Probeta de composite formado por cemento, arena y cascarilla de arroz

En el presente estudio se han determinado por lo tanto los varios valores de referencia importantes que enmarcan la relación resistencia–conductividad investigados para cada biomasa. El primer valor hace referencia a la resistencia mínima necesaria para la utilización de los compuestos como cerramiento no estructural. Determinar la resistencia mínima a alcanzar, permitirá establecer los porcentajes máximos de biomasa y con ello los máximos aislamiento térmicos alcanzables. Dicho valor ha sido extraído por la norma española UNE 41410 (AENOR, 2008) para bloques de tierra comprimida. Dicha norma marca un valor mínimo de 1.3 MPa. En el otro extremo, el límite superior de resistencia investigado, será el marcado por la norma INEN 639 (INEN, 2012) como valor mínimo de resistencia a la compresión para la

fabricación de bloques homologables según la normativa ecuatoriana para paredes divisorias exteriores, con revestimiento sin requisitos estructurales. Dicha norma determina un valor de 2.5 Mpa.

Resistencia a la tracción

Las conclusiones establecidas en torno a la mejora de la resistencia a tracción en los compuestos de hormigón mediante la adición de todo tipo de fibras (Beraldo A.L, 2011) permiten esperar de la presente investigación compuestos que mejoren los resultados experimentales del hormigón sin biomasa. La presente experimentación permitirá ampliar considerablemente la información existente en torno al tema, de forma que será posible establecer criterios en torno a las proporciones de biomasa, dimensiones más adecuadas de las fibras, adherencia del compuesto vegetal y el aglomerante, etc. Se evaluará la resistencia a la tracción mediante el ensayo de flexión establecido en la norma INEN 265. (INEN, 1978).

Proceso de mezcla, amasado y curado

Las primeras pruebas realizadas con 7 biomazas dentro del marco de la presente investigación demuestran la importancia que el proceso constructivo y el curado de las distintas mezclas tiene en sus características mecánicas finales (especialmente de los bloques). Los valores de resistencia de los distintos composites estarán estrechamente ligados a la relación cemento-agua, a las propiedades específicas de los agregados, al tamaño de sus partículas, o la proporción entre todos sus constituyentes y la forma de efectuar la mezcla, el amasado, la compactación, así como la dinámica de curado. (Beraldo A.L., 2011) (Salazar, 1999). Es por lo tanto vital establecer una metodología clara de producción que asegure las mejores características del producto final.

Absorción de agua

La absorción de agua por parte de los materiales constructivos afecta de forma importante a su coeficiente de conductividad térmica al ocupar el agua las celdas de aire que limitaban la transmisión de energía por conducción. Es por ello que la absorción de agua de los elementos constructivos expuestos a la humedad del terreno o de la lluvia será una variable importante a determinar, así como la variación de conductividad que sufra el material frente a distintos escenarios climatológicos que puedan variar el contenido de agua por absorción.

El ensayo a realizar seguirá el protocolo de la norma UNE 41410:2008 (AENOR, 2008) que determina ensayo de absorción de agua por capilaridad consiste en el secado y pesado posterior de la muestra para su posterior inmersión parcial en agua durante 24 horas. El pesado posterior a la inmersión determinará el llamado porcentaje de absorción individual en gramos

Durabilidad y pérdida de prestaciones

Es imprescindible que las sollicitaciones requeridas a los materiales desarrollados se mantengan a lo largo de la vida útil del producto. Es por ello que se evaluarán los posibles agentes destructores a la vez que se investiga en torno a los distintos aditivos o tratamientos que habiliten la ampliación de su vida útil.

Un material durable será aquel capaz de resistir las agresiones propias o externas debidas a procesos mecánicos, físicos, químicos o biológicos (Guigou, 2001) sin perder las prestaciones para el que fue construido. Para la comprobación de la durabilidad de los materiales propuestos se realizarán una serie de pruebas físicas y

mecánicas. Del mismo modo se comprobarán de nuevo las propiedades de resistencia y conductividad al final del periodo de prueba para la comprobación de sus prestaciones.

Ensayo de erosión acelerada de Swinburne

Se trata de una prueba de ensayo destinada a la comprobación de la erosión de bloques extraída a de la Norma UNE 41410:2008 (AENOR, 2008). El ensayo consiste en dejar caer una corriente continua de agua sobre el bloque durante 10 minutos a través de un tubo de pequeño diámetro, conectado a un tanque de agua de nivel constante, cuya cabecera estará sobre la cara del bloque inclinado respecto a la horizontal. Con una varilla, se mide la profundidad de las oquedades que aparecen. Si la profundidad es inferior a 10 mm el bloque se considera apto.

El ensayo de humectación / secado tiene el objetivo de comprobar la degradación de los materiales, principalmente bloques o ladrillos de BTC frente a un ciclo repetido de humectación secado, similar al que podría exponerse a los materiales frente a la lluvia. La norma UNE 41410:2008 (AENOR, 2008) establece los criterios de ensayo que consiste en colocar la cara inferior de 2 bloques sumergidos 10 milímetros durante 30 segundos. Tras seis ciclos inmersión y secado no se deberán observar grietas, hinchamientos, pérdida de fragmentos, o eflorescencias.

Ataque de insectos u hongos

Uno de los principales impedimentos para la implantación de soluciones constructivas basadas en biomasa puede ser la limitada durabilidad de esta. Dicho problema puede ser abordado desde dos frentes. Por un lado la búsqueda de productos naturales no

tóxicos de bajo coste que permitan preservar la biomasa. El segundo es la investigación en torno a sistemas constructivos que mantengan la biomasa seca y alejada del ataque de los xilófagos, contenida de una forma que permita, cada cierto tiempo su sustitución rápida, económica y sencilla.

Ambas aproximaciones están ya siendo analizadas en los dos prototipos de vivienda que se iniciarán durante el mes de agosto y septiembre de 2014 en los terrenos de la ESPE Sangolquí e IASA I. Allí se construirán 2 laboratorios móviles que serán aislados térmicamente siguiendo las conclusiones derivadas de la presente investigación para poder, someter a una prueba real el mantenimiento de las condiciones físicas del mayor número de biomasa posibles a lo largo de un periodo suficientemente representativo de ensayo, detectando de esta forma posibles problemas de durabilidad e investigando soluciones de preservación adecuadas.

Huella de carbono

Un último indicador de sostenibilidad a evaluar será la huella de carbono de todo el ciclo de vida de los productos desarrollados comparada con las soluciones convencionalmente utilizadas. Dichos indicadores incluirán el valor del CO₂ equivalente emitido durante la fase de construcción, el vertido durante la vida útil del producto y el emitido para su reutilización, reciclaje o vertido. En el caso de materiales compuestos de biomasa será necesario incluir en dicho cómputo el CO₂ absorbido en su fase vegetativa.

Las estrategias integrales de sostenibilidad sobre las que se basa la investigación quedarán demostradas en el presente indicador.

CONCLUSIONES

El desarrollo de aislantes térmicos basados en residuos de biomasa es una línea de investigación prometedora que permitirá la mejora sustancial de la eficiencia energética y el confort térmico del hábitat en el ámbito ecuatoriano con soluciones sustentables de bajo coste.

Existen múltiples componentes edificatorios ancestrales como muros o pisos susceptibles de evolución y mejora mediante la adición de altos porcentajes de biomasa en su composición. El desarrollo de elementos constructivos contemporáneos como paneles o mantas basados en materiales vegetales permitirá la mejora de la sustentabilidad de soluciones industriales así como la reducción importante del coste de producción de estas.

Los principales obstáculos a salvar serán el conocimiento de los recursos de biomasa disponibles en el territorio, así como el potencial aislante de estos en sus distintas posibilidades de aglomeración en productos compatibles con la dinámica climática, social, económica o constructiva ecuatoriana.

AGRADECIMIENTOS

La concepción del proyecto de investigación así como su desarrollo se ha planteado en estrecha colaboración con el programa Prometeo del Senescyt, así como con las carreras de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Mecatrónica e Ingeniería Civil de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) para el máximo aprovechamiento de los conocimientos y potenciales de cada disciplina.

REFERENCIAS

AENOR. (2008). UNE 41410 Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques.

Beraldo A.L. (2011). Aprovechamiento de residuos agro-industriales como fuente sostenible de materiales de construcción. CYTED.

Caballero, M., Silva, L. y Bernabé, J. L. (2010). RESISTENCIA MECANICA DEL ADOBE COMPACTADO INCREMENTADA POR BAGAZO DE AGAVE Centro interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca . Instituto Politécnico Nacional .

Cid, J., Mazarrón, F. y Cañas, I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. Informes de La Construcción, 63(523), pp. 159–169.

Guigou, C. (2001). Durabilidad de los materiales constructivos.

Hidalgo, A. (2007). Valoración de los residuos de biomasa en la industria de la Construcción. Situación de La Industria de La Construcción .

INEN. (1978). INEN 265. Ladrillos determinación de la resistencia a la flexión.

INEN. (2012). INEN 639. bolques huecos de hormigón. Muestreo, inspección y recepción, 0639.

Method, S. T. (2013). Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate.

Pisarenko, G., Yákovlev, A. y Matvéev, V. (1979). Manual de resistencia de materiales. Moscow.

Proterra, R. E. D. I. y Proterra, R. I. (2011). Técnicas de Construcción con Tierra.

Robayo, R., Matthey, P., y Delvasto, S. (2013). Comportamiento mecánico de un concreto fluido adicionado con ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y reforzado con fibras de acero. Revista de La Construcción, pp. 139–151.

Salas, J. y Veras Castro, J. (2012). Materiales de construcción con propiedades aislantes a base de cascara de arroz. Informes de La Construcción, 37(372), pp. 53–64.

Salazar, J. (1988). Dosificación de hormigones ligeros con cascarilla de café, pp. 51–56.

Salazar, J. (1999). Determinación de la condición saturada y seca superficialmente de otragados para hormigón ligero. Curso de Evaluación de Impactos Ambientales, pp. 9–14.

Fecha de recepción: 25 de septiembre de 2014

Fecha de aceptación: 11 de noviembre de 2014