

REVISIÓN DEL CÁÑAMO, SISTEMAS CONSTRUCTIVOS SOSTENIBLES HEMPCELL Y HEMPCRETE.

REVIEW OF HEMP, SUSTAINABLE CONSTRUCTION SYSTEMS HEMPCELL AND HEMPCRETE.

Oscar Jara Vinueza

Centro Ecuatoriano de Biotecnología y Ambiente, Ibarra, Ecuador.

Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

Recibido: 10 Octubre 2020

Aceptado: 11 Diciembre de 2021

RESUMEN

El sector de la construcción posee un desproporcionado consumo de materiales, uso de energías fósiles y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por la combustión de estos, generando contaminación ambiental. El desarrollo de materiales, sistemas constructivos sostenibles, con productos y subproductos de fibras naturales, de plantas de rápida regeneración como el cáñamo son un campo de acción prometedor debido a sus cualidades y propiedades higrotérmicas y acústicas de aislamiento; siendo un potencial de impacto de bio economía. Este es el caso de Hempconcrete y Hempcell; estos elementos provienen de la mezcla de cañamiza con cal para fabricación de bloques y paneles de fibras entrelazadas, textiles y geomallas de alta densidad en cáñamo con soportes de fibra de madera.

ABSTRACT

The construction sector has a disproportionate consumption of materials, use of fossil fuels and greenhouse gas (GHG) emissions from their combustion, generating environmental pollution. The development of materials, sustainable construction systems, with products and by-products of natural fibers, of fast regenerating plants such as hemp are a promising field of action due to their qualities and hygrothermal and acoustic insulation properties; being a potential impact of bio economy. This is the case of Hempconcrete and Hempcell, these elements come from the mixture of hemp with lime to manufacture blocks and panels of interlaced fibers, textiles and high-density geogrids in hemp with wood fiber supports.

KEYWORDS: Hemp, Construction system, Hempconcrete, Hemcell.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático y la co-responsabilidad de las industrias en el consumo de materias primas que en, su fabricación resulta en contaminación global restan recursos primarios acompañados de crisis energéticas. Siendo urgente soluciones constructivas e innovaciones en carbono neutro, que mitiguen el uso de materiales contaminantes.

La población mundial está creciendo a un ritmo acelerado al igual que sus necesidades y espacios construidos para habitarlos. Según datos de Aim2flourish (2019) Instituto de investigación; para el año 2100 habrá 2 mil millones más de personas; con la adición de nuevas viviendas que crearán, presión sobre la tierra, en términos de las emisiones de carbono, así como en la utilización de recursos no renovables. Siendo esta una oportunidad de crear procedimientos desde la construcción

mejorando entornos de vida de las personas y el clima de manera sostenible (Aim2flourish, 2019).

El cultivo de cáñamo en su historia data de hace más de 5.000 años (Gabrielová, 2005); como una planta de rápido crecimiento, sus semillas, flores, fibras y tallos leñosos fueron aprovechados como alimento, medicina, elaboración de papel, textiles y materiales de gran resistencia; ahora una fibra vegetal aplicada para la producción y procesamiento de derivados industrializados.

Edificios “ecológicos” han ido ganando espacio desde los años 1990, descubren su eficiencia y una visión sostenible del consumo de recursos y servicios básicos, debido al equilibrio en diseño y materialidad planificada, respetuosa con el medio ambiente y uso de sistemas constructivos y tecnologías alternativas.

En la actualidad los materiales derivados del cáñamo son vistos como una biotecnología. Para Pervaiz y Sain (2017) permiten un alto almacenamiento de carbono debido al CO₂ atrapado durante su fase de crecimiento agrícola. El cáñamo, apenas es utilizado en un porcentaje reducido en la construcción, en el sector de la vivienda y pequeña infraestructura, debido a la prohibición de su cultivo y uso por el contenido de Tetrahidrocannabinol (THC) componente psicopático del cannabis. Agrocrete de GreenJams (fig.1) han desarrollado la fabricación de bloques ecológicos de cáñamo con residuos agroindustriales, como modelo ecológico productivo de eficiencia energética.



Fig. 1. Pared elaborada por Agrocrete by GreenJams.
Fuente: Tarun Jami, 2017)

Para el caso de cáñamo industrial el porcentaje de THC está entre 0,2% y 0,3% valores bajos, determinados por cada país para ser cepas elegibles para el registro del catálogo común en el caso de la Unión Europea (UE) como especies de producción, cultivo y cosecha industrial. Es robusto y versátil usado como material sostenible en la construcción arquitectónica y diseño de viviendas e infraestructuras habitables.

La existencia de mampuesto revestidos de esta fibra natural y materiales bio degradables son algunos referentes desarrollados; donde se observan mezclas con agregados finos y gruesos más aglomerados, con nanotubos de carbono para obtener morteros de cemento cáñamo, de yeso cáñamo y de cal cáñamo, con dosificación y mezclas distintas (Ingrao, et al., 2015).



Fig. 2. Hempcrete

El desconocimiento de esta fibra de sus propiedades físicas, mecánicas, acústicas e hidrófugas aplicadas en la construcción ha restado importancia a sus varias ventajas competitivas en el mercado inmobiliario sostenible, puesto que posee una responsabilidad medio ambiental en su uso, donde los materiales resultantes como Hemconcrete y Hempcell contienen características adecuadas como producto y material de elevada resistencia en mezcla, utilidad prolongada, confort térmico y como repelente natural de humedad.

La Asociación Internacional de Construcción con Cáñamo (IHBA), contempla una serie de trabajos y experiencias constructivas que referencian su uso y factibilidad. (International Hemp Building Association)



Fig. 3. Sistema HempCell y varias configuraciones experimentales

El sistema Hempcell®5 (fig.3) está compuesto por un conjunto de materiales naturales, entre los cuales, el más innovador es una mezcla de cáñamo-cal que sirve como capa aislante térmica y amortiguadora higrotérmica. Se estima que la huella de carbono de este sistema es aproximadamente un 80% menor que en los sistemas constructivos tradicionales.

En Delhi, la calidad del aire se degrada, donde el 44% proviene de los desechos de materiales de la construcción (Jami, 2017). El cáñamo crea un entorno edificado sin emisiones de carbono a la par con materiales neutros que se emplean en la construcción, que marcaran una reducción sustancial en la contaminación del aire en la India (fig.4), con un 45% en la fabricación de hormigón ecológico de cáñamo, generando impacto positivo en la agricultura pues sería la fuente principal de materiales de construcción proveniente de la agroindustria y modelo ecológico productivo, eficiencia energética, con un cerco de emisiones de carbono en el medio ambiente.



Fig. 4 Agrocrete, casa construida en Surajgarh by GreenJams.

El objetivo de esta investigación es indagar en los sistemas constructivos elaborados con cáñamo Hempcrete y Hempcell como revisión para una aplicación metodológica como estudios de caso.

Los productos constructivos fabricados bajo responsabilidad ecológica son alternativas, a partir de materias primas naturales y / o recicladas, donde su producción es de baja carga ambiental, al igual que baja es la demanda de materiales y energía fósil (Asdrubali, 2012). Estos materiales son aplicados en edificios ecológicos de forma selectiva, según el tipo de construcción; su método, el reciclaje, en como reutilizar estas materias primas iniciales; luego renovarlas como un procedimiento de bajo consumo de

recursos, en los procesos productivos involucrados (Kymäläinen y Sjöberg, 2008).

Existe también la postura de utilizar eco materiales de base biológica que remplazan a los de base sintética, elaborados con biopolímeros y minerales con diferencias en su vida útil. Los materiales fabricados de manera sostenible y de origen biológico representan una alternativa competente para optimizar la sostenibilidad ambiental de los edificios (Asdrubali et al., 2016) que eviten la emisión de gases tóxicos; proceder que contamina al interior de una construcción y posterior liberación al medio ambiente y afecte a la salud de los seres vivos.

Tenemos a la fibra de cáñamo y su aplicación en la construcción por sus propiedades mecánicas, higrotérmicas, de aislamiento acústico y de barrera de almacenamiento de carbono al igual que en su fase de crecimiento agrícola, donde capturo dióxido de carbono (Zampori y col., 2013). Las más grandes plantaciones que se encuentran en el mundo son en China, Corea del Norte, Estados Unidos, Canadá y Francia, que se emplean en su totalidad para la producción textil y de aceite de su semilla. (Lizarzaburo, 2021).

La valoración del cáñamo elaborada en Francia, su ciclo de vida como punto central, en una cadena posible de suministros derivados del cáñamo, materiales y productos para la construcción; evaluados por Scrucca y grupo investigador en el 2020 describe dos líneas de trabajo, en fibras y semillas e investigaciones aplicadas futuras para edificar con bajo impacto ambiental. El cáñamo y su gran biomasa permiten utilizar toda la planta. El análisis generado por los investigadores, son datos de inventario, e impactos ambientales considerados relevantes. Desde un sistema de cultivo, cambio de fertilizantes químicos por orgánicos y soluciones viables para un cultivo de agricultura sostenida.

En Sudamérica en Colombia, Perú y Chile crece a un ritmo del 30 % anual y se ha duplicado en los últimos años, “al 2025 se espera que llegue a los 145.000 millones de dólares” En Ecuador el costo aproximado de cultivo de cáñamo industrial es de 100.000 dólares en una hectárea productiva. El retorno en el ámbito medicinal se calcula en Ecuador, estaría entre 25.000 y 50.000 dólares por hectárea aproximadamente, pero eso está regido por los mercados internacionales. Por la ubicación geográfica, de nuestro país se pueden hacer tres siembras al año. [expreso2021](#)

La construcción ha evolucionado al igual que los códigos de edificación, siendo el caso europeo EPBD que incorpora materiales de huella de carbono reducido; generando un incremento de prácticas constructivas con materiales alternativos de fabricación en entornos y comunidades sostenibles. Se estima que, a nivel mundial, alrededor del 40% de todo el consumo de energía final se realiza en edificios. Para (Garay, 2017) garantizar la sostenibilidad del sistema energético en Europa, donde la optimización del rendimiento energético en construcciones pasivas; en conjunto con la renovación de aire al interior de sus espacios son procedimientos de diseño, que disminuyen el consumo de energía y el desplazamiento de acciones generadores de emisiones de efecto invernadero. Implementándose normativa europea en rendimiento y consumo de energía (EPBD, 2017).

El DLR Institute of Structural Mechanics desarrolló una idea innovadora en 1989: la incorporación de fibras naturales para refuerzo, por ejemplo, lino, cáñamo, ramio, celulosa. Para el Ing. Ulrich Riedel son matrices biopoliméricas a partir de celulosa, almidón o derivados del ácido láctico (tanto termoplásticos como termoestables), se crearon nuevos materiales reforzados con fibras, denominados biocompo-sites, que aún se están desarrollando. Con propiedades mecánicas comparables a los plásticos

reforzados con fibra de vidrio (GFRP) y combinaciones de fibra / matriz y retardantes de llama, que a futuro replacen al GFRP en la mayoría de los productos. En el Instituto Trukturmechanik Braunschweig de Alemania gestores de la tecnología aeroespacial, refuerzan en diversas aplicaciones de plásticos con fibra naturales (FRP) de propiedades específicas por su alta resistencia y rigidez, bajo peso y el potencial de optimización al orientar fibras (especialmente continuas) a lo largo de caminos de carga.

EL CAÑAMO

Para Adam Popescu (2018) del "The New York Times", muestra una fotografía de Oleg Sizov / TASS de la región de Kursk y un grupo de mujeres rusas clasificando gran cantidad de fibras de cáñamo en la década de 1960. The People's History en "The Thistle" (2000) menciona a restos de telas de cáñamo encontradas por arqueólogos en la Antigua Mesopotamia ahora territorios de Iran e Irak que datan del 8.000 a.C. Eduardo Souza (2020) menciona a registros similares en China que documentan el consumo de semillas y aceites de cáñamo, que datan de entre 6.000 y 4.000 a.c. El cáñamo se ha utilizado como material de construcción durante milenios en Europa y en otros lugares, pero apenas está comenzando a obtener un reconocimiento más amplio como una opción de construcción ecológica (fig.5).



Fig. 5 Mujeres rusas clasificando fibras de cáñamo en bruto en la región de Kursk en la década de 1960.

Al llegar a Europa, se usó para cuerdas y textiles para las velas de los barcos. Los

romanos y el cáñamo se emplearon para reforzar mezclas de distintos morteros, usados en sus construcciones en el siglo I a. C, en el periodo de Julio Cesar. El hormigón de cáñamo, descubierto por los Merovingios en el siglo VI en Galia ahora Francia; encontrado en los pilares de los puentes construidos con fibras de cáñamo entre mezclado, eran usadas para reforzar estas estructuras, siendo esta planta natural el material por excelencia y el más sostenible según su historia (Popescu, 2018).

Los Cultivos de Cáñamo Industrial en el continente europeo se han generado desde 1994 con 8.000Ha y entre 2012 a 2016 alcanzó un máximo de 33000Ha (Carus, 2017) la mayor superficie cultivada según TerresInovia Instituto (2017) se encuentra en Francia con 16.400Ha en el año 2017, con el apoyo de la Federación Nacional de Productores de Cáñamo Francés (NFHP), y la Cooperativa Central de Productores de Semillas de Cáñamo (CCHSP). Con estrategias comunes orientadas al desarrollo industrial del cáñamo, y como materia prima para la fabricación de hormigones y morteros aislantes que representan producto de entre 3,5 y 4 millones de euros (Nomadeis, 2012).

Los productos derivados del cáñamo industrial en Europa son: papel, aislamiento con lana de cáñamo, plásticos de origen biológico, termo comprimidos no tejidos. Mientras con los Hurds denominados como fibras gruesas, remanentes de cáñamo se utilizan como alimento, fabricación de aceites y cosméticos por su contenido de omega 3 y 6, vitamina E; acolchado hortícola de aislamiento. En la fabricación de bloques y mamposterías en el campo de la construcción, debido a sus beneficios ya mencionados, más la resistencia al fuego, resistencia sísmica y para construcción de arquitectura efímera, ligera y versátil.

La autonomía de estas construcciones con fibras naturales no convencionales, derivadas

de materiales sostenibles, por lo general es a una escala menor, según el territorio donde son implementadas. Distanciadas del mercado de la construcción convencional, debido a la distorsión de criterios en cuanto a la aplicación de estos materiales alternativos, asociados a fallas de los materiales, garantía de los mismo y su permanencia en el tiempo, con sus propiedades físicas por mencionar un de las primordiales a nivel estructural.

“En cada periodo del planteamiento de evolución de la construcción, las tecnologías anteriores o tradicionales de origen vernáculas buscan volver a emerger y reinventarse como parte del repertorio de alternativas disponibles para el desarrollo de la arquitectura contemporánea y por otro lado, este, un laboratorio de ensayo y error, donde las soluciones exitosas se convierten en lineamientos a seguir para la perfección del sistema en constante evolución.” Universidad de Berkeley (Arboleda, 2006) El edificio Gateway, es el más grande del Reino Unido, su Facultad de Bio Ciencia es una construcción elaborada; con fardos de fibras naturales y estructura mixta. El material de construcción (fardos de paja) se obtuvo de la cosecha de un campo cercano al edificio.

Las fibras de origen vegetal como el cáñamo poseen estructuras unidimensionales, siendo la longitud de estas superior a su diámetro, estas fibras celulósicas de clasificación no leñosa se diferencian por su procedencia, contenido de lignina y celulosa. Hay más de 50 especies viables conocidas en todo el mundo; utilizadas en la construcción como adaptación a recursos de un mismo entorno (Arboleda, 2006) Muchas de las aplicaciones de estas fibras no leñosas han sido subestimadas por la poca investigación técnica, científica y usos disruptivos de innovación constructiva más allá de su detalle estético y de artesanado tradicional. (Jara, 2018) La madera en la mayoría de sus especies de clasificación leñosa, son compatibles con el cáñamo, en la construcción de sistema de bajo consumo

energético no contaminante, a posibilitar diversas escalas de intervención.

METODO Y MATERIALES

La evaluación energética y medio ambiental del cultivo de cáñamo en Francia, con Método GWP 100 (IPCC, 2013) mostró resultados de 0.975 kgCO₂eq, con CO₂ absorción de -1,29 kgCO₂eq (Scrucca et al., 2020). Donde se evaluó el ciclo de vida, en sus distintas etapas y su aporte positivo o negativo para su aplicación en la construcción de edificios, ciertamente sostenibles. Se identifica una huella de carbono (FC) más baja que la absorción de CO₂ debido al carbono bio génico atrapado en el cáñamo, siendo este de impacto positivo para el desarrollo de elementos, técnicas, materiales y sistemas para la industria de la construcción por sus beneficios ambientales.

El cáñamo puede dar forma a paneles fibrosos, revestimientos, láminas e incluso bloques o ladrillos. (Souza, 2020) Productos prefabricados y su potencial impacto generador de matrices productivas internacional, como sistemas constructivos, el Hempconcrete y Hempcell; son elementos de una mezcla en mayor porcentaje de cáñamo, ante la madera. Una cañamiza, mezclada con cal genera la fabricación de bloques, materiales de aislamiento acústico y térmico, al igual que el uso de fibras entrelazadas, textiles y geomallas de alta densidad.

La investigación de propiedades de ingeniería de la fibra de cáñamo natural para reforzar ha demostrado que agregar fibras naturales a concretos puede, de hecho, mejorar sus propiedades y resistencia (Zhou et al., 2017). La tenacidad a la fractura, la resistencia a la tracción, la resistencia a la flexión, la fatiga y la resistencia al impacto se ven mejoradas (Mehta y Monteiro, 2006). Propiedades de aislamiento al adicionar fibras a una matriz de hormigón disminuye la conductividad térmica en un 25-35% (Awwad et al., 2012), permitiendo la reducción del consumo de calor

de un edificio. Reconociéndose una forma de mejorar la capacidad de absorción de energía y la resistencia al agrietamiento como ocurre con el hormigón normal (Merta y Tschegg, 2013).

Es importante mencionar que las fibras naturales, deben ser tratadas para su uso en la construcción, puesto que se ha comprobado que proporcionan una resistencia reducida a compresión y una mala adherencia, entre las fibras en una matriz o mezcla con el hormigón (Bentur y Mindess, 2007). Por lo tanto, se debe hacer uso de fibras de cáñamo naturales pretratadas, convertidas en fibras más dúctiles y resistentes a la tracción y compresión con 16,9 y 10% más alto/resistente, respectivamente (Zhou et al., 2017). Aprovechar estas propiedades mecánicas para reforzar morteros en la industria de la construcción, generaría un impacto positivo contribuyendo a un desarrollo sostenible con el medio ambiente.

MEZCLA Y PREDISEÑO DE LAS PROPIEDADES GRANULARES DE CAL Y CÁÑAMO

Los tallos de cáñamo después de ser cosechados y al pasar por distintos procesos de productivos, se generan desechos fibrosos de distintas dimensiones como la cañamiza, viruta o estopa. Estos residuos de origen vegetal se diferencian de los demás residuos de origen mineral generados en el campo de la construcción, habitualmente de áridos finos y gruesos provenientes de la mezcla de hormigón. El agregado de origen vegetal cáñamo es deformable y puede absorber hasta cuatro veces su peso en agua (Thygesen, 2006). Existen mezclas que pueden contener cantidades variables de otras fibras del exterior o medio donde crecen de los tallos de cáñamo y madera (llamada hemp hurds) en el centro. (Thu et al., 2014) Los tallos de cáñamo deben ser secados para luego ser triturados (trituradora de martillo) para luego obtener varillas alargadas que son contadas, separadas y desfibradas para obtener la cañamiza. El junquillo de cáñamo posee celulosa al igual

que el junco de totora; y pueden contener del 44 al 55% de la masa seca del tallo del cáñamo (Vignon et al., 1995).

En el estudio utilizado por Thu Nguyen (2014) y equipo investigador se identificó dos tipos de valvas de cáñamo. La primera valva de tallo cortado de cáñamo puro deshilachado, triturado y hecho vitura, al que denominan HH. La segunda valva llamada FH es una mezcla con otras fibras naturales, pero con cáñamo más fino deshilachado y triturado con una densidad menor a la primera; donde se estima una menor absorción de agua debido a esta mezcla. Se observa un criterio de "ligereza" común parámetro de las fibras y su condición de inertes ante presencia de humedad, una menor capacidad de absorción de agua en comparación a la madera que ocupa una mayor densidad y volumen en masa a comparar con HH Y FH. La cinética de absorción fue similar en ambos casos, muy rápida: los agregados secos a granel absorbieron el 50% de su capacidad máxima de agua después de un minuto (Nguyen et al., 2008). Utilizando dos métodos de análisis, el inicial es tamizado tradicional de partículas secas en muestras de 100 gramos para realizar una medición, existen desventajas por la variación de la geometría de las partículas y bajo peso. Y el secundario es un análisis Morfológico de imágenes de alta resolución digitales 2D para medir cada tipo de partícula en muestras de 5 gramos.

Es importante señalar que estos dos métodos están mal adaptados al caso de los agregados fibrosos. Puesto que el tamizado mecánico conduce a una distribución del tamaño de partícula que varía entre la distribución de longitud y anchura obtenida por análisis de imagen, y no es realmente precisa en tal caso. (Thu et al., 2014)

La mezcla con Cal común al 75% es no hidráulica con un 15% de cal hidráulica y un 10% de puzolana que intervienen en la activación de la carbonatación en el material de mezcla con cáñamo para una mayor resistencia mecánica que aumenta con el tiempo 3 meses en promedio y la resistencia al agua disminuye cuando aumenta la relación agua/cal.

La cal permite un mejor comportamiento a la compresión mecánica comparable al comportamiento de la pasta de cemento, con un módulo de elasticidad y una resistencia mucho más bajos de 4 GPa y 10 MPa, respectivamente, la relación en peso agua / cal es igual a 0,5 un poco más alto de 3.10-3 en comparación con 2.10-3 para pasta de cemento (Thu et al., 2014). El comportamiento mecánico de esta mezcla denominada hormigón de cáñamo es dúctil, deformarse hasta un 50% sin colapsar hablando de una estructura interna biológica y fibrosa flexible que, al comparar con la estructural del hormigón tradicional, esta es mineral y rígida. Las fibras de cáñamo tienen una resistencia a la tracción de aproximadamente 800 MPa (Thygesen, 2006)

La resistencia a la compresión del hormigón de cáñamo HH es baja a 28 días, a los 3 a 6 meses aumenta su rigidez como hormigón de cáñamo, pero fue constante en 40MPa. El estudio de las características mecánicas de la mezcla cal/cáñamo compacta y adecuada fabricación y composición tiene una capacidad de deformación antes de la fractura por compresión.

Material particularmente adecuado para la construcción aún más en lugares altamente sísmicos.

¿Qué son Hempcell y Hempcrete?

Son aglomerados entre fibras de cáñamo y aglutinante de cal; su maleabilidad en mezcla puede formar bloques, células o mampuesto que conforman paredes, ideales para una

construcción verde y estructuras bajas en dióxido de carbono.

Hempcell y Hempcrete son sistemas constructivos planificados con una mezcla disruptiva de fibras naturales de cáñamo con un componente mineral como es la cal, de manera compacta, dando como resultado, al hablar del sistema y su conjunto un 80% menor en huella de carbono con relación a sistemas constructivos contaminantes, buena captación de aislante térmica y como capa amortiguadora higo térmica (Garay, 2017).



Fig. Fig. 6. INMATTERIA. (2014). Ilustración comparación entre aglomerantes.

Sistemas de muros de carga a base de cáñamo Hempcrete, como estructural portante y Hempcell acompañada de prefabricados de madera; probadas en la UE (Unión Europea) con una evaluación positiva de su desempeño.

En el presente una mampostería, con un panel ligero de Hempcell y panel macizo o muro bloques de Hempcrete son aislantes de cáñamo de origen biológico, en la antigüedad su uso, en una mezcla con cal hidráulica, generaba un tipo mortero de óptimo rendimiento, en recubrimiento vertical, más una red coordinada de madera ensamblada seca, en puente termico, termo regulado.

Con estos principios, se fabrican paneles de Hempcell en la UE, con rangos de conductividad de 0.06-0.12 W / mK. 7, 8, 9y calor específico de 1300 a 1700 J / kgK 10, dentro de un compuesto relativamente denso (700 kg / m³) capacidad calorífica resultante de 1-2 MJ / m³K. (Benfratello et al., Brentrup et al., Briga-Sá et al., 2013). En mamposterías externas e internas variables, muy livianas si las comparamos con paneles o muros de bloque u hormigón armado, en envolventes construidas no sostenibles.

La descripción técnica del sistema de mamposterías Hempcell, posee un centro, a su interior de cáñamo y cal ($U \sim 0.15W / m^2K$), más un recubrimiento tablero de madera y enmarcación, (bastidor-marco) de piezas madera, en espesor de 300 mm, con membranas prefabricadas adicionales de control de humedad, para aquellos elementos de extrema exposición a intemperie; con la posibilidad de distintos tipos de revoco interior y exterior de inercia térmica. En un piloto tipo, infraestructura europea de dos plantas (fig. 7) elaborado por KUBIK en el año 2017, infraestructura experimental I+D, de eficiencia energética. Paneles de Hempcell en uniones verticales y horizontales en la planta alta y dimensiones específicas, al tomar medición de valores U de diseño. En un segundo nivel se genera una estructura de soporte específica complementaria al bastidor, con el fin de adecuar la estructura del edificio a los paneles de Hempcell, de tal forma que su integración en el edificio se realizara de manera similar a su implementación en edificios reales.



Fig. 7. (a)Vista general de la instalación de KUBIK, (b) Vista externa del sistema Hempcell , (c)Vista interna del sistema Hempcell.

Se instalaron 3 paneles para integrar uniones verticales y horizontales en la configuración de prueba. Las dimensiones particulares de los paneles Hempcell instalados dieron como resultado un valor U de diseño de 0,15 W / m²K en sensores de temperatura y humedad relativa, insertos en los paneles, para obtener datos genéricos en cinco ubicaciones a diferentes alturas de estos elementos a medir en verano y otoño del año 2015. Los resultados coinciden bien con experiencias similares con evaluaciones de energía a gran escala en edificios, y las maquetas de prueba en el Reino Unido, donde se monitorean la temperatura, la humedad relativa y el flujo de calor, han mostrado resultados prometedores, a escala real (Garay, 2017)

La mezcla de Hempcrete elaborada con cañamiza leñosa que se encuentra en el núcleo del tallo de cáñamo, más polvo de piedra caliza arena y agua se dosifica con similitud a Hempcell. Con variaciones en la composición de piedra caliza (Lime) denominada HempLime. Que también sirve como aplique, directamente en obra, con un periodo necesario de curado como un hormigón de revestimiento o enlucido. Con el transcurso del tiempo, el agua, la cal y el cáñamo, se petrifican dando como resultado una estructura extremadamente fuerte, pero, al mismo tiempo, muy ligera que puede durar miles de años y que, por su estabilidad, es idónea para zonas sísmicas ya que no se agrieta.

Bloques elaborados con Cáñamo en Australia de la empresa Hempblock (2016) en mezcla de HempLime determinaron una reducción en los tiempos de construcción y sus costos hasta en un 60%, según detalla la marca del fabricante. Las construcciones elaboradas con este

material regulan su temperatura lo que genera un menor consumo de energía, su aislamiento acústico y la resistencia al fuego, todo esto de un material natural que está a salvo de las micro/o termitas.

El bloque de cáñamo y cal Hempblock con especificación LB300 es un sistema de construcción eficiente, con 84% de cáñamo y no requieren juntas ni mortero para unir los bloques, debido a su diseño de ensamblaje perimetral de enclave. El tiempo de construcción es de solo 1 minuto por metro cuadrado. Esto es la mitad del tiempo de construcción de los materiales de construcción con un valor de aislamiento comparable. En este particular proceso, se diferencia de Hempcell puesto que no hay necesidad de listones de madera en pared o aislamientos adicionales. Las paredes se pueden revestir, y enlucir con Hemplime.

Las paredes de Hempblock son mamposterías que respiran, son higroscópicas es decir pueden absorber humedad por su contenido mineral. Permiten la transferencia de humedad a través de las paredes controlando así la humedad y la temperatura ambiente, durante todo el año, reduciendo costos de calefacción, refrigeración, y emisiones de carbono. Este sistema de construcción australiano está normado con estándares de construcción internacional. Cada Bloque LB tiene un peso de 39,68 Libras y un tamaño de 4,92 X 30,80 X 30 centímetros. La mezcla de cáñamo y cal puede variar en sus componentes, donde la piedra caliza se sustituya por Puzolana o silicio aluminoso.

Hempblock Australia posee productos ecológicos, aislantes como paneles en coordinación modular donde se insertan mantas de lana de cáñamo. Con productos y servicios en Estados Unidos. Los bloques de Hemp Block USA optimizan los tiempos de construcción reduciendo las etapas de trabajo, finalizando procesos constructivos con carbono negativo. Los bloques entrelazados y

el sistema de instalación están diseñados para acelerar el proceso de construcción, de los métodos tradicionales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estos dos sistemas constructivos de tallos fibrosos del cáñamo y su cañamiza, producto de la extracción y aglutinamiento de material sobrante proveniente al uso frecuente dedicado a sus hojas de forma medicinal.

En sustratos rústicos, bloques, enlucidos de cañamiza y mortero bastardo con baja infiltración de aire, productos como reguladores de temperatura mientras remueven dióxido de carbono en la atmosfera, al proceso de curado con el paso del tiempo pueden remover 130kg//m³ a 165kg/m³ de CO₂ a la par con la cal que reabsorbe, se petrifica la celulosa en su interior hasta volverse en el caso del bloque Hemconcrete, que se endurece como roca maciza sin dejar de ser estable en pared al pasar de los años (50 en promedio) en composición; siendo un componente hermético, aislante termico, acústico resistente al fuego que generen un 70% de ahorro de energía (calefacción) en entornos saludables con huella de carbono negativa.

Con sistemas constructivos Hempcell y Hempcrete, podemos identificar las siguientes ventajas observadas, donde la combinación con cal (piedra caliza de bajo fuego) más fibras y partículas de cáñamo de distintas dimensiones, crea una matriz higroscópica (respirable) flexible que elimina la acumulación de moho como una propiedad en el edificio o equipamientos donde se utilizó materiales elaborados con cáñamo; posee gran resistente a parásitos, puesto que no contiene albúmina. La mezcla con cal, se petrifica y gana fuerza y durabilidad.

Siendo una resultante, de materiales alcalinos, que repelen naturalmente microorganismos, e insectos como las termitas. Tiene un efecto negativo en su "piel" que los disuade de comer

o anidar en ella al hablar de las paredes de Hemblock de Sistema Hempcrete y sus propiedades mejoran con el tiempo.

Por su estabilidad, estos materiales derivados del cáñamo no se contraen, evitando así formación de micro y macro grietas. Son alternativas constructivas muy versátiles, para paredes, suelos y techos.

Hempcell y Hempcrete poseen eficiencia energética ya que sus propiedades aislantes le permiten mantener una temperatura estable al interior de los espacios envueltos con estos sistemas; en aislante acústico, penetración de ruido exterior y de reverberaciones. Generando un ambiente saludable libre de Compuestos Orgánicos Volátiles.

El Hemblock, posee propiedades superiores que los bloques convencionales. La empresa que los produce en Australia y Estados Unidos, Hempcrete con William Stanwix y Alex Sparrow, "The Hempcrete Book", detallan los beneficios de la construcción sostenible en cáñamo:

- Aislamiento térmico
- Resistente a las termitas
- Resistencia al fuego
- Elemento portante (muro portante)
- Excelente absorción acústica
- Rápido y fácil ensamblado
- Natural y saludable
- Buen acabado
- Energía eficiente
- Carbono negativo
- Resistencia a la humedad.

CONCLUSIONES

El cáñamo favorece a la construcción de edificios de consumo de energía, neutros o incluso negativos. Su periodo de crecimiento muy corto (la producción por hectárea es 4 veces mayor que el de la madera) capturando más CO₂ que los árboles. Este insumo de construcción, carbono negativo es de mayor

fortaleza que el hormigón tradicional en cuanto a sus propiedades medio ambientales descritas en los resultados. Su ligereza como producto elaborado Hempblocks, pesan una séptima parte, de gran resistente a esfuerzos físico-mecánicos que ocasione fisuras. Es ignífugo, de difícil contaminación por moho y termitas más su aislamiento altamente eficiente térmico y acústico, que permiten un costo reducido de energía en un 70%.

Una biorrefinería del cáñamo ante la rapidez del crecimiento de una super población mundial, con aumento exponencial de la construcción de edificaciones a toda escala; nos proyecta a pensar al cáñamo y sistemas derivados de esta fibra como el Hempcell y Hempcrete como materiales de carbono negativo que definan un cambio en las tendencias de métodos de construcción de manera positiva al pensar en una escalabilidad de las fibras naturales y globalizar su empleo y regeneración de estas en dos a tres cosechas al año.

El uso del cáñamo a nivel industrial de innovación tecnológica en el campo de los biomateriales y bio economía está en rápido crecimiento como es el caso de Hempcrete y Hempcell como sistema constructivo, poseen una alta valoración en países donde la regulación ha permitido la creación de infraestructuras particulares

Si bien el Hempconcrete se ha utilizado desde la 1960, solo está ganando popularidad en los Estados Unidos y Canadá en construcción de viviendas. En cáñamo constructivo también se es usado en la fabricación con una biotecnología poseedora de patente, la HempWood de Fibonacci, LLC siendo un 20% más denso que la madera de roble.

El cáñamo requiere tan solo cuatro a seis meses luego del cultivo, para cosechar, mientras que para el uso estable y densidad necesaria en la madera requiere de 20 años de madurez o más, como es el caso del roble de

60 años siendo los productos como Hemp concrete, Hempcell y HempWood alternativas más ecológicas y económicas.

La biotecnología avanza en busca de impulsar la producción y eficiencia de costos que

permitan satisfacer las necesidades y el acceso de estos productos y servicios a todo nivel, en extracción de CO₂ en una industria 4.0, procesamiento con energía solar y almacenamiento de energía en la misma materia vegetal del cáñamo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

References

Aim2flourish. (2019). *Global Discovery of Business for Good*. Retrieved from <https://aim2flourish.com/about-us>

Gabrielová, H. (2005). *Las opciones de cultivo y el uso del cáñamo en la República Checa*. Facultad de Agricultura.

Akhshik, M., Panthapulakkal, S., Tjong, J., Pervaiz, A, Sain, M., (2017). Evaluación del ciclo de vida y análisis de costos de la cubierta de belleza para motores híbridos reforzados con fibra en comparación con el vidrio contraparte reforzada con fibra. *Reinar. Evaluación de impacto*.

Awwad, E., Mabsout, M., Hamad, B., Farran, MT y Khatib, H. (2012). S testudios sobre hormigón reforzado con fibras utilizando fibras de cáñamo industrial. *Constr. Construir. Mater.* 35, 710–717. doi:10.1016 / j. conbuildmat.2012.04.119

Asdrubali, F., Schiavoni, S., Horoshenkov, KV, (2012). Una revisión de materiales sostenibles para aplicaciones acústicas. *J. Construir. Acoust.* 19, 283–312.

Asdrubali, F., Bianchi, F., Cotana, F., D'Alessandro, F., Pertosa, M., Pisello, AL, Schiavoni, S., (2016).

Benfratello, S., Capitano, C., Peri, G., Rizzo, G., Scaccianoce, G., Sorrentino, G., (2013). Propiedades térmicas y estructurales de un biocompuesto cáñamo-cal. *Constr. Construir. Mater.* 48, 745–754.

Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Kuhlmann, H., (2000). Métodos para estimar las emisiones de nitrógeno en el campo de la producción de cultivos como un insumo para los estudios de LCA en la agricultura. sector. En t. J. *Evaluación del ciclo de vida*. 5 (6), 349–357.

Briga-Sá, A., Nascimento, D., Teixeira, N., Pinto, J., Caldeira, F., Varum, H., Paiva, A., (2013). Residuos textiles como solución alternativa de material de construcción de aislamiento térmico. *Construir. Buiòd. Mater.* 38, 155–160.

Bentur, A. y Mindess, S. (2007). *Compuesto de cemento reforzado con fibra, segundo Edn*. Londres: Taylor y Francis.

Carus, M., (2017). La industria europea del cáñamo: cultivo, procesamiento y aplicaciones para Fibras, Shivs, Semillas y Flores. http://eiha.org/media/2017/12/1703_Industria_Europea_Cáñamo.

Garay, R., (2017) Eficiencia energética a través de la investigación experimental en KUBIK, 6ta Conferencia Internacional de Física de la Construcción IBPC.

Gabrielová, H., (2005). Opciones de cultivo y el uso del cáñamo en la República Checa. Ministerio de agricultura ecológica. ONG Konopa, que educa al público y a los profesionales en el potencial del uso de cáñamo.

Ingrao, C., Scrucca, F., Tricase, C., Asdrubali, F., (2016). Evaluación comparativa del ciclo de vida de las composiciones de paredes externas para soluciones de construcción más limpias en edificios.

Ingrao, C., Lo Giudice, A., Bacenetti, J., Tricase, C., Dotelli, G., Fiala, M., Siracusa, V., Mbohwa, C., (2015). Evaluación energética y ambiental del cáñamo industrial por aplicaciones de construcción: una revisión. *Renovar*.

Scrucca, F., Ingrao, C., B., Maalouf, C., Moussa, T., Polidori, G., Messineo, A., Arcidiaconi, C., Asdrubali, F., (2020). Evaluación energética y de la huella de carbono de la producción de cáñamo para su aplicación en edificios.

Stevulova, N., Cigasova, J., Estokova, A., Terpakova, E., Geffert, A., Kacik, F., (2014). Caracterización de las propiedades de las valvas de cáñamo químicamente modificado. *Materiales* 7, 8131–8150. doi:10.3390 / ma7128131

Mehta, P.K., y Monteiro, P.J., (2006). Hormigón reforzado con fibra en Concreto: microestructura, propiedades y materiales, 3ª edición (Nueva York: McGraw-Hill), 502–522.

Merta, I., Tschegg, EK., (2013). Energía de fractura del hormigón armado con fibras naturales. *Construir. Mater.* 40, 991–997. doi:10.1016 / j. conbuildmat.2012.11. 060

Nguyen T., Picandet V., Amziane S., Baley C., (2008). Optimization l'usage du béton de chanvre dans la conception d'un éco-matériau pour le génie civil», *Revue des composites et des matériaux avancés*.

Nguyen T.-T., Picandet V., Amziane S., Baley C., (2008). Bétons de chanvre: Influence de la compacité et des granulats sur les caractéristiques mécaniques», *congrès GEODIM 2008, variaciones dimensionnelles des géomatériaux, Saint-Nazaire, Francia*.

Nguyen T.-T., Picandet V., Amziane S., Baley C., (2009) Influencia de la compacidad y las características del cáñamo en las propiedades mecánicas del hormigón de cal y cáñamo, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 13: 9, 1039-1050, DOI :10.1080 / 19648189.2009.9693171

Thygesen A., (2006). Propiedades de los compuestos de polímero de fibra de cáñamo: optimización de las propiedades de la fibra mediante nuevos métodos de desfibración y caracterización de la fibra, Departamento BIO y AFM, Real Universidad Agrícola y Veterinaria de Dinamarca.

Rendimiento energético de acción concertada de edificios (2010). Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, sobre el rendimiento energético de los edificios. 13–35.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:PDF>

Popescu, A., (2018). The New York Times, muestra una fotografía de Oleg Sizov / TASS
The People's History, The Thistle 2000

Tarun, J., (2017). GreenJams fabricantes de bloques ecológicos de cáñamo con residuos agroindustriales.

Ulrich R., (1989). DLR, Institute of Structural Mechanics desarrollo de innovación con fibras.

Vignon M.R, García J. C., Dupeyre D., (1995). Explosión de vapor de chènevotte de cáñamo leñoso, Revista Internacional de Macromoléculas Biológicas. vol. 17, n ° 6, 1995, pág. 395-404.

Xiangming Zhou, X., Saini, H., Kastiukas G., (2017). Propiedades de ingeniería de los tratados fibra de cáñamo natural reforzada hormigón. Brunel de Londres, Uxbridge, Reino Unido
División de Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Mecánica, Aeroespacial y Civil, Universidad