



La investigación aplicada en el sector de la construcción 2015 - 2019

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



La investigación aplicada en el sector de la construcción 2015 - 2019

Noviembre 2019

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

Director General

Carlos Mario Estrada Molina

Directora(e) Regional

Aura Elvira Narváez Agudelo

Director Dirección de Formación Profesional

Farid de Jesús Figueroa Torres

Subdirectora (e) Centro de la Construcción

Beatriz Eugenia Cobo García

Coordinadores Académicos del Centro

Mauricio Gómez Betancourt
Martha Isabel Martínez Echeverry
Miguel Eduardo Caro Marin

Coordinadora de Formación Profesional

Amanda Londoño Parra

Líder SENNOVA Centro de la Construcción

Angela Natalia Camelo Garzón

Comité de Revisión

Diego Armando Coronel Guerrero
Angela Natalia Camelo Garzón
Fernando Benítez Montes de Oca

Compiladora

Angela Natalia Camelo Garzón

Grupo de Investigación

Tecnologías para la Innovación en la Construcción -TPIC
Categoría B. Código Colciencias
COLO165784

Asesores de la publicación

Diego Armando Coronel Guerrero
Angela Natalia Camelo Garzón

Traducción al Inglés

Luis Fernando Escamilla Soto

Corrección de Estilo

Germán Peralta Pardo

Diseño e Impresión

Casa Editorial Fusunga

Título

La investigación aplicada en el sector de la construcción 2015 - 2019

ISBN 978-958-15-0539-5

Ciudad

Cali

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

Centro de la Construcción Regional Valle

Calle 34 N° 17B - 23 Cali, Valle
Pbx: (57 2)4488470 - 4411212
www.sena.edu.co Línea gratuita
nacional:018000910270 ext 23518

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, ni genera responsabilidad frente a terceros. El autor es responsable del respeto a los derechos de autor del material contenido en la publicación (fotografías, ilustraciones, tablas, etc.), razón por la cual el SENA no puede asumir ninguna responsabilidad en caso de omisiones o errores.

Cali, Colombia, noviembre 2019.

Catalogación en la publicación. SENA Sistema de Bibliotecas

La investigación aplicada en el sector de la construcción : 2015-2019 / compiladora, Angela Natalia Camelo Garzón ; Jorge Enrique Romero [y otros 14]. -- Cali : SENA. Centro de la Construcción, 2019.

113 páginas : fotografías, mapas.

Bibliografía al final de cada capítulo.

Contenido: Mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de uso ingenieril incorporando fibras poliméricas -- Desarrollo de ladrillos a partir cementantes alternativos y residuos de construcción y demolición -- Dispersión de contaminantes orgánicos persistentes COPs como impacto indirecto de la expansión urbana -- Proyecto VRISSA: Vivienda Regional Integral Social Sostenible Y Amigable -- Soluciones de aislamiento térmico en construcciones livianas en seco -- Aprovechamiento de vinazas de caña de azúcar en la elaboración de plastificante para morteros -- Vigilancia tecnológica sector de la construcción sostenible. ISBN 978-958-15-0539-5

1. Construcción--Investigaciones 2. Industria de la construcción--Investigaciones 3. Investigación aplicada I. Camelo Garzón, Angela Natalia II. Romero, Jorge Enrique III. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).

CDD 690.072

ISBN: 978-958-15-0539-5



Contenido

- 11 **Mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de uso ingenieril incorporando fibras poliméricas**
Jorge Enrique Romero Freites - Darwin Andrés Piedrahita Aguilar - Juan José Arce.
- 21 **Desarrollo de ladrillos a partir de cementantes alternativos y residuos de construcción y demolición**
Nilson Ferley Trochez Sánchez, Leydi Mercedes Jiménez Bolaños, Yessica Dayana Díaz Rosero, Luis Alfaro Astudillo Miranda.
- 35 **Dispersión de contaminantes orgánicos persistentes COPs como impacto indirecto de la expansión urbana**
Johanna Patricia Fernández Bermudez, Maira Alejandra Valencia, Maryuri Restrepo Valencia, Yulieth Banguera Ordoñez.
- 53 **Soluciones de Aislamiento Térmico en Construcciones Livianas en Seco**
Sandra Lucía Vidal Revelo.
- 64 **Aprovechamiento de vinazas de caña de azúcar en la elaboración de plastificante para morteros**
Nilson Ferley Trochez Sánchez, Leydi Mercedes Jiménez Bolaños, Yessica Dayana Díaz Rosero, Luis Alfaro Astudillo Miranda.
- 72 **Vigilancia tecnológica sector de la construcción sostenible**
Elidier Gómez Sánchez - Jimmy Germán Hidalgo Estrella.

PROLOGO

Como Subdirectora del Centro de la Construcción de la Regional Valle, es un placer presentar el libro sobre la Investigación aplicada en el Centro de la Construcción 2015-2019, producto del trabajo de investigadores y semilleros de investigación que han venido posicionando el Centro de la Construcción como un referente a nivel regional en temas de innovación e investigación del sector de la construcción.

El libro que presentamos hoy, tiene como eje articulador la construcción sostenible que desde hace más de 10 años se convirtió en el eje de nuestro trabajo, proyectos como el de Desarrollo de ladrillos a partir de cementantes alternativos y residuos de construcción y demolición están en esta línea, otros tienen el sello de mejoras en los procesos constructivos como los proyectos: Mejoramiento de la capacidad portante de los suelos de uso ingenieril incorporando fibras poliméricas y Soluciones de Aislamiento Térmico en Construcciones Livianas en Seco, algunos nos permiten revisar los impactos de las actividades de la construcción como los proyectos de Dispersión de contaminantes orgánicos persistentes COP como impacto indirecto de la expansión urbana y el Aprovechamiento de vinazas de caña de azúcar en la elaboración de plastificante para morteros, por último el artículo de vigilancia tecnológica nos permite vislumbrar las nuevas tendencias en la construcción a la que nos veremos enfrentados en un futuro cercano.

Propiciar espacios de investigación aplicada es fundamental para cumplir con el objetivo que tiene Colombia de fortalecer el Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación, y así impactar al sector productivo mediante la solución de problemas concretos y reales. Es también el camino que permite a instructores y aprendices fortalecer sus competencias técnicas de manera innovadora y creativa, motivándolos a cada día a inquietarse más para aportar a la competitividad de nuestro país.

Gracias a estos esfuerzos en el año 2017, Colciencias Categorizó al Grupo Tecnologías para la Innovación TPIC en Categoría C y en el 2019 alcanzamos la Categoría B.

Estamos convencidos que con este documento contribuimos a la difusión del conocimiento y la innovación del Sector de la construcción

Por último, quiero agradecer el apoyo de SENNOVA para estos avances.

Cordial Saludo

Beatriz Eugenia Cobo García
Subdirectora Centro de la Construcción - Regional Valle

PRESENTACION

Desde el año 2012 el Servicio Nacional de aprendizaje SENA creo el Sistema de Investigación, desarrollo tecnológico e Innovación “SENNOVA” con el objetivo de fortalecer los estándares de calidad y pertinencia en las áreas de investigación, desarrollo tecnológico e innovación de la formación profesional que se imparte a sus aprendices. Es por ello que desde ese momento en los Centros de Formación se ha venido dinamizando las labores investigativas tanto en los aprendices como en los instructores con la generación de ideas y proyectos investigativos e innovadores cada vez con mayor rigurosidad y calidad científica.

El Centro de la Construcción de la regional Valle desde el año 2014 ha venido desarrollando diferentes ejercicios investigativos liderados por instructores que junto con sus aprendices, han permitido la apropiación de nuevas tecnologías relacionadas con la construcción especialmente en las áreas de construcción sostenible de edificaciones, infraestructura sostenible y Sistemas de Información para la Construcción, así como en áreas transversales como el control ambiental.

A finales del año 2014 el Centro de la Construcción creo el Grupo de Investigación en tecnologías para la innovación en la Construcción TPIC reconocido en ese entonces por Sennova y más adelante por Colciencias con el ánimo de integrar el conocimiento y actividades investigativas de los instructores investigadores del Centro de formación y comenzar un proceso de visibilización y divulgación de los proyectos y sus productos ante la institución y la sociedad.

En el año 2015 se realizó por primera vez el I Encuentro de Semilleros de Investigación con los aprendices del Centro de Formación con la idea de comenzar a divulgar las experiencias investigativas de los semilleros y sus instructores líderes; evento que se ha venido desarrollando anualmente tomando cada vez mayor importancia con la apertura a semilleros e investigadores de todo el país en torno a la innovación, la investigación, y el desarrollo tecnológico en el sector de la construcción.

Igualmente en el año 2015 el Centro de la Construcción de Cali bajo la estrategia de proyecto formativo integrador participo en el concurso Solar Decathlon (Una de las competencias académica más importante del mundo en el tema de vivienda sostenible alimentada con energía solar), iniciativa del Departamento de Energía de los Estados Unidos DOE y el Laboratorio Nacional de Energías Renovables NREL, obteniendo varios reconocimientos y logrando el impacto en varios programas de formación, así como el avance en los procesos investigativos del Centro de formación relacionados con las

temáticas de la construcción sostenible. En este año en el mes de diciembre el Centro de la Construcción participará nuevamente en la versión 2019 del concurso, esperando continuar avanzando en las estrategias investigativas integradoras y posesionarse en los temas relacionados con el sector de la construcción sostenible.

El presente libro compila algunas de las más importantes experiencias investigativas que se han venido desarrollando en el Centro de la Construcción, desde el año 2015, con el objeto de divulgar las experiencias obtenidas, los resultados y aportes tanto en el Centro de Formación, como en la región del Valle del Cauca y en el sector de la construcción.

Agradecemos a todos aquellos investigadores del Centro de la Construcción de la regional del Valle que con su compromiso, esfuerzo y dedicación han aportado a la gestión del conocimiento con la investigación, desarrollo tecnológico e innovación, impactando en la formación con nuestros instructores y aprendices que cada día ven en estas actividades una forma de contribuir al desarrollo del sector y del país. Igualmente un agradecimiento especial a aquellos investigadores que dedicaron su tiempo y esfuerzo para escribir los resultados de sus experiencias y así poderlas plasmar en este primer libro de investigación del Centro de la Construcción, que además esperamos continúe publicándose en el futuro.

Angela Natalia Camelo G
Lider Sennova

Centro de la Construcción Regional Valle
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS DE USO INGENIERIL INCORPORANDO FIBRAS POLIMÉRICAS

Capacity Improvement Of Soils Bearing For Engineering Use, Integrating Polymeric Fibers

Jorge Enrique Romero Freitas - Darwin Andrés Piedrahita - Juan José Arce

Jorgeromero00@misena.edu.co

Dapiedrahita20@misena.edu.co

juanarcecardona@gmail.com

RESUMEN

El país se ha visto en la necesidad de avanzar tecnológicamente en los procesos de construcción de vías, siendo en la mayoría de los casos necesario hacer un mejoramiento del suelo. En esta investigación se muestran los resultados de la capacidad portante de diferentes suelos caracterizados en el laboratorio, al incorporar fibras de polipropileno en porcentajes de 0.75%, 0.50% y 0.25% con relación al peso total de la muestra. La metodología utilizada inicia con la toma de una muestra inalterada del suelo mediante un ensayo de CBR in situ. Posteriormente, se toma una muestra alterada del suelo para desarrollar un CBR en el laboratorio con y sin fibras. Finalmente se realiza su respectiva comparación para determinar el beneficio que aportan las fibras en la capacidad de soporte, siendo entre 100% y 190% en suelos arcillosos, limosos y granulares (tipo sub base). Se puede observar que la implementación de la fibra de polipropileno en los suelos de uso ingenieril, mejora la capacidad de soporte.

El método de mejoramiento de suelos con incorporación de fibras poliméricas (Polipropileno) permite obtener menores espesores en el dimensionamiento de las capas de la estructura de una vía. Este método es sostenible, ya que la materia prima a utilizar es proveniente de los suelos encontrados en las obras, disminuyendo costos de transporte, emisiones de CO₂, consumo de energía, y erosión en bancos de préstamo.

Palabras Clave: CBR (California Bearing Ratio), polipropileno, capacidad portante, fibras poliméricas.

Summary

The country has seen the need to advance technologically in terms of road construction processes, and in most cases, it is necessary to improve the soil. In this research, they show the results of the carrying capacity of different soils characterized in the laboratory, by incorporating polypropylene fibers in percentages of 0.75%, 0.50% and 0.25% in relation to the total weight of the sample. The methodology used, starts with the collection of an unchanged soil sample using an in situ CBR. Subsequently, an altered sample is taken from the soil to develop a CBR in the laboratory with and without fibers. Finally, their respective comparison is made and thus demonstrate the benefit of the fibers in the support capacity between 100% and 190% in clay, silty and granular soils (sub-base type). It can be observed that the implementation of polypropylene fiber in engineering soils improves its support capacity. The method of improvement of soils with the incorporation of polymeric fibers (Polypropylene) allows obtaining a smaller thickness in the dimensioning of the layers of the track structure. This is a sustainable method for the raw material to be used, comes from the soils found in the works, reducing transportation costs, CO₂ emissions, energy consumption, and erosion in loan banks.

Keywords: CBR (California Bearing Ratio), polypropylene, carrier capacity, polymer fibers.

INTRODUCCION

En la actualidad existen muchas brechas de comunicación terrestre entre las regiones colombianas más ricas y dinámicas y las que tienen problemas de desarrollo, donde es latente la escasez de oportunidades que padecen estas últimas. En el 2016 el viceministro de infraestructura Dimitri Zaninovich Victoria afirmó que “si Colombia quiere ser un país en desarrollo se deben cerrar las brechas que existen entre las regiones, promover las actividades rurales en estas zonas vulnerables y para alcanzar esta meta es necesario mejorar las vías que son las venas conectoras del país” (Zaninovich, Congreso de la República Ley 100 de 1993, 2017). Por lo anterior el país se ve en la necesidad de reducir costos en el mantenimiento de las vías, en el transporte de productos y en el mantenimiento de vehículos y consumo de combustibles, para esto es importante tener una malla vial en óptimas condiciones, con bajo costo de mantenimiento, buen trazado geométrico y una prolongada vida útil, apoyándose en métodos como la estabilización de suelos, los cuales

“ayudan a aumentar la resistencia mecánica de los suelos, dado que se entrelazan las partículas de una forma más efectiva y se asegura que las condiciones de humedad en las que trabaja el suelo varíen dentro de unos

rangos reducidos, para conseguir una adecuada estabilidad a las cargas y una escasa variación volumétrica. Además, se produce un aumento de la durabilidad de dicha capa”. [CITATION Rol10 \l 9226].

Por otro lado, se tiene la generación de residuos de polímeros reciclados en Colombia, donde

“La empresa Esenttia produce y comercializa polipropileno, masterbatch y comercializa polietileno, en otras palabras, la materia prima para la elaboración y el color del plástico que se incluye en la mayoría de productos comerciales.

Las exportaciones de esta compañía llegan a más de 20 países, lo que representa actualmente el 55% del total de sus ventas. Sólo para 2013, exportaron 251.000 toneladas de polipropileno, lo cual representó una de las más altas contribuciones para la compañía al alcanzar los US\$400 millones”. (El punto de partida del plástico para el mundo, 2014).

Por lo anterior, resulta oportuno desarrollar una investigación que permita mejorar la capacidad portante de las vías incorporando fibras de residuos plásticos reciclados como el Polipropileno (PP) en los suelos de uso ingenieril.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Evaluar la capacidad de soporte de los suelos incorporando fibras poliméricas (polipropileno), en diferentes muestras de suelos en zonas seleccionadas del Valle del Cauca.

Objetivos específicos

- Caracterizar los diferentes tipos de suelos que se utilizarán en las diferentes mezclas con las fibras poliméricas (polipropileno).
- Identificar el porcentaje óptimo de fibras poliméricas (polipropileno) necesario a incorporar en los diferentes tipos de suelos para el mejoramiento de su capacidad de soporte.
- Comparar los resultados del ensayo CBR realizados con especímenes de mezcla de suelo con fibras poliméricas (polipropileno), contra los especímenes de suelo patrón sin fibra.

METODOLOGÍA

Para este proyecto de investigación se iniciará con el ensayo de CBR in situ (California Bearing Ratio), hincando el molde en el suelo para tomar una

muestra inalterada de este, teniendo precauciones especiales para conservar las características de estructura y humedad, con el fin de determinar la capacidad de soporte y su humedad natural, de esta manera se utilizará como referente en el desarrollo de la investigación, permitiendo así comparar los resultados con los procesos desarrollados en el laboratorio con diferentes tipos de suelos y diferentes porcentajes de fibra polimérica (polipropileno) que se incorporarán a cada probeta.

Avanzando con el proceso, se deberá obtener por medio de excavación una muestra alterada del suelo, estas son muestras tomadas en las que no se tienen precauciones especiales para conservar las características de estructura y humedad, para caracterizarlo en el laboratorio y así poder determinar su comportamiento físico-mecánico y obtener su clasificación unificada sistema unificado de clasificación de suelos (USCS).

Posteriormente, se procederá a hallar la humedad óptima de compactación del suelo, obteniéndola mediante el ensayo Proctor modificado (INV-E142) y se llevará a esta condición de humedad óptima el resto de la muestra para utilizarla en el ensayo de CBR.

De acuerdo con los requisitos de la norma INV E-148, se realizará el ensayo de CBR teniendo como punto de partida una muestra con la humedad óptima, a partir de la cual se realizarán probetas sin fibras y con fibras poliméricas en porcentajes de 0,25 %, 0,5 % y 0,75% con relación al peso inicial de la muestra. Teniendo en cuenta el estado del arte se observa que las fibras de polipropileno y polietileno de alta densidad son las que mejor comportamiento tienen con los suelos destinados al uso ingenieril por las propiedades físicas que estas poseen tales como su capacidad de termo resistencia y elasticidad; también indica que a menor cantidad de fibra adicionada mayor beneficio en la capacidad de soporte, ya que a estos pequeños porcentajes de incorporación nos facilita la homogenización y esparcimiento sin que esta se concentre en un solo punto en toda la muestra a evaluar según lo explica la Asociación Técnica en Carreteras en el estudio de "Refuerzo de Suelos con Fibras Sintéticas".

Finalmente, se deberá realizar lo mencionado en los párrafos anteriores siguiendo la secuencia de pasos que se muestra en la figura 1, siempre teniendo en cuenta cada suelo a ensayar y permitiendo evaluar su comportamiento con la incorporación de fibras de polipropileno, además de realizar una comparación del CBR in situ y los CBR sin fibra elaborados en el laboratorio como patrones, contra los CBR de mezcla suelo-fibra.

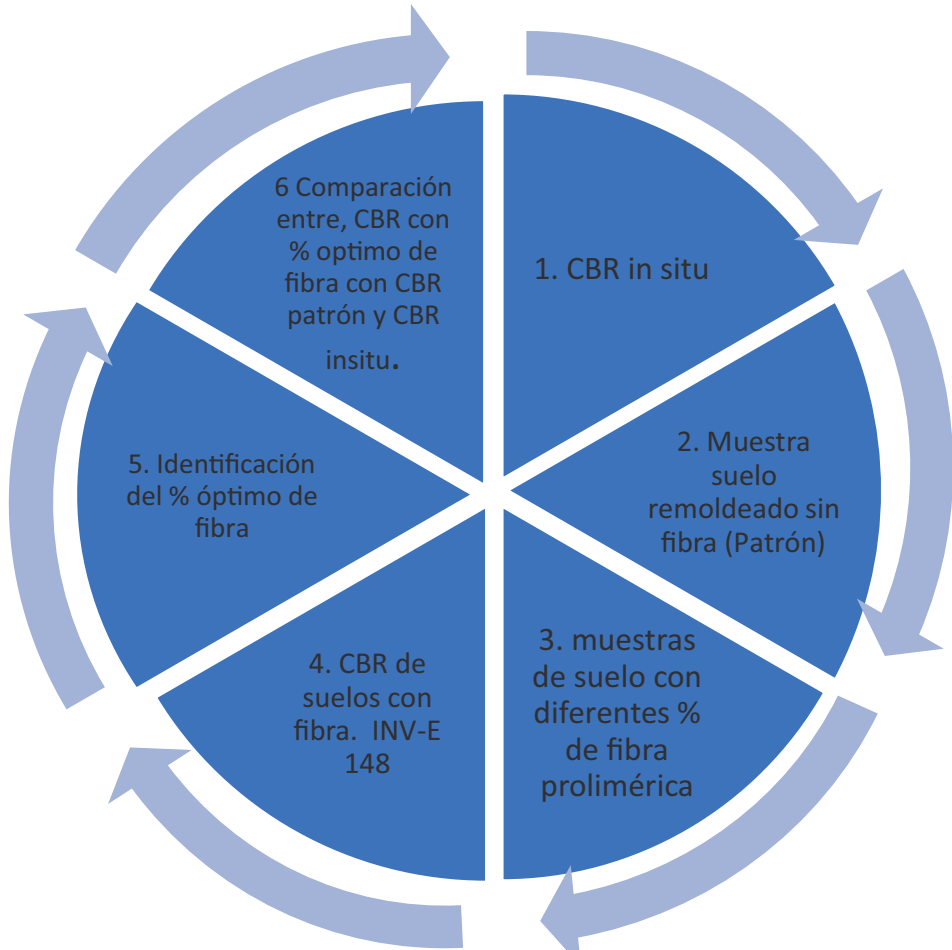


Figura 1 Metodología aplicada.

Fuente: Los autores

Resultados

Finalmente, con el fin de verificar el mejor comportamiento de la fibra polimérica en el suelo en consecuencia con el porcentaje de fibra a incorporar, se realizan tres ensayos de CBR en el laboratorio a un suelo arcilloso de alta plasticidad cada uno con un porcentaje de fibra diferente 0,25 %, 0,5 % y 0,75%. (Véase figura 2) donde el que mayor beneficio presentó fue el de 0,25% incorporado.

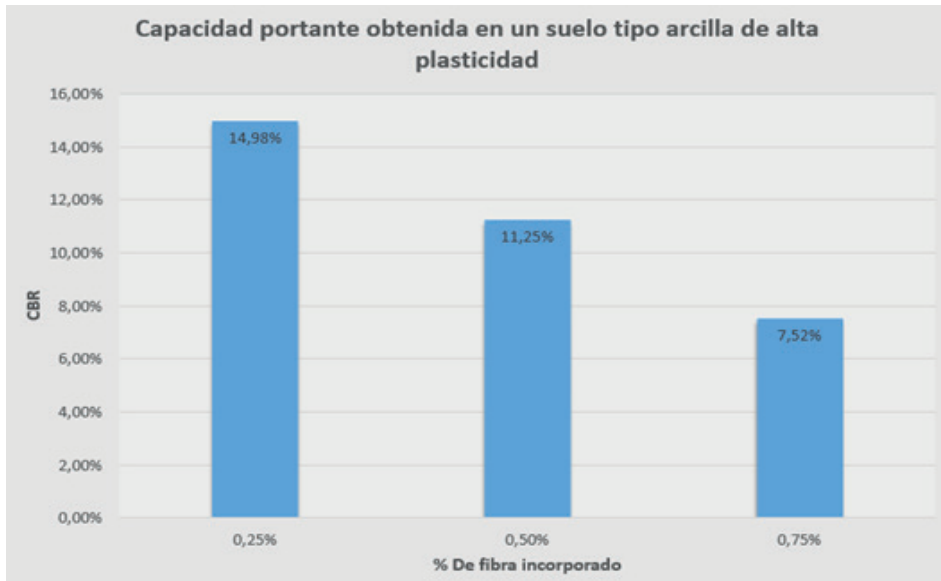


Figura 2. Porcentajes de fibra incorporados.

Fuente: Los autores

A continuación se muestra en diagrama de barras, los resultados con la incorporación de la fibra y un ensayo de CBR patrón sin la incorporación de esta para hacer una comparación adecuada en los diferentes tipos de suelos evaluados.



Figura 3. Resultados obtenidos en suelo arcilloso de baja plasticidad.

Fuente: Los autores

Para hallar el porcentaje de aumento en la capacidad de soporte obtenida por los CBR evaluados se realizará de esta forma

$$\% \text{ de Incremento} = \frac{CBRi - CBRp}{CBRp} \times 100$$

$$\text{Ejemplo: } \% \text{ de incremento} = \frac{25-16}{16} \times 100 = 56.25\%$$

$$\text{Ejemplo: } \% \text{ de incremento} = 56.25\%$$

$CBRp$: Valor inicial (CBR sin fibra, patrón)

$CBRi$: Valor de incremento (CBR con fibra, con mayor capacidad de soporte)

En la **Figura 3** se observa el beneficio que aporta la fibra polimérica (polipropileno) en suelos arcillosos de baja plasticidad obtenida en el ensayo de CBR de laboratorio, siendo la menor cantidad de fibra la que representa un aporte significativo en los suelos de uso ingenieril, evidenciando que su aporte en cuanto a capacidad de soporte fue del 108% con respecto a la capacidad de soporte del CBR in situ. También se evidencia el beneficio que proporciona el CBR realizado al suelo con fibra contra el CBR del suelo sin fibra siendo este de 56.25%.



Figura 4. Resultados obtenidos en suelo arcilloso de alta plasticidad.

Fuente: Los autores

En la **Figura 4** se presentan los resultados obtenidos en un suelo arcilloso de alta plasticidad donde se repite lo expresado anteriormente por el estado del arte, indicando que a menor cantidad de fibra adicionada mayor beneficio

en la capacidad de soporte, en consecuencia la mezcla suelo-fibra con un porcentaje de incorporación del 0,25% presenta una capacidad de soporte del 53% comparado con el ensayo de CBR sin fibra (Patrón), este presenta un aumento de beneficio del 23%, frente al CBR in situ donde el beneficio de capacidad de soporte es de 194%.

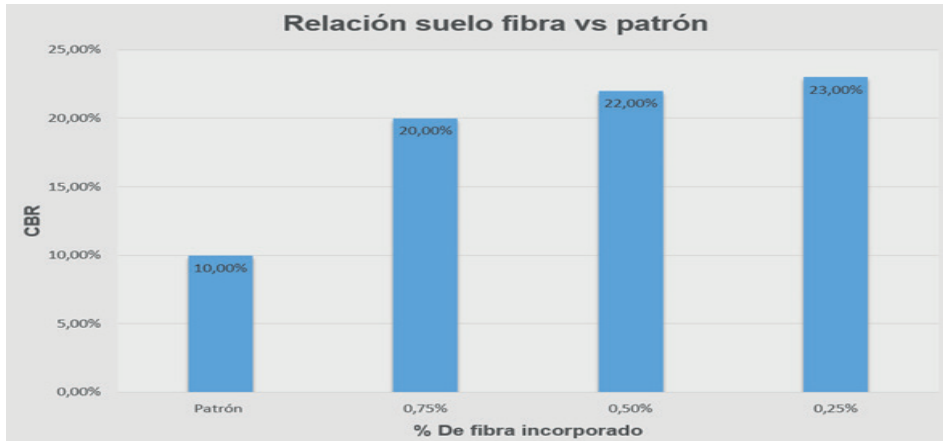


Figura 5. Resultados obtenidos en suelo limoso de baja plasticidad.

Fuente: Los autores

A partir de los resultados obtenidos, en la **Figura 5** se puede observar que la incorporación de la fibra polimérica en cualquiera de los tres (3) porcentajes, en un suelo limoso de baja plasticidad para uso ingenieril aporta una ganancia notable igual o mayor al 100%, siendo el de menor porcentaje de fibra incorporada (0,25%), el que mayor incremento de capacidad de soporte brindó, 130%.

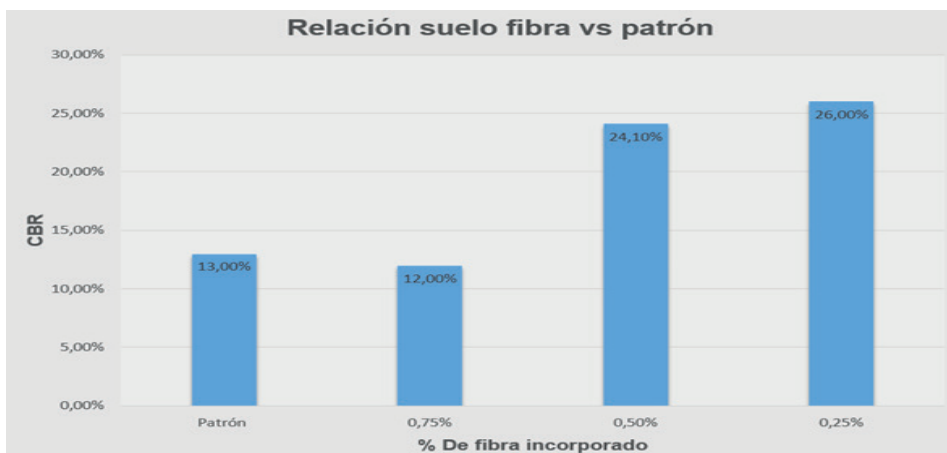


Figura 6. Resultados obtenidos en suelo subbase granular tipo Invias BG-40

Fuente: Los autores

Al evaluar la **Figura 6** se evidencia que el contenido óptimo de fibra polimérica a incorporar en un suelo subbase granular tipo Invias con relación al peso de la muestra es del 0,25%, pues este es el que mayor beneficio le aporta en comparación con los otros porcentajes, dando un incremento del 100% en confrontación con el CBR patrón realizado en el laboratorio.

Según los resultados anteriormente presentados, la estabilización de suelos con fibras poliméricas permite mejorar las características de los suelos de uso ingenieril, siendo una técnica moderna, económica y sostenible.

CONCLUSIONES

Se puede observar que con la implementación de la fibra de polipropileno en los suelos de uso ingenieril, se mejora su capacidad de soporte. El método de mejoramiento de suelos con incorporación de fibras poliméricas (Polipropileno) permite obtener menores espesores en el dimensionamiento de las capas de la estructura de una vía. Este es un método sostenible ya que la materia prima a utilizar es proveniente de los suelos encontrados en las obras, disminuyendo costos de transporte, emisiones de CO₂, consumo de energía, y erosión en bancos de préstamo.

La compactación se puede realizar con un equipo básico, teniendo en cuenta que el suelo y la fibra se incorporan desarrollando buena adherencia beneficiando los esfuerzos de carga a los cuales se ve sometido el suelo.

La incorporación de la fibra de polipropileno aporta un beneficio en la capacidad de soporte entre 100% y 190% en suelos arcillosos, limosos y granulares (tipo sub base).

BIBLIOGRAFÍA

- Congreso de la República de Colombia. (1993). *Ley 100 de 1993*. Obtenido de Ley 100 de 1993: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley/1993/ley_0100_1993.html
- El punto de partida del plástico para el mundo. (25 de 07 de 2014). *Dinero*. Obtenido de Dinero: <https://www.dinero.com/empresas/articulo/los-planes-de-arroz-supremo-para-ampliar-su-produccion-en-colombia/274874>
- Fernández Calvo, C., Martínez Santamaría , J., & Thode, M. J. (2006). *Refuerzo de Suelos con Fibras Sintéticas*. Valladolid.
- Grönroos, C. (1984). A service quality model and its marketing. *European Journal of Marketing*, 36-44.
- Parasuram, A., Valarie, Z., & Berry, L. (1985). A conceptual model of service quality and its implications for future research. *Journal of Marketing*, 41-50.
- Roldán de Paz, J. (05 de 2010). Estabilización de suelos con cloruro de sodio (NaCl) para bases y sub bases. 199. Guatemala, Guatemala. Recuperado el 24 de 02 de 2017, de file:///D:/Usuario/Downloads/08_3160_C.pdf
- Vandamme, R., & Leunis, J. (1993). Development of a multiple-item scale for measuring hospital service quality. *International Journal of Service*, 30-40.
- zaninovich, d. (18 de 5 de 2017). *Congreso de la Republica Ley 100 de 1993*, 1. Bogota, Colombia. Recuperado el 12 de 6 de 2017
- Zaninovich, d. (18 de 5 de 2017). *Congreso de la Republica ley 100 de 1993*. Recuperado el 18 de 6 de 2017

DESARROLLO DE LADRILLOS A PARTIR DE CEMENTANTES ALTERNATIVOS Y RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Development of bricks from alternative cementitious and residues of construction and demolition

Leydi Jimenez^{1}, Nilson Trochez¹, Yessica Diaz², Luis Astudillo¹*

¹Grupo Tecnologías para la Innovación en la Construcción, TPIC, Sena Centro de la Construcción Regional Valle, Cali, Colombia

²Grupo de Investigación en Eficiencia Energética y Energías Alternativas, GEAL, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia

*e-mail del autor de correspondencia: ljimenezb@sena.edu.co

RESUMEN

Esta investigación se basa en el aprovechamiento de residuos para la elaboración de ladrillos macizos bajo la norma ASTM C90, como agregado se emplean los residuos de construcción y demolición (RCD) de la ciudad de Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia, denominados en esta investigación A1, A2, A3, A4 y como cementante alternativo se emplearon puzolanas obtenidas de procesos industriales, cenizas de carbón, escorias de carbón y bagazo de caña, polvo de ladrillo, denominados C1, C2, C3, C4. Los ladrillos elaborados fueron evaluados según la Norma Técnica Colombiana NTC 4026 y Norma ASTM C90. Como resultados se obtuvieron resistencias a compresión máximas de 21,4 MPa, y absorción de 9,5%. Además, se realizó un análisis de impacto ambiental donde se estudió el consumo energético, con un valor total de 188.67 MJ/ton, y huella de carbono con un valor de 0.1 kg de CO₂ por tonelada ladrillo, para una unidad producción de 1500 ladrillos. El estudio determinó que es factible desde el punto de vista técnico elaborar ladrillos que cumplan con las normas técnicas vigentes, aportando una posible solución para reducir el impacto ambiental que generan los residuos contemplados.

Palabras clave: Residuos, Residuos de Construcción y Demolición, ladrillos, cementante alternativo, huella carbono.

ABSTRACT

This investigation is based on the utilization of residues for the production of massive bricks under the ASTM C90 standard, using of construction and demolition waste (RCD) in the city Santiago of Cali, Colombia, when used as aggregate, in this investigation called A1, A2, A3, A4 and as alternative cementitious they used

puzolanic obtained of industrial processes, coal ashes, coal and bagasse of cane, brick dust, called C1, C2, C3, C4. The elaborated bricks were evaluated according to the NTC 4026 standard and ASTM C90 standard. Compression strength maxims of 21,4 MPa, and absorption of 9,5 % were obtained. also, it was an analysis done of environmental impact where the energetic consumption was studied, with a total value of 188.67 MJ/t, and carbon footprint with a value of 0.1 kg of CO₂ per ton brick, for a unit production of 1500 bricks.

The result of studies, determined that it is feasible from the technical point of view to elaborate bricks in compliance with current regulations..

Key words: Environmental issues, brick, construction materials, demolition and construction waste, alternative cementitious, carbon footprint.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el sector constructivo aporta un 50% de la contaminación de residuos sólidos inorgánicos en el planeta terminando en el mejor de los casos en rellenos, sin embargo muchos terminan convirtiéndose en un problema ambiental, uno de los residuos con mayor impacto son los residuos de construcción y demolición, RCD [1]; en la ciudad de Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia, no existe un lugar definido para la disposición final de estos residuos generando escombreras ilegales en varios puntos de la ciudad causando contaminación visual y ambiental [2]. Las cifras registradas actualmente están alrededor 2480 m³ de RCD por día, situando a esta ciudad en el segundo puesto de las capitales colombianas de mayor generación de escombros [3] Por esta razón se han venido buscando en los últimos años alternativas que den solución al impacto causado por los altos volúmenes de estos residuos las cuales van orientadas a una gestión y manejo sostenible [4]. El decreto 0291 del 2005 regula la gestión integral de escombros en la ciudad de Cali, el capítulo VI trata sobre el aprovechamiento de los escombros (art 29-32) donde se define el interés en propuestas e investigación relacionada. Los agregados reciclados (AR) son una posibilidad de alternativa de disminución al uso de agregados naturales, la clasificación de los agregados reciclados en función de su desempeño, permite producir una amplia gama de materiales de reconocida calidad que luego se pueden utilizar en diferentes construcciones y así poder responder a la demanda de particulares con requisitos específicos [5, 6, 7, 8, 9].

Por otro lado, el uso de materiales cementantes alternativos a partir de residuos es un camino empleado para el aprovechamiento de estos en la producción de diversos materiales de construcción, conocidos como puzolanas

se definen como sustancias de silicato o alúmino-silicato las cuales pueden reaccionar con hidróxido de calcio para formar C-S-H (hidratos de silicato cálcico) o C-A-H (hidratos de aluminato cálcico). Para la caracterización de estas se emplean métodos mecánicos, métodos fisicoquímicos, tales como resistencia mecánica, análisis térmico, calorimetría de solución, análisis de difracción de rayos X (DRX), Fluorescencia de rayos X (FRX) y espectroscopia electrónica de barrido (SEM) [10, 11, 12].

Diferentes investigaciones buscan una solución sostenible para el ahorro tanto de los recursos vírgenes como para el manejo de residuos. Las investigaciones han pasado por ladrillos fabricados de varios desechos como lodos de planta de tratamiento de aguas residuales, cenizas de fondo de caldera, residuos de aserrado de granito, lodos de papel, fibras de paja, cenizas volantes, ceniza de cáscara de arroz y humo de sílice. Las propiedades mecánicas de los ladrillos desarrollados a partir de los desechos mencionados como resistencia a la compresión, absorción de agua y módulo de rotura han sido considerablemente prometedoras [13, 14, 15].

En cuanto a la ceniza volante se ha podido comprobar que puede ser utilizada en la fabricación de ladrillos sin calcinación donde la proporción de Ca/Si de los nuevos productos es variable dependiendo del contenido de agua, composición química y la finura de la ceniza, Para el ladrillo no cocido, las distribuciones de tamaño de partícula de cenizas volantes afectan significativamente al desarrollo de nueva fase. Las resistencias a la compresión de estos ladrillos están entre 47,0-62,5 MPa. La absorción de agua de estos ladrillos está entre 16,4% y 19,5% [3].

Otro residuo que se genera en la industria ladrillera es el polvo de ladrillo, se ha evaluado su composición química y mineralógica la cual afecta directamente su reactividad con cal, la actividad puzolánica depende principalmente de su contenido en fase amorfa, distribución de tamaño de partícula y superficie específica. La reacción del polvo de ladrillo con el hidróxido de calcio es más activa a mayor fase amorfa, así como una superficie específica más alta. La mayoría de los granos pequeños del polvo de ladrillo reaccionan en su totalidad, en caso de los granos grandes la reacción es externa la parte interior del grano no reacciona [10].

Este estudio tiene como finalidad determinar la factibilidad del empleo de residuos industriales y Residuos de construcción y demolición (RCD) para el diseño y fabricación de ladrillos que cumplan con las normas técnicas colombianas e internacionales vigentes, además se pretende determinar el impacto ambiental mediante el Análisis del Ciclo de Vida de los materiales (ACV).

METODOLOGÍA

Para el desarrollo y ejecución de esta investigación se siguió el procedimiento metodológico que se presenta en la Figura 1.

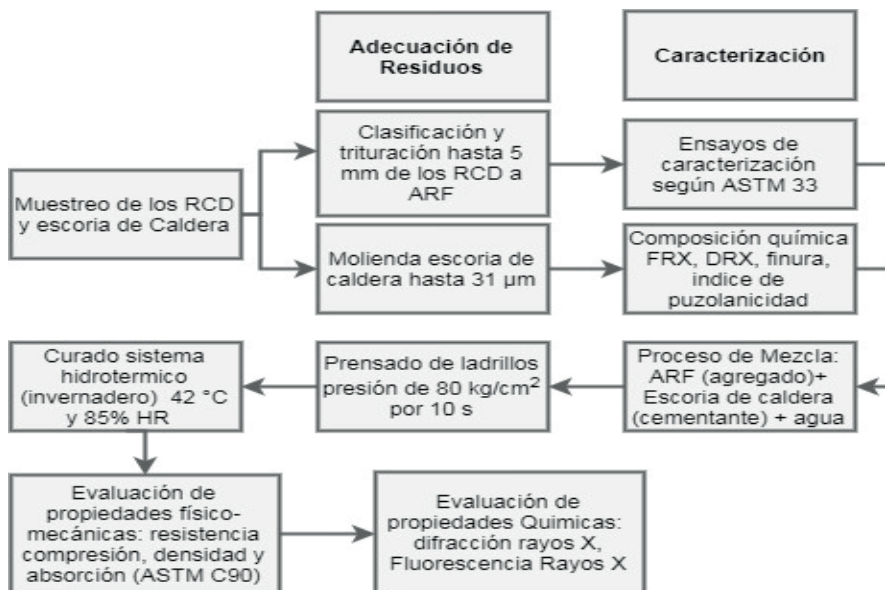


Figura 1. Resumen metodología desarrollada en la investigación

Fuente: Los autores

Se elaboraron ladrillos macizos (tolete) de medidas 24x12x7 cm, la dosificación utilizada se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Dosificación de la mezcla (% en peso)

Fuente: Los autores

Mezcla	RCD	Puzolana	Cal hidratada	Agua
X	54,9	25,6	11,0	8,4
Y	65,5	19,6	8,4	6,5

Los materiales fueron mezclados y prensados a una presión de 80 Kg/Cm², los ladrillos resultantes se curaron en sistema hidrotérmico (Tipo Invernadero, con fuente de energía solar) con temperatura máxima y humedad relativa aproximadas de 32 °C y 90% respectivamente.

Los ladrillos macizos se evaluaron mediante la Norma Técnica Colombiana NTC 4026 y ASTM C90.

Para la evaluación de los impactos ambientales se aplicó la metodología del análisis de ciclo de vida de acuerdo a la Norma ISO 14040.

La unidad funcional, se define como el desempeño cuantificado de un sistema de producto para su uso como unidad de referencia (OILCA) para este proyecto la unidad funcional se determinó como la producción de mil quinientos (1500) ladrillos correspondiente a un día de producción en la planta piloto. Las etapas del proceso de producción de los ladrillos se presentan en la Figura 2. Para el análisis de impacto ambiental se utilizó el software libre OPEN LCA desarrollado por Green Delta, la huella de carbono (kg CO₂ eq) fue estimado de acuerdo al método de evaluación CML 2001 bajo la categoría GWP 100^a se ha analizado el indicador de ecoeficiencia - Energía total consumida (MJ), calculada con el método Cumulative Energy Demand, que determina el consumo de energía durante todo CV y equivale a la suma de energía renovable y no renovable

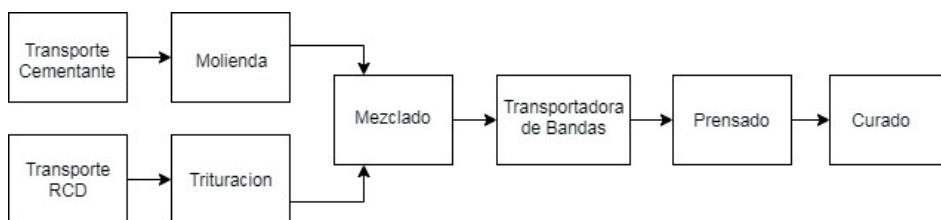


Figura 2. Mapa de procesos de producción de ladrillos elaborados en el estudio.

Fuente: Los autores

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materiales

En la Tabla 2 se indica la codificación empleada para los materiales.

Tabla 2. Nomenclatura de los materiales

Fuente: Los autores

Material	Nomenclatura	Residuo
Cementantes	C1	Ceniza 1
	C2	Ceniza 2
	C3	Escoria Parrilla
	C4	Polvo de ladrillo
Agregado	A1	Como Llega
	A2	Mixto
	A3	Concreto
	A4	Ladrillo

Agregado a partir RCD

El muestreo de los RCD se realizó durante tres meses para conformar una muestra compuesta, luego clasificados según los materiales que lo componen. Los resultados obtenidos de la clasificación de los materiales más representativos en los RCD estudiados son: Concreto 38%, Mixto (partes de ladrillo, concreto y mortero de difícil separación) 25,6%, Cerámica Roja 18,7% y Cerámica Enchapes 9,8%, Figura 3, estos resultados presentan una tendencia similar al estudio reportado para Ciudad de Bogotá [16, 17].

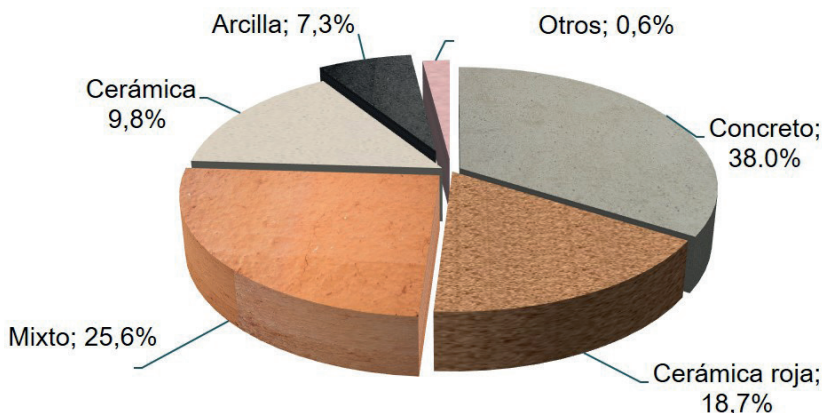


Figura 3. Composición de la muestra de RCD estudiada

Fuente: Los autores

Posteriormente se efectuó un proceso de conminución y tamizado por la malla de abertura 4,75 mm, obteniendo un agregado fino que garantice una textura lisa en los ladrillos. Se determinó para los RCD su composición química mediante fluorescencia y difracción de rayos X (FRX DRX), se caracterizaron como agregados según la Norma Técnica Colombiana NTC 174 (ASTM C33). En la Tabla 3, Tabla 4 y en la Figura 4, Figura 5 se pueden observar los resultados obtenidos de dicha caracterización.

Tabla 3. Caracterización de los agregados reciclados a partir de RCD

Fuente: Los autores

Propiedad	Unidad	A1	A2	A3	A4
Peso unitario suelto	Kg/m ³	1349,9	1225,32	1272,29	1107,9
Peso unitario compactado	Kg/m ³	1533,02	1369,64	1419,67	1249,15
Módulo de Finura		3,32	3,29	3,20	3,71
Porcentaje que pasa tamiz 74µ	%	5,10	5,52	5,03	7,44
Gravedad especifica	g/cm ³	1,97	1,98	2,13	1,92
Absorción	%	12,83	11,74	9,65	15,45

Para todos los agregados presentan una alta absorción en comparación con agregados finos convencionales empleados en la región los cuales alcanzan valores máximos de 3%, este alto valor no presenta un efecto significativo sobre la relación agua/cementante dado que se trata de mezclas secas que no requieren fluidez.

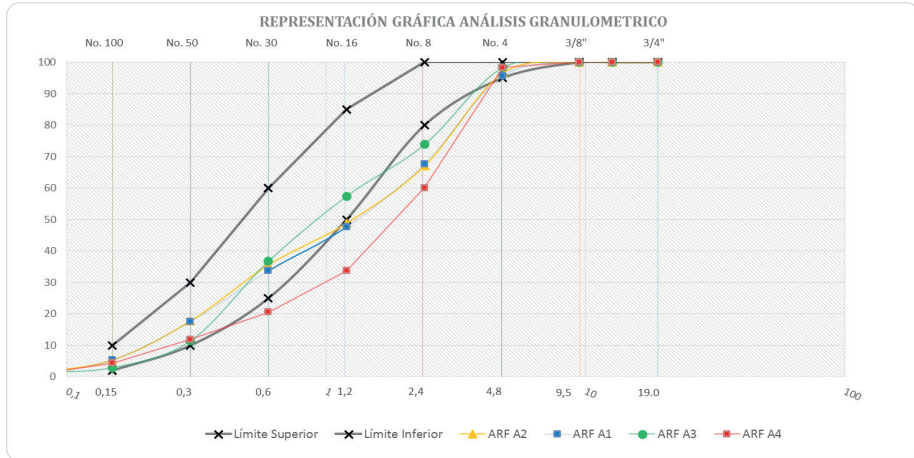


Figura 4. Análisis granulométrico de los agregados reciclados a partir de RCD

Fuente: Los autores

Tabla 4. Composición química del RCD y Cementantes mediante FRX

Fuente: Los autores

(%)	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	SiO ₂	SO ₃	TiO ₂
A1	13,5	13,3	7,87	1	1,98	0,71	52,2	0,48	0,79
C1	11,47	2,44	4,63	1,77	1,36	0,81	55,4	0,22	0,66
C2	16,9	12,37	9,75	0,67	2,28	1,89	23	3,03	0,78
C3	6,31	0,56	3,4	0,32	0,26	0,13	41,5	0,16	0,41
C4	14,34	13,89	4,16	2,95	3,78	1,32	57,1	2,03	0,44

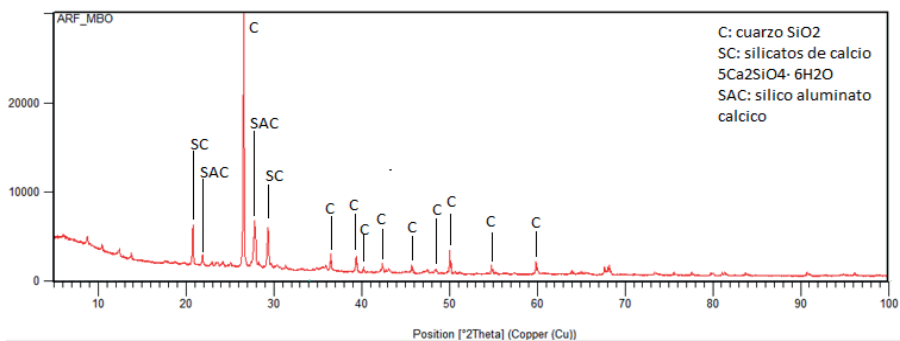


Figura 5. Difractograma del RCD, agregado A1

Fuente: Los autores

Los RCD muestran la presencia de altos contenidos de óxidos de silicio-cuarzo esto debido a la composición de los materiales que lo componen (grava, arena, ladrillos, cemento portland, cerámica).

Cementantes

La escoria de parrilla (caldera Acuotubular, combustible carbón y bagazo de caña), cenizas de carbón y el polvo de ladrillo (ladrillos defectuosos triturados) fueron muestreados por un período de un mes, molidos hasta obtener tamaños de partícula inferiores a 44 μm , con el fin de activar físicamente el material como cementante [18, 10]. A estos residuos industriales se les determinó su composición química mediante FRX y se les evaluó la actividad puzolánica según ASTM 618 basado en la suma de los componentes químicos $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, y el índice de actividad resistente (IAR), utilizando el método de la norma ASTM C311.

Las muestras C1 y C2 no pueden clasificarse como puzolanas según la Norma ASTM C 618 basado en la sumatoria de los contenidos de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, CaO y SO_3 , los valores de inquemados están por encima de especificación, de igual manera el resultado de Índice de Actividad Puzolánica presentan una caída a los 28 días no cumpliendo con lo especificado en esta norma, para el caso de las muestras C3 y C4 basado en los criterios anteriores se puede clasificar como puzolana clase C y F, en la Tabla 4 se pueden apreciar los valores de los compuestos obtenidos por FRX para los cuatro conglomerantes analizados, en la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos frente a la especificación de la norma ASTM C618.

Tabla 5. Propiedades físicas y químicas de los materiales cementantes de acuerdo con la ASTM C618

Fuente: Los autores

Requerimiento	Especificaciones ASTM C618			Cementantes			
	Puzolana Clase C	Puzolana Clase F	Puzolana Clase N	C1	C2	C3	C4
<i>Químicos</i>							
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, min, %	50	70	70	71,5	49,7	51.20	75,6
Trióxido de Azufre (SO_3), máx. %	5	5	4	0,22	3,03	0.16	2,03
Contenido de humedad (%)	3	3	3	1.1	2	1.2	0.8
Perdida por Ignición (%)	6	6	10	11.1	15,5	5.3	0.6
<i>Físicos</i>							
Índice de Actividad de Resistencia (IAR) a 7 días, min % control	75	75	75	83	78	81	85
Índice de Actividad de Resistencia (IAR) a 28 días, min % control	75	75	75	77	71	90	85

Ladrillos

En la Tabla 6, se muestran los mejores resultados obtenidos de la evaluación de los ladrillos elaborados y se comparan con los valores exigidos según la norma NTC 4026 y ASTM C90 para ladrillos macizos (tolete).

Tabla 6. Resultados de caracterización de los ladrillos frente a Especificaciones Técnicas.

Fuente: Los autores

Especificaciones técnicas para cumplimiento de las normas			Propiedades de las mejores mezclas de ladrillos					
			(28 días de curado)					
Propiedad	NTC 4026 (Clase Alta)	ASTM C90	XA3C4	XA3C3	XA2C3	XA1C3	YA3C3	YA2C1
Resistencia (Mpa)	13	13,8	20,9	21,4	18,9	19,7	17,7	17,3
% Absorción	12	15	11,6	9,5	11,1	10,7	11,4	12,5
Densidad media (kg/m ³)	1680- 2000	1680-2000	1790	1800	1960	1769	1771	1753

De acuerdo con la norma NTC 4026 (Bloques y ladrillos de concreto), para mampostería estructural los ladrillos fabricados cumplen con los requisitos de resistencia a compresión, absorción de agua, cumplen con los requerimientos de Clase Alta y peso mediano con densidades entre 1680 Kg/m³ y 2000 Kg/m³. Los ladrillos cumplen con las especificaciones de norma ASTM C90 Standard Specification for Load-bearing Concrete Masonry Units.

De las 6 mezclas que cumplen con las especificaciones técnicas, 3 de estas corresponden a ladrillos cuyo agregado es a base de concreto, las tres restantes corresponden a A1 (Como Llega) y a A2 (Mixto), estos resultados son consecuencia de las características de los agregados, donde a mayor densidad de agregados mayor aporte de resistencia, se puede observar en la Tabla 3 que los agregados con mayor densidad son A3 con 2.13 y A2 con 1.98 g/cm³, resultados reflejados de igual manera en el % absorción con los valores más bajos.

Aunque anteriormente se dijo que la muestra C1 no se puede clasificar como una puzolana según la norma ASTM C618, se obtuvo un resultado satisfactorio para el agregado A2 mixto y con un 30 % de material cementante.

En lo correspondiente a la relación agregado/cementante se observa según la Tabla 6 que los mejores resultados se obtienen en las mezclas X, esto se atribuye a que contienen un mayor porcentaje de cementante (40%).

La Figura 6 ilustra el difractograma de rayos X obtenido para el ladrillo de la mezcla XA3C3 a los 28 días de curado. La fase cristalina se representa nuevamente por el cuarzo con el pico de mayor intensidad en $2\theta \sim 26,5^\circ$ presente

también en el agregado reciclado (A1); existe presencia de componentes de reacción como silicatos de calcio hidratado que dan indicio de la reacción cementante entre la escoria de parrilla y la cal hidratada. De igual manera se puede observar la formación de gel de silicato de calcio hidratado SCH en la imagen tomada por microscopia SEM lo que permite confirmar que las fases encontradas en el DRX si corresponden a reacciones de hidratación formadas entre los materiales cementantes utilizados, Figura 7.

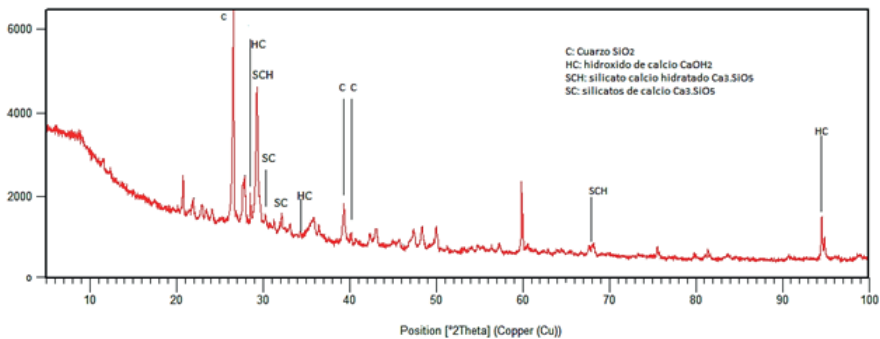


Figura 6. Difractograma ladrillo X- A₃C₃ a 28 días de curado

Fuente: Los autores

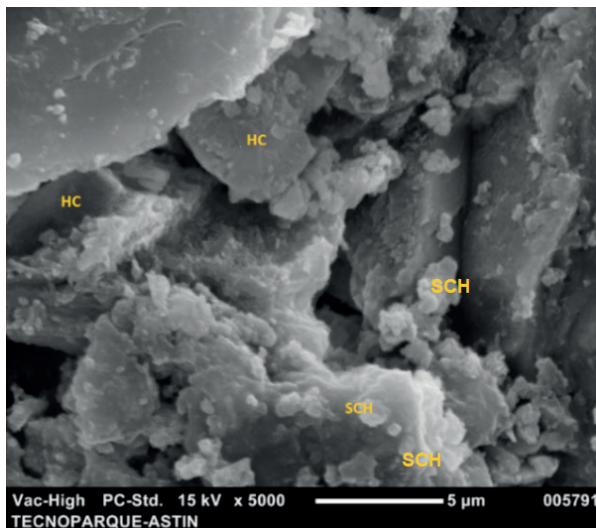


Figura 7. Imagen SEM del ladrillo X-A₃C₃ a 28 días de curado.

Fuente: Los autores

Evaluación del impacto ambiental en la producción de ladrillos con RCD en planta piloto

En la Figura 8 se observa las emisiones de CO₂ equivalentes por cada actividad del proceso quedando en evidencia que las mayores emisiones son

las generadas por el transporte de los materiales al lugar de producción, al ser un proceso donde se utilizan como insumo residuos industriales y de la construcción no existen emisiones asociadas a la extracción y transformación de materia prima lo que reduce significativamente las emisiones de CO₂ comparada con los modelos productivos tradicionales. En total se generan 0,097842 kg / CO₂ eq.

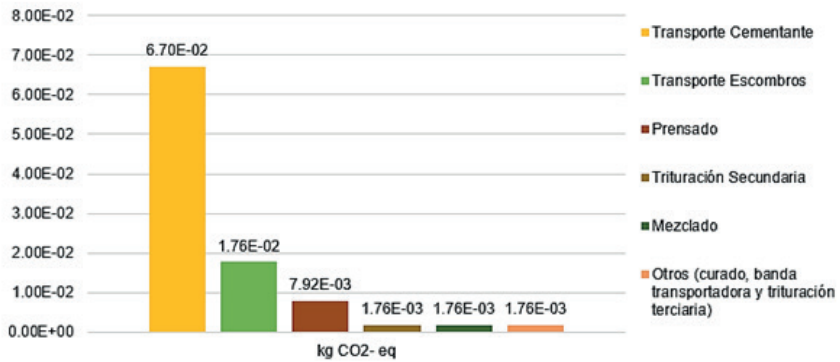


Figura 8. Emisiones de CO₂ equivalente (kg) por actividad del proceso de producción

Fuente: Los autores

Las emisiones de gases con potencial de cambio climático como NO_x y SO₂ son generadas principalmente por el uso de combustibles fósiles en los vehículos.

El consumo energético total fue de 188.67 MJ/t en la Figura 9 se muestra el consumo energético por proceso, siendo el prensado el mayor consumidor de energía, la categoría “Otros”, está conformado por la actividad de curado, transporte de bandas, transporte de escombros y trituración terciaria.

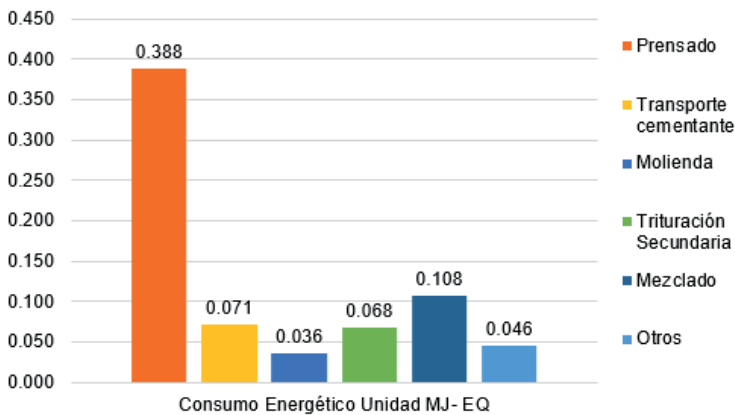


Figura 9. Consumo energético por actividad.

Fuente: Los autores

En la Figura 10 a y b se muestra el consumo por actividad según fuente de energía, para la elaboración de los ladrillos a partir de escombros, la maquinaria utilizada requiere energía eléctrica mientras que el consumo de energía no renovable está asociada a los combustibles utilizados por los vehículos, en Colombia la energía eléctrica es resultado de la transformación de la energía potencial generada por fuentes hídricas.

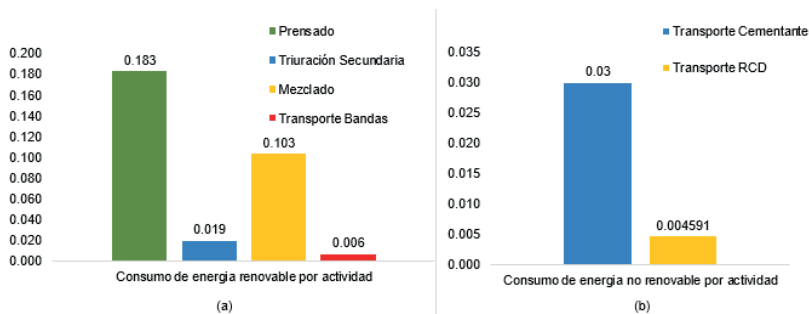


Figura 10. (a) Consumo de energía renovable por actividad. (b) Consumo de recursos de energía no renovable por actividad.

Fuente: Los autores

CONCLUSIONES

Los RCD transformados en agregado fino reciclado cumplen con la mayoría de los requisitos de la ASTM C33 para uso como agregado en materiales de construcción, es factible el uso de los mismos como agregado en la producción de ladrillos macizos, ASTM C90, empleados en la fabricación de muros de mampostería confinada según NSR10 (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente 2010).

Es posible desarrollar materiales de construcción que cumplan con los requerimientos técnicos realizando un aprovechamiento de más del 90% de los RCD. La caracterización del comportamiento físico y químico de los materiales cementante utilizados C3 y C4 indican que puede ser considerados como material puzolánico o material puzolánico y cementante siendo clasificados como clase C o clase F según la ASTM C618.

La reutilización de los residuos industriales y de construcción representa una alternativa ambientalmente viable para la elaboración de materiales de construcción, ya que da solución a dos de los problemas de la industria que son la obtención de materias primas y la alta generación de residuos.

De acuerdo al ACV los impactos asociados al transporte son significativos para ambos indicadores, se podría reducir aún más el impacto generado si para el transporte son utilizados vehículos que usen energías menos contaminantes tales como el gas natural o la ubicación de planta de producción más cerca de los puntos de generación de residuos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Salazar Jaramillo A., ¿los escombros de construcción, son realmente un problema técnico? Cartagena: Seminario internacional Pasos Firmes Hacia La Sostenibilidad En Colombia en el marco del Congreso Colombiano de la Construcción., 2011.
- [2] Castaño J, Rodríguez R, Lasso L, Gómez A y Ocampo S. Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: Perspectivas y limitantes, *Tecnura*, 2013 vol. 17, n° 38: 21-129.
- [3] Shakir A, Naganathan S y Mustapha K. Properties of bricks made using fly ash, quarry dust and billet scale, *Construction and Building Materials* 2013; 41:131-138.
- [4] Chindapasirt P y Pimraksa K. A study of fly ash-lime granule unfired brick, *Powder Technology* 2008; 182: 33-41.
- [5] Silva R, de Brito J y Dhir R. Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production, *Construction and Building Materials* 2014; 65: 201-217.
- [6] Veriana K, Ashraf W y Caoc Y. Review Properties of recycled concrete aggregate and their influence in new concrete production, *Resources, Conservation & Recycling* 2018; 133: 30-49.
- [7] Martin M, Cuenca G y Valver I. Effect of recycled aggregate on physical-mechanical properties and durability of vibro-compacted dry-mixed concrete hollow blocks, *Construction and Building Materials* 2017 ;145: 303-310.
- [8] Vegas I, Ibañez J, San Jose J y Urzelai A. Construction demolition wastes, Waelz slag and MSWI bottom ash: A comparative technical analysis as material for road construction, *Waste Management* 2008; 28: 565- 574.
- [9] Akhtar A y Sarmah A. Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective, *Journal of Cleaner Production* 2018; 186: 262-281.
- [10] Navrátilová E y Rovnaníková P. Review. Pozzolanic properties of brick powders and their effect on the properties of modified lime mortars, *Construction and Building Material* 2016 120: 530-539.
- [11] Frías M, Vigil R, Garcia R, Rodriguez O, Goñi S y Vargas I. Evolution of mineralogical phases produced during the pozzolanic reaction of different metakaolinite by-products: Influence of the activation process. *Research paper Applied Clay Science* 2012; 56:48-52.
- [12] Garcia R, Vigil y Vegas I. The pozzolanic properties of paper sludge waste, *Construction and Building Materials* 2008; 22:1484-1490.
- [13] Baeza F, Garcés P, Payá J y Saval J. M. Portland cement systems with addition of sewage sludge ash. Application in concretes for the manufacture of blocks, *Journal of Cleaner Production* 2014; 82: 112-124.
- [14] Eliche Quesada D, Martínez Martínez S, Pérez Villarejo L, Sánchez Soto P y Sandalio Perez J. Investigation of use of coal fly ash in eco-friendly construction materials: fired clay bricks and silica-calcareous non fired bricks *Ceramics International* 2018; 44:4400-4412.
- [15] Joglekara S, Kharkar R, Mandavgan S y Kulkarni B. Sustainability assessment

- of brick work for low-cost housing: A comparison between waste based bricks and burnt clay bricks, *Sustainable Cities and Society* 2018; 37:396-406
- [16] Chávez Porras A, Guarín Cortes N y Cortes Duarte M, Determinación de propiedades fisicoquímicas de los materiales agregados en muestra de escombros en la ciudad de Bogotá D.C Ingenierías Universidad de Medellín, 2013; Vol 12; 22:45-57.
- [17] Gaitán Castiblanco M., Lineamientos para la Gestión Ambiental de Residuos de Construcción y Demolición (RDC) en Bogotá D.C, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Tesis de Maestría 2013.
- [18] Zhao F, Wang W y Jiu H. Activated fly ash/slag blended cement Conservation and Recycling, 2007; 52:303-313.

DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES COPS COMO IMPACTO INDIRECTO DE LA EXPANSIÓN URBANA

Dispersing Agents Of Persistent Organic Pollutants, Cops, As A Indirect Impact In The Urban Expansion

*Johanna Fernández Bermúdez, Maira Alejandra Valencia, Maryuri Restrepo Valencia,
Yulieth Banguera Ordoñez*

controlambientalcc@gmail.com, semillero-secaes@gmail.com

RESUMEN

El Río Pance es un importante afluente del municipio de Cali, Valle del Cauca, se encuentra bajo una presión demográfica y económica alta permitiendo que haya ocupación de humedales, zonas inundables, bosques, y el desarrollo de proyectos de infraestructura y construcción como la ampliación de vías y nuevas urbanizaciones (Plan de desarrollo comuna 22, 2016-2019). Estas presiones antrópicas se consideran agentes dispersores de los Contaminantes Orgánicos Persistentes COP's, los cuales poseen características químicas que les permiten ser volátiles, móviles, acumulables, persistentes; biomagnificarse en diferentes niveles tróficos y resistir a la degradación, generando daños a los ecosistemas y a la salud de sus habitantes. Por esta razón se vio la necesidad de determinar la presencia de estos contaminantes específicamente Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), organoclorados (POC) y organofosforados (POF) en la cuenca del río, por medio de análisis cromatográficos en las matrices del suelo, sedimento y aire y la posible relación de ésta con la expansión urbana. Los resultados de estos análisis permitieron determinar la presencia de estos compuestos en cuenca baja siendo la zona más afectada por los desarrollos urbanísticos.

Palabras Claves: COPs, Pesticidas, Hidrocarburos, Contaminación, Crecimiento Urbano.

Summary

The Pance is an important river tributary of the municipality of Cali - Valle del Cauca, which is under a high demographic and economic pressure allowing the occupation of wetlands, flood areas, forests, infrastructure projects and construction such as the expansion of roads and new housing developments (Community Development Plan 22, 2016-2019). These anthropic pressures are considered dispersing agents of Persistent Organic Pollutants (POPs), which have chemical characteristics that allow them to be volatile, mobile, accumulative, persistent, biomagnifying at different trophic levels and to resist degradation causing damages to ecosystems and public health. This reason called the need to determine the presence of these contaminants specifically

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) organochlorines (OC) organophosphates (OP) in the river basin, by chromatographic analysis in the matrices soil, sediment and air and their possible relationship with this urban growth. The results of these analyzes allow to determine the presence of these chemical compounds in the lower river basin, letting the most affected area by urban developments.

Keywords: POPs, Pesticides, Hydrocarbons, Pollution, Urban Growth.

INTRODUCCIÓN

El Centro de la Construcción desarrolla procesos formativos en las áreas de Obras Civiles, Topografía y Construcción, a través de programas de formación técnica y tecnológica que llevan más de 30 años siendo la línea medular del Centro. Esta experiencia permitió identificar como una necesidad desde el área ambiental el proponer y desarrollar proyectos de investigación que lleven a diagnosticar, evaluar y manejar los impactos y efectos ambientales producidos por este sector y por la ampliación de la frontera urbana, agrícola y turística derivados del mismo.

De acuerdo a Shen et al. (2005), Li et al. (2010) y Enshassi et al. (2014) entre otros, la construcción es la principal fuente de contaminación ambiental incluso frente a otros sectores industriales, debido a que no solo usa recursos naturales, sino que hace uso de maquinaria pesada, destruye y fragmenta hábitats y genera y dispersa diversos contaminantes. Es por esto que algunos de los impactos asociados a los proyectos constructivos son los que involucran la introducción de compuestos químicos en el ambiente y ponen en riesgo la salud tanto de los seres humanos como de la flora y la fauna asociada a los diferentes ecosistemas que se encuentran bajo intervención por las actividades constructivas.

De acuerdo con lo anterior, como parte de su responsabilidad ambiental y dando respuesta a la necesidad de fortalecimiento de su proyección social, el Centro de la Construcción a través del programa de formación de Tecnología en Control Ambiental y el área de Topografía, establecieron como un aspecto prioritario cuantificar las concentraciones de los contaminantes orgánicos persistentes asociados a diferentes usos del suelo y que son consecuencia indirecta de la expansión urbana y del mejoramiento, ampliación y/o construcción de vías en una zona de alto interés turístico, habitacional y de conservación como lo es la cuenca el río Pance en la ciudad de Cali, Valle del Cauca, Colombia. Esto debido principalmente a que en esta cuenca se ha visto un incremento considerable en los procesos de urbanización durante los últimos años, los cuales pueden actuar como agentes dispersores de los contaminantes orgánicos persistentes, y otro tipo de sustancias tóxicas

que pueden deteriorar gradual y críticamente la calidad de vida de los seres humanos y de los ecosistemas; las nuevas urbanizaciones y su consecuente modificación del paisaje ingresan al ecosistema de la cuenca, nuevas sustancias asociadas no sólo al material de construcción usado sino también al sistema y cableado eléctrico, al control de organismos no deseados a nivel doméstico y de jardines, al vertimientos de aguas domésticas y al mobiliario con características anti inflamables, entre otros.

Los compuestos orgánicos persistentes COPs

Los compuestos orgánicos persistentes COPs son sustancias químicas de alta toxicidad, los cuales están vinculados a plaguicidas, herbicidas, hidrocarburos, químicos industriales, subproductos de sustancias químicas, derivados de construcción y electrodomésticos (Red de desarrollo sostenible, 2017). Estas sustancias químicas sintetizadas se utilizan para el control de insectos, mejoramiento de cultivos, procesos industriales o retardantes de llama, adhiriéndose a los suelos, sedimentos y cuerpos de aguas superficiales.

Tienen características químicas tales como ser lipofílicos, altamente persistentes, volátiles, móviles, acumulables, se biomagnifican, resisten la degradación y se encuentran en todas las matrices (sedimento, agua, suelo, aire y organismos), además son muy tóxicos y la mayoría están asociados a enfermedades del sistema endocrino, afectación de tasas de reproducción, infertilidad, daños hepáticos, daños neuronales y nerviosos entre otros (Sharma et al. 2014, Ponce-Vélez y Botello 2018)

Entre los grupos de compuestos que son catalogados como COPs se resaltan los Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), los Organoclorados (POCs), los Organofosforados (POFs), los Bifenilos Policlorados (PCBs) y Polibromodifenil éter (PBDEs).

Los Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) como su nombre lo indica hacen parte de los hidrocarburos. Son compuestos orgánicos con dos o más anillos aromáticos y pueden ser formados a partir de síntesis biológica, procesos de evolución térmica de materia orgánica sedimentaria o durante la pirólisis incompleta de combustibles fósiles, madera o residuos de cultivos. La mayoría de las liberaciones de HAPs al ambiente están relacionadas con las actividades humanas, tales como derrames de petróleo u otros derivados, transporte marítimo, vertimientos domésticos e industriales, escorrentía urbana y precipitación de material particulado atmosférico (Harris et al. 2011; De Almeida et al. 2018)

Los organoclorados y organofosforados son compuestos asociados a sustancias usadas como plaguicidas, tanto a nivel agrícola como para el

mantenimiento de jardines y control de fauna y flora no deseadas en las viviendas y alrededores en zonas urbanas (Bondarenko y Gan 2004). En países en desarrollo como Colombia, la utilización de estas sustancias es alta, y algunos estudios reportan que en estas naciones usan aproximadamente el 25% de los plaguicidas producidos a nivel mundial (Benítez y Miranda-Contreras 2013). Los organoclorados tienen características como su liposolubilidad, alta persistencia ambiental y su capacidad de biomacumulación y de biomagnificación. En el caso de los organofosforados, son conocidos por su alta toxicidad para organismos acuáticos, tienen una persistencia de semanas en el ambiente, son bioacumulables y debido a su uso indiscriminado han sido asociados a la contaminación de cuencas urbanas (Bondarenko y Gan 2004; Pan et al. 2018)

Los Bifenilos policlorados al igual que algunos organoclorados, son considerados como los contaminantes más abundantes en los seres humanos y en la vida salvaje, producen estrés toxicológico en ecosistemas acuáticos y terrestres influenciando las tasas de reproducción de diferentes organismos y afectando el desarrollo y capacidad reproductiva de diferentes organismos (Leney et al. 2006). Estos compuestos se acumulan en suelos forestales, agrícolas y urbanos, especialmente en aquellos ricos en materia orgánica. Son compuestos mutagénicos y carcinogénicos. Tienen una baja tasa de degradación (Motelay-Massei et al. 2004), alta movilidad y volatilidad, son lipofílicos con una baja solubilidad de agua y algunas de las sustancias que hacen parte de este grupo tienen una gran tendencia a bioacumularse (Sochitran et al. 2004; James y Kleinow 2014). La generación de estos contaminantes es producto exclusivamente de las actividades humanas, puesto que debido a sus características químicas se encuentran en sustancias como lubricantes (incluidos lubricantes para bombas y equipos eléctricos), fluidos dieléctricos (en transformadores, condensadores y redes eléctricas), fluidos hidráulicos, retardantes de llama, plastificantes, pigmentos, pinturas, resinas que entran en el ambiente tanto en sus procesos de manufactura, uso y/o aplicación como en su disposición (Antoniadau et al. 2007; Tehrani y Van Aken 2014)

Los Polibromodifenil éter son compuestos que han sido usados principalmente como retardantes de llama en electrodomésticos (incluyen televisores y computadores), textiles, tapicería, espumas de poliuretano usadas en muebles y adicionalmente hacen parte de los ingredientes químicos de algunos plásticos y de materiales para construcción (Fromme et al. 2014; Kerrigan et al. 2015; Rochman et al. 2014; Rocha-Gutierrez et al. 2015; Zhu et al. 2014). Sus fuentes principales las constituyen los sitios de manufactura, los vertimientos domésticos, alcantarillados y la deposición atmosférica (Kerrigan et al. 2015). Se caracterizan por ser persistentes, bioacumulables y afectar tanto a los seres humanos como a la biota en general, se asocian a todas

las matrices y han sido encontrados en una variedad de organismos acuáticos y en el polvo doméstico (Fromme et al. 2014; Kerrigan et al. 2015), además producen disrupciones endocrinas y afectan la reproducción y desarrollo de varios organismos (Zhu et al. 2014).

Debido a las características físico químicas de estos contaminantes ha sido posible detectarlos en todas las matrices ambientales (aire, agua, lluvia, nieve, sedimentos y suelos) de todas las regiones del mundo, incluyendo océanos, zonas polares y desiertos, que son muy remotas del sitio original de su liberación al ambiente (Albert, L. 1997)

Adicionalmente, varios estudios han establecido que los suelos juegan un papel importante en el suministro y la recepción de los contaminantes orgánicos persistentes (COPs) (Meijer et al., 2003; Nam et al, 2008. Dalla Valle et al, 2005; Schuster et al; 2011), citado por (Wang, X. P. et al; 2012). Ya que estos pueden actuar como emisor primario o reemisor secundario a la atmósfera o a cuerpos de agua, donde el flujo y la dirección de intercambio de COPs de aire-tierra, tierra-agua varían con el tiempo, y afectan las propiedades del suelo y las emisiones químicas (Kurt-Karakus et al., 2006) citado por (Wang, X. P. et al; 2012). Sin embargo, hasta el momento, pocos estudios han investigado la distribución de estos compuestos en el suelo, en el aire y en organismos acuáticos.

Por otra parte, son escasos los estudios existentes sobre este tema en ríos de alta montaña, lo cual es relevante debido a su alta capacidad de almacenamiento de materia orgánica en el suelo (MOS), la cual puede actuar como un “sumidero” y ha sido un foco para la distribución global de COPs y la evaluación de sus concentraciones a nivel mundial (Meijer et al., 2002, 2003; Nam et al., 2008; Ockenden et al, 2003; Sweetman et al., 2005; Dalla Valle et al., 2005; Yang et al., 2010).

Entre las investigaciones realizadas en el departamento del Valle del Cauca, resaltan las de Barba Ho (1994) y la Contraloría Departamental del Valle del Cauca, (1995) quienes buscaron determinar plaguicidas en aguas del río Cauca, entre 1983-1987 reportando concentraciones de organoclorados que sobrepasan los límites permisibles de la normatividad nacional, tales como el dieldrín (0.5 µg/l), Aldrin (0.3 µg/l) y (DDT 0.89 µg/l) que son altamente tóxicos para la salud humana y los ecosistemas. Barbara Ho (1994) citado por Larmat F.E., Soto-Duque, A. & Bravo, E. (2009).

Por otra parte, los COP's afectan los organismos acuáticos y ejercen efectos adversos sobre estos, tales como la fecundidad reducida, baja fertilidad, masculinización de las hembras, feminización de los machos y alteración del tiempo de desove de los peces, logrando en muchas ocasiones la disminución de las comunidades de macroinvertebrados y otros organismos acuáticos en los lugares donde se han encontrado altas concentraciones de COPs.

Igualmente, su presencia se ha demostrado en organismos de todos los niveles tróficos desde el plancton hasta las ballenas y los animales de las zonas polares; (Rodríguez, S. M., Gálvez, J. B., Gasca, C. A. E., & Bandala, E. R. (2001)). Estas concentraciones se bioacumulan en los tejidos grasos de estos organismos, los cuales van afectando los ecosistemas y llevando a que el uso de estas sustancias sea prohibido y restringido en un gran número de países debido a su capacidad de bioacumulación, los seres humanos no se encuentran exentos de esto ya que inclusive se han encontrado en los tejidos y secreciones de los habitantes en donde no hay ni ha habido presencia de estas sustancias (Albert, L. 1997).

Según Albert, L. (Ibid.) las proyecciones actuales sobre el crecimiento demográfico mundial, la industrialización de los países en desarrollo y la tecnificación de la agricultura, así como la generación constante de residuos de todo tipo, permiten predecir que, a menos que se tomen medidas eficaces en el ámbito local, regional y global la liberación de los COPs en el ambiente será cada vez mayor.

Consideraciones generales: Ecosistemas, expansión urbana y densidad poblacional.

El sector de la construcción e infraestructura es tal vez el sector que mayor impacto ambiental genera en los ecosistemas no solo por la destrucción de hábitat asociada sino también por el uso intensivo de recursos naturales y por la degradación de hábitats generada por las diferentes actividades del sector que pueden llevar a la alteración de la función y estructura ecosistémica (Villagrán-Mella et al. 2006). De acuerdo a Liu et al. (2019), la creciente ocupación y transformación de tierras con riqueza ecológica tales como bosques, pasturas, humedales y cuerpos de agua por tierras para construcción y urbanización que permitan extender las zonas habitacionales, así como por tierras para actividades agrícolas, ha representado una considerable pérdida de diversidad y afectación a los ecosistemas y los servicios prestados por estos. Hoy en día el 54% de la población mundial se encuentra asentada en áreas urbanas y se espera que esta proporción se incremente al 66% en el 2050 (Dudin et al. 2018), lo que implica una mayor ocupación y transformación de suelo.

En este sentido se resalta la afectación sobre recursos hídricos y las cuencas, lo que es respaldado por estudios como el realizado por Moyo y Rapatsa (2016) quienes plantearon que la urbanización genera una presión sin precedentes en los ecosistemas lénticos y lóticos, aunque son los ecosistemas lóticos quienes presentan mayor susceptibilidad debido a su naturaleza unidireccional. En este mismo estudio se plantea que cualquier actividad en

las cuencas tiene el potencial de causar cambios ambientales y de introducir contaminantes que se reflejarán en toda la cuenca especialmente en las zonas bajas. Es así que actualmente menos del 10% de los ríos en el planeta están clasificados como prístinos especialmente por el ingreso de nitratos en sus cauces producto de las actividades domésticas y por ende antropogénicas.

La urbanización como un proceso derivado del sector de la construcción e infraestructura, modifica la estructura del paisaje, el ciclaje de nutrientes, altera la hidrología, aumenta la cantidad de materia orgánica en los cuerpos de agua e incrementa la exposición a sustancias tóxicas (Villagrán-Mella et al. 2006). Lo que confirman estudios como el de Jerves- Cobo et al. (2018), quienes plantearon que la urbanización y las actividades humanas incrementan la presión y alteraciones de los ecosistemas, introduciendo cambios hidromorfológicos y contaminación fisicoquímica y afectando a los organismos que viven en los cuerpos de agua. Conjuntamente, Cheng et al. (2018) explicaron que además de la modificación en el paisaje, la disminución de la diversidad y el aumento de la contaminación fisicoquímica, existe una relación negativa con el incremento de las superficies impermeables. Es así que, con la expansión de superficies de suelo impermeables, la urbanización es una fuente eficiente de material contaminado y de nutrientes, reduciendo de esta manera la calidad del agua.

Adicionalmente, el crecimiento urbano no planificado trae como consecuencia malos manejos de vertimientos en las viviendas, además, del aumento de las actividades agrícolas y la construcción de zonas recreativas y piscícolas, haciendo que el agua de cuencas como la del río Pance sean muy susceptibles a tener presentes sustancias tóxicas como los Compuestos Orgánicos Persistentes que tienen como fuente las actividades anteriormente mencionadas (Gil 2012; Erondú 2005).

De las trece (13) veredas que hacen parte de la cuenca del río Pance, solo La Vorágine cuenta con un manejo adecuado de aguas residuales, en el resto predomina el pozo de absorción como sistema de disposición final de excretas, y en una proporción no mayor al 10% de las viviendas, dicha disposición se hace a campo abierto. Un 40% de las viviendas vierten sus aguas grises (originadas en lavaplatos, lavamanos, ducha, lavadero) en campo abierto mediante zanjas superficiales que las conducen a los patios donde se infiltran y evaporan. (Departamento Municipal de Planeación de Santiago de Cali, 2003)

Crecimiento Urbano y Modificación en la subcuenca del Río Pance

La subcuenca del río Pance ha recibido durante los últimos años una presión ambiental y demográfica alta, debido principalmente a la expansión

urbana de la ciudad y la falta de planeación territorial para el acelerado desarrollo del sector del turismo y del comercio (Pérez; 2017). Lo anterior podría desencadenar en una disminución de la calidad ambiental y una modificación en la geografía del cauce de las fuentes hídricas al convertirlas en áreas urbanizables, lo que de acuerdo a (Rangel-Ch; 2005) citado por Rivera et al., (2013) podría llevar a la alteración del drenaje natural y a cambios en la distribución de las unidades de vegetación, acompañados por la modificación del flujo hídrico producto de las alteraciones en la red de drenajes y canales.

Lo expuesto anteriormente, toma relevancia al considerar los reportes del censo que demuestran que para el año 2005, la subcuenca tenía 2.407 viviendas y 8.971 habitantes para la comuna 22, mientras que el corregimiento de Pance tenía un total de 688 viviendas y 2.035 habitantes (Alcaldía de Santiago e Cali 2008 - 2011; Corregimiento Pance; Alcaldía de Santiago de Cali 2008 - 2011: Comuna 22). De acuerdo a Pérez (2017), la población del corregimiento de Pance actualmente es de 2.359, lo que equivale a un incremento del 16% en 12 años. En el caso de la comuna 22, entre los años 2010 - 2013 y considerando un solo proyecto constructivo, la cifra de habitantes pudo elevarse a 9.241, pero según proyecciones del Departamento Administrativo de Planeación Municipal (DAPM), para el 2015, este incrementó a 11.160 habitantes (Alcaldía de Santiago de Cali, Plan de Desarrollo Comuna 22; 2016 - 2019).

Es necesario aclarar que este crecimiento se ha dado principalmente en la subcuenca media y baja del río Pance, donde en el 2017 y 2018 y de acuerdo a información publicada a través de diferentes medios de comunicación, las constructoras tienen 14 proyectos urbanísticos en fase de construcción y/o venta sobre planos, los cuales implican un aumento en 1153 viviendas y por lo tanto un incremento de 3.459 habitantes aproximadamente, si se considera que cada vivienda será habitada por 3 personas. Este número sería el equivalente a un incremento del 38.6% de la población en solo dos años. Adicionalmente se resalta la ampliación de la vía de acceso principal en 7 metros más de los 5.80m que tiene, la cual incluye: dos calzadas en ambos sentidos viales, andenes a lo largo de la vía, ciclorrutas de 3,5 metros de ancho, bahías para parqueo y paraderos del río. (El País, 2016)

Lo anterior sustenta la importancia de vincular programas de formación de control ambiental y topografía (Centro de la Construcción - SENA), en el diagnóstico y evaluación de los impactos generados por la urbanización y la modificación que ha provocado esta en el cauce del río Pance. Para dar solución a dicha problemática el Programa de Control Ambiental creó el Semillero de Investigación en Control Ambiental y Estrategias Sostenibles SECAES en el 2016, con el propósito de integrar la investigación con el proceso formativo de los aprendices, dicho esto, el semillero con la ayuda de los aprendices

ha venido desarrollando un macroproyecto titulado “Diagnóstico de los principales Contaminantes Orgánicos Persistentes COPs en la cuenca alta, media y baja del río Pance”, el cual ha estado en ejecución por tres años y ha contado con la colaboración del programa de Topografía y el laboratorio de Análisis Ambiental del Centro de Diseño Tecnológico Industrial CDTI SENA Regional Valle.

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar la presencia de los Contaminantes orgánicos persistentes (COPs) en muestras de sedimento, en la cuenca alta, media y baja del río Pance, Valle del Cauca.

Objetivos Específicos

- Establecer las concentraciones de los COPs de las familias (HAPs, POC, POF) en la matriz de sedimento de la cuenca alta, media y baja del río Pance.
- Estimar el crecimiento urbano durante los últimos 10 años en la cuenca del Río Pance.
- Correlacionar la presencia y concentración de COPs en el crecimiento demográfico de la cuenca del Río Pance.

METODOLOGÍA

Para la determinación del crecimiento urbano en la subcuenca del río Pance durante los últimos diez (10) años se usaron herramientas topográficas como la toma de datos de la infraestructura de datos espaciales de Cali a través del Geoservidor y Geoportal IDESC, la adquisición de imágenes Landsat, Aster y la toma de datos con GNSS.

Para el Diagnóstico de los principales Contaminantes Orgánicos Persistentes COPs en la cuenca alta, media y baja del río Pance, se establecieron seis (6) estaciones de monitoreo (EMT, EMPP, EMSF, EMV, EMCB y EMLV) en la subcuenca (ver Tabla 1), en las cuales se hizo la evaluación del crecimiento urbano recolectando muestras de suelo, sedimento y aire, para la determinación de compuestos orgánicos persistentes en la subcuenca.

Tabla 1. Ubicación de las estaciones monitoreadas en la subcuenca del río Pance.

Fuente. Los autores

Estación de muestreo	Coordenadas norte	Coordenadas este	m.s.n.m
EMT	859.042,311	1.049.299,711	1.595,988
EMPP	859.980,545	1.049.209,633	1.567,789
EMSF	860.164,649	1.051.525,377	1.382,495
EMV	861.945,146	1.055.130,411	1.192,162
EMCB	861.463,833	1.058.564,763	1.091,839
EMLV	857.338,792	1.059.646,525	989,558



Figura 1. Ubicación de las estaciones monitoreadas en la subcuenca del río Pance.

Fuente: Google Earth

Las muestras fueron analizadas en un Cromatógrafo de Gases-Espectrofotometría de Masas (GC - MS Thermo Scientific 1300), se utilizó una columna capilar TG-5MS y estándares analíticos correspondientes a cada contaminante analizado.

Las muestras de suelo y sedimento se recogieron utilizando recipientes de vidrio los cuales fueron lavados debidamente con jabón alcalino, H₂SO₄, Hexano y Acetona, luego de recolectar la muestra se taparon con aluminio, se almacenaron y se transportaron siguiendo la cadena de custodia de las muestras según lo establecido por el IDEAM. En el laboratorio se realizó la respectiva extracción y concentración a 1ml para finalmente ser inyectados en el (GC-MS)

Para las muestras de aire se utilizaron filtros de poliuretano los cuales se activaron por medio de recirculación de solventes en un soxhlet durante 24 horas, luego se puso cada filtro dentro de muestreadores pasivos y se dispusieron en cada punto durante 3 meses, al llegar su momento de recolección se guardaron en papel aluminio y bolsas ziploc y se transportaron al laboratorio, luego se realizó su debida extracción y concentración a 1ml para finalmente ser inyectados en el (GC-MS)

RESULTADOS

Expansión urbana del año 2009 al 2018 en la subcuenca del río Pance

El programa de Topografía determinó el crecimiento urbano de los últimos 10 años en la subcuenca, donde se encontró que en el 2009, la construcción de vivienda y zonas habitables para la expansión de la zona urbana en Cali, se proyectaba para la zona Oriente de la ciudad, debido a la clasificación de los habitantes, los cuales en su gran mayoría eran desplazados por la violencia y por falta de oportunidades laborales en sus municipios respectivos; esto conllevó a que otros habitantes con mejores recursos disponibles, migrarán más hacia el sur de la ciudad, a zonas poco habitadas y de mayor valor económico por su ubicación, como es el caso de la subcuenca del río Pance, en donde la Comuna 17 comenzó a crecer de manera estrepitosa. precipitando la consolidación de la Comuna 22 de Cali.

Lo anterior se vio magnificado como producto del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del 2014, el cual permitió el crecimiento de la zona urbana de manera exponencial en la subcuenca del río Pance y de acuerdo con la revista Metro x Metro: “La problemática estuvo marcada por declaraciones de la Procuraduría Ambiental, en las que se afirmó que desde el 2014 a diciembre de 2017 se habían expedido 100 licencias de construcción para la Comuna 22, zona que comprende desde Ciudad Jardín hasta Pance”.

Lo anterior se ve reflejado en el área urbanizada actualmente en la subcuenca como se evidencia en la Figura 2. De acuerdo a la investigación realizada por el programa de Topografía, se contemplaban 2985,77 Ha para construcción, de la cuales para finales del 2018 se habían usado 1207,72 Ha para urbanización, por lo tanto, quedaban para urbanizar un total de 1778,05 ha. No obstante, durante la investigación se consideró importante destacar que las condiciones donde quedan las zonas disponibles para intervención también son áreas de ribera y que las condiciones de potabilidad y pureza del agua para ese sector serán de baja calidad. De igual manera la investigación determinó que la expansión urbana actualmente en la subcuenca representa cuatro veces la zona construida para el 2009.

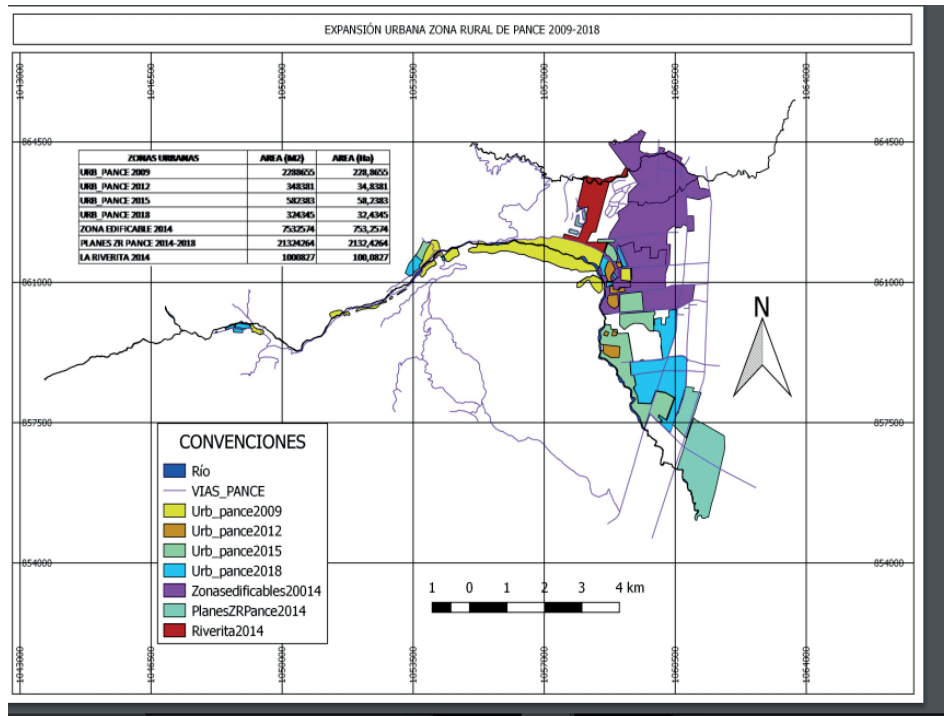


Figura 2: Evolución del proceso de urbanización en la subcuenca del río Pance desde el 2009 hasta el 2018. Autores: Andrés Felipe Melo y Grupo de Geomática Integrada para la Construcción SENA GICS Centro de la Construcción.

Expansión urbana como agente dispersor de los compuestos orgánicos persistentes COP's.

Considerando el levantamiento de información del Programa de Topografía sobre el crecimiento urbano en los últimos 10 años, se realizó el diagnóstico y evaluación de los compuestos orgánicos persistentes en las seis (6) estaciones de monitoreo de la subcuenca. En cada estación se inició la determinación y posterior análisis de los Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), los Organoclorados (POCs) y los Organofosforados (POFs) obteniendo los resultados preliminares para las muestras de sedimento, que se reportan a continuación. El análisis de los Bifenilos Policlorados (PCBs) y Polibromodifenil éter (PBDEs) aún estaba en proceso al momento de esta publicación.

Para el análisis de los HAPs se tuvo en cuenta la clasificación toxicológica de la IARC (Agencia internacional para la investigación del cáncer) (Tabla 2).

Tabla 2. Descripción de toxicidad según IARC (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer).

Grupo 1	Grupo 2A	Grupo 2B	Grupo 3	Grupo 4
Cancerígeno	Probablemente Cancerígeno para los seres humanos	Posiblemente Cancerígeno para los seres humanos	No se Clasifica	Probablemente no cancerígeno
La evidencia ha probado que es un agente que se asocia con el cáncer en seres humanos	Existe Evidencia limitada de una asociación con el cáncer en seres humanos, pero pruebas suficientes de asociación con el cáncer en animales de experimentación.	Existe evidencia limitada de una asociación con el Cáncer en seres humanos, pero pruebas insuficientes asociadas con el cáncer en animales de experimentación.	La evidencia indica que no es posible clasificarlo como un agente cancerígeno basado en la información científica disponible.	Existen pruebas para demostrar que el agente “no está asociado” con el cáncer en seres humanos.

El análisis de las muestras se presentan en la Tabla 3 para los compuestos hidrocarburos aromáticos policíclicos HAPs, en la Tabla 4 para los compuestos organofosforados POFs y en la Tabla 5 para los compuestos organoclorados POCs.

Tabla 3. Hidrocarburos aromáticos policíclicos HAPs encontrados en muestras de sedimento en la cuenca del río Pance.

Tipo de muestra	Punto de Muestreo	HAPS encontrados	concentración (ppm)	Medida Toxicológica IARC
Sedimento	Vorágine	Phenanthrene	2.8073	3
Sedimento	La Viga	Benzo(b) Fluoranthene	1.8986	2B
Sedimento	La Viga	Benzo(a)pyrene	4.2766	1

Tabla 4. Organofosforados encontrados en muestras de sedimento de la cuenca del río Pance

Tipo de muestra	Punto de Muestreo	POF encontrados	Concentración (ppm)	Normatividad Decreto 703 del 2018
Sedimentos	La Viga	parathion	10.9251	0.05

Tabla 5. Organoclorados encontrados en muestras de sedimento en la cuenca del río Pance

Tipo de muestra	Punto de Muestreo	POC encontrados	Concentración (ppm)	Normatividad Decreto 703 del 2018
Sedimentos	La Viga	DDT	1.7918	0.001

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede apreciar que la cuenca media y baja es la zona más afectada por la expansión urbana y consecuente presión demográfica, actividades recreativas, mantenimiento de jardines, ampliación de vías y construcción de viviendas, congruente con esto es evidente que esta parte de la subcuenca es la zona más afectada por los COPs. Ahora bien, estos resultados permiten inferir que la expansión demográfica incide en la dispersión de estos contaminantes, tales como el Benzo(a)pyrene y Benzo(b) Fluoranthene en las estaciones de monitoreo La vorágine y La Viga, siendo sustancias derivadas de la combustión de gasolina, asfaltos, alquitrán de hulla, indicando una posible asociación con el proceso de ampliación de vías y la expansión urbana. Sumado a esto, según la IARC estos compuestos presentan altos grados de toxicidad ya que pertenecen a los grupos 1 y 1A respectivamente lo que significa que son considerados como cancerígenos para los seres humanos y generan graves daños en el ecosistema.

Ahora bien, el Parathion y el DDT son sustancias que presentan alta persistencia en el ambiente por lo cual pueden establecerse en el suelo o sedimento por mucho tiempo, es por esto que en los resultados en cuenca baja La Viga se encontraron en altas concentraciones teniendo en cuenta que el parathion fue restringido por la resolución 2471 del ICA y el DDT prohibido hace más de 20 años por los daños a la salud y el ecosistema.

CONCLUSIONES

Actualmente la subcuenca del río Pance está sufriendo una presión demográfica alta, lo que ha facilitado que actividades antropogénicas permitan la inclusión de contaminantes orgánicos persistentes a los ecosistemas.

Hasta la fecha se han utilizado con fines de urbanización 1207,72 Ha de la subcuenca y sus zonas aledañas y de acuerdo a lo planteado en el POT aún quedan disponibles para urbanizar un total de 1778,05 ha. Sin embargo,

es importante resaltar que dichas zonas disponibles para intervención, también son áreas de ribera o están asociadas a estas y que las condiciones de potabilidad y pureza del agua para ese sector será de baja calidad, además, la capacidad de transformación de la topografía de la subcuenca está llegando al límite y no se pueden realizar más cambios adicionales a lo que ya está establecido, especialmente si se considera el crecimiento acelerado en cuanto a infraestructura en la subcuenca, incluyendo la ampliación de la vía y las nuevas urbanizaciones, la presión por la explotación minera, el turismo y comercio.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede decir que los COPs encontrados presentan concentraciones mayores a las permitidas en los puntos de monitoreo de cuenca media y baja. Donde se ha evidenciado mayor crecimiento urbano lo cual podría implicar un riesgo para salud.

BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía de Santiago de Cali. (2016). Plan de Desarrollo del Municipio de Santiago de Cali 2016 - 2019: Cali progresa contigo.

Alcaldia Santiago de Cali. (2008). Plan de Desarrollo 2008-2011. Recuperado el 10 de 06 de 2018, de http://www.cali.gov.co/publico2/documentos/planeacion/plan_desarrollo_cali_2008_2011_primer_borrador.pdf

Albert, L. (1997). Compuestos orgánicos persistentes. Albert L. Editora. Introducción a la Toxicología Ambiental. ECO/OPS/OMS, 333-335.

Antoniadou, V., Konstantinou, K., Goutner, V., Sakellarides, T.M., Albanis, T.A. y Bintoudi, E. (2007). PCB Levels and Accumulation Patterns in Waterbird Eggs and in Their Prey at Lake Kerkini, a North-Eastern Mediterranean Wetland of International Importance. Arch. Environ. Contam. Toxicol, Vol. 53, 249-260

Benítez-Díaz, P. y Miranda-Contreras, L. (2013). Contaminación de aguas superficiales por residuos de plaguicidas en Venezuela y otros países de Latinoamérica. Rev. Int. Contam. Ambie, Vol. 29 (Número especial sobre plaguicidas), 7-23.

Bondarenko, S. y Gan, J. (2004). Degradation and sorption of selected organophosphate and carbamate insecticides in urban stream sediments. Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 23 (8), 1809-1814.

Cheng, X., Chen, L., Sun, R. y Kong, P. 2018. Land use changes and socio-economic development strongly deteriorate river ecosystem health in one of the largest basins in China. Science of Total Environment, Vol. 616 - 617, 376-385.

- De Almeida, M., Vasconcelos do Nascimento, D., De Oliveira Mafalda, P., Faria Patire, V., Rizzatti, A.C. (2018). Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of a Tropical Bay influenced by anthropogenic activities (Todos os Santos Bay, BA, Brazil). *Marine Pollution Bulletin* Vol. 137, 399-407.
- Dudin, L., Salavati, B., Furushu - Percot, C. Ribstein, P. y Saadi, M. 2018. Hydrological impacts of urbanization at the catchment scale. *Journal of hydrology*, Vol. 559, 774 - 786
- Enshassi, A., Kochendoerfer, B. y Rizq, E. (2014). An evaluation of environmental impacts of construction projects. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, Vol. 29 (3), 234-254
- El País, MetroxMetro. (2016). Pance, lo mejor para vivir. Recuperado de <https://www.metroxmetro.com/especial/pance-lo-mejor-para-vivir>
- Fishbein, M. C., Maclean, D. y Maroko, P. R. (1978). Experimental myocardial infarction in the rat: qualitative and quantitative changes during pathologic evolution. *The American journal of pathology*, 90(1), 57.
- Fromme, H., Hilger, B., Kopp, E., Miserok, M. y Völkel, W. (2014). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs), hexabromocyclododecane (HBCD) and “novel” brominated flame retardants in house dust in Germany. *Environment International* Vol. 64, 61-68
- Harris, K.A., Yunker, M.B., Dangerfield, N. y Ross, P.S. (2011). Sediment-associated aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal British Columbia, Canada: Concentrations, composition, and associated risks to protected sea otters. *Environmental Pollution*, Vol. 159, 2665-2674.
- James, M.O. y Kleinow, K.M. (2014). Seasonal influences on PCB retention and biotransformation in fish. *Environ Sci Pollut Res* Vol. 21, 6324-6333.
- Jerves-Cobo, R., Lock, K., Van Butsel, J., Pauta, G., Cisneros, F. Nopens, I. y Goethals, L.M. 2018. Biological impact assessment of sewage outfalls in the urbanized area of the cuenca river basin (Ecuador in two different seasons). *Limnológica*, Vol. 71, 8 - 28).
- Kerrigan, J.F., Engstrom, D.R., Yee, D., Sueper, C., Erickson, P.R., Grandbois, M., McNeill, K., y Arnold, W.A. (2015). Quantification of Hydroxylated Polybrominated Diphenyl Ethers (OH-BDEs), Triclosan, and Related Compounds in Freshwater and Coastal Systems. *PLoS ONE* Vol. 10(10),19p
- Larmat F.E., Soto-Duque, A. & Bravo, E. (2009). Evaluación de la actividad mutagénica del río Cauca en el área urbana de la ciudad de Cali - Colombia, por medio del test de Ames. Informe a COLCIENCIAS / Universidad del Valle / Universidad Autónoma de Occidente. Cali (Valle)

- Leney, J.L., Drouillard, K.G. y Haffener, G.D. (2006). Metamorphosis increases biotransformation of polychlorinated biphenyls: a comparative study of polychlorinated biphenyl metabolism in green frogs (*Rana clamitans*) and leopard frogs (*Rana pipiens*) at various life stages. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 25 (11), 2971-2980
- Li X., Zhu Y. and Zhang Z. (2010). An LCA-based environmental impact assessment model for construction processes. *Building and Environment*, Vol. 45(3),766-775.
- Liu, W., Zhan, J., Yan, H., Zhang, F. y Wei, X. 2019. Impacts of urbanization – induces land – use changes on ecosystems services: A case study of the Pearl river delta metropolitan region, China, *Ecological Indicators*, Vol. 98, 228-238
- Motelay-Massei, A., Ollivon, D., Garban, B., Teil, M.J., Blanchard, M. y Chevreuil, M. (2004). Distribution and spatial trends of PAHs and PCBs in soils in the Seine River basin, France. *Chemosphere*, Vol. 55, 555-565
- Moyo, N.A.G. y Rapatsa M.M. 2016. Impact of urbanization on the ecology of Mukuvisi river, Harare, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 92, 14 - 19.
- Pan, L., Sun, J., Li, Z., Zhan, Y., Xu, S. y Zhu, L. (2018). Organophosphate pesticide in agricultural soils from the Yangtze River Delta of China: concentration, distribution, and risk assessment. *Environ Sci Pollut Res* Vol. 25, 4-11
- Pérez, N. (2017). Desarrollo rural y movilización social en la zona rural de la Subcuenca del Río Pance (Cali, Colombia). *Revista CS*, Vol. 21, pp. 69-96. Cali, Colombia: Facultad de Derecho y Ciencias Sociales, Universidad Icesi.
- Ponce-Vélez, G. y Botello, A.V. (2018). Plaguicidas organoclorados en organismos costeros y marinos de los litorales mexicanos: una revisión. *Rev. Int. Contam. Ambie*. Vol. 34 (Especial sobre Contaminación y Toxicología por Plaguicidas II), 81-98.
- Red de desarrollo sostenible (2017). Los contaminantes orgánicos persistentes (COP). Recuperado de: <https://www.rds.org.co/es/recursos/persistent-organic-pollutants-pops-are-categorized-as-hazardous-pollutants-originating-from-pesticides>
- Rivera-Usme, J. J., Pinilla-Agudelo, G. A., y Rangel-Ch, J. O. (2013). Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables físicas y químicas en el humedal de Jaboque - Colombia: Assemblage of aquatic macroinvertebrates and its relationship with physical and chemical variables in the wetland Jaboque-Colombia. *Caldasia*, Vol. 35(2), 389-408.
- Rocha-Gutiérrez, B.A., Peralta-Pérez, M.R. y Zavala-Díaz de la Serna, F.J. (2015). Revisión global de los contaminantes emergentes PBDE y el caso particular de México. *Rev. Int. Contam. Ambie*. Vol. 31(3), 311-320.
- Rochman, C.M., Lewison, R.L., Eriksen, M., Allen, H., Cook, A.M. y The, S.J. (2014). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in fish tissue may be an indicator of plastic contamination in marine habitats. *Science of the Total Environment*, Vol. 476-477, 622-633

- Rodríguez, S. M., Gálvez, J. B., Gasca, C. A. E., & Bandala, E. R. (2001). Degradación de plaguicidas. Miguel A. Blesa, Eliminación de contaminantes por catálisis heterogénea, Red CYTED VIII-G, 269-284.
- Sharma, B.M., Bharat, G.K., Taval, S., Nizzetto, L., Cupr, P. y Larssen, T. (2014). Environment and human exposure to persistent organic pollutants (POPs) in India: A systematic review of recent and historical data. *Environment International*, Vol. 66, 48-64.
- Shen L.Y., Lu W. S., Yao H. y Wu D. H. (2005). A computer-based scoring method for measuring the environmental performance of construction activities. *Automation in Construction*, Vol. 14(13), 297-309.
- Soechitram, S.D., Athanasiadou, M., Hovander, L., Bergman, A. y Jacob Sauer, P.J. (2004). Fetal exposure to PCBs and their hydroxylated metabolites in a Dutch Cohort. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 112 (11), 1208-1212.
- Tehrani, R. y Van Aken, B. (2014). Hydroxylated polychlorinated biphenyls in the environment: sources, fate, and toxicities. *Environ Sci Pollut Res*, Vol. 21, 6334-6345.
- Villagra-Mella, R., Aguayo, M., Parra, L. E. y González, A. (2006). Relación entre características del hábitat y estructura del ensamble de insectos en humedales palustres urbanos del centro-sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, Vol. 79, 195 - 211.
- Wang, X. P., Sheng, J. J., Gong, P., Xue, Y. G., Yao, T. D., & Jones, K. C. (2012). Persistent organic pollutants in the Tibetan surface soil: spatial distribution, air-soil exchange and implications for global cycling. *Environmental pollution*, 170, 145-151.
- Zhu, H., Wang, Y., Wang, X., Luan, T. y Tam, N.F.Y. (2014). Distribution and accumulation of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in Hong Kong mangrove sediments. *Science of the Total Environment*, Vol. 468-469, 130-139

SOLUCIONES DE AISLAMIENTO TÉRMICO EN CONSTRUCCIONES LIVIANAS EN SECO

Thermal Insulation Solutions in Light Dry Constructions

Sandra Lucía Vidal Revelo

svidalr@misena.edu.co

RESUMEN

Teniendo en cuenta los “Criterios Ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana” del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible basados en el Decreto 1285 que regula los enfoques de la Construcción sostenible en Colombia [1] se realizó el Proyecto de investigación aplicada denominado “Análisis y Evaluación del Desempeño Térmico del Sistema de Construcción Liviana en Seco” realizado en convenio entre el SENA y la Universidad del Valle cuyo objetivo es analizar, comparar y evaluar el comportamiento térmico del sistema constructivo en diafragmas verticales de muros, sin considerar en una primera fase variables arquitectónicas de espacialidad, forma, función y otras que puedan aplicar y puedan ser simuladas posteriormente haciendo uso de software especializado.

Este análisis de evaluación comparativo y paramétrico se estructuró con base en el clima de la ciudad de Cali en la zona céntrica de la avenida cuarta norte donde se construyeron las probetas para efectos de medición; las variables que se tuvieron en cuenta en la construcción del bloque de probetas, fueron la temperatura generada al interior de ellas en espacio estanco bajo condiciones atmosféricas reales, la temperatura al interior de la envolvente que tuvo como punto de comparación con respecto a la temperatura externa los datos arrojados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales “IDEAM”[2] y los equipos de medición ubicados al exterior de las probetas que permitieron ver los comportamientos a nivel de temperatura en cada una de ellas.

Para el desarrollo del proyecto fue de suma importancia comprender el sistema de construcción, los materiales y procesos constructivos que le eran inherentes, para así poder abordar las diferentes posibilidades que deja entrever la construcción liviana en seco en cuanto a aislamiento térmico, dado que en varios escenarios ha reemplazado procesos tradicionales con mampuesto en arcilla por su rapidez, versatilidad y economía.

Palabras Claves: Aislamiento térmico, construcción liviana, ahorro energético, confort, eficiencia energética, desarrollo sostenible, drywall.

Summary

Considering “Environmental Criteria for the design and construction of urban housing” of “Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible” based on Decree 1285

that regulates approaches to sustainable construction in Colombia, it was made the Project - Analysis and evaluation of the Thermal performance of the drywall construction system - carried out in agreement between SENA and UNIVALLE, whose objective is to analyze, compare and evaluate the thermal behavior of the construction system as such (vertical, horizontal and inclined diaphragms) without considering in its first phase architectural variables like spatiality, form, function and others that they can be applied and can be simulated later using specialized software.

This comparative and parametric evaluation analysis was structured based on the climatology of the place where the research will be carried out (Cali urban area of the center);

Considered variables to be taken into account in the first block of specimens were the inside temperature in - watertight space - (Barona, personal communication, 2016). Under real atmospheric conditions, the temperature inside the enclosure was compared with respect to the external temperature data from “Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM” and measurement equipment located outside the test specimens.

It was determinant for the project development to understand the construction system in order to deal with the different possibilities that can be explored with light building systems in terms of thermal insulation, since in several scenarios it has replaced traditional processes because of their speed, versatility and economy.

Keywords: Thermal insulation, Drywall construction system, Sustainable development, Comfort, Efficiency, Energetic savings.

INTRODUCCIÓN

El proyecto “Análisis y Evaluación del Desempeño Térmico del Sistema de Construcción Liviana en Seco” partió de la inquietud de encontrar soluciones en términos de aislamientos térmicos en edificaciones de vivienda en la ciudad de Cali, que fueran tenidas en cuenta por instaladores del sistema y personas del medio de la construcción en la ejecución de sus proyectos (Vidal, S Barona, J. 2019) [3].

El muro hueco compuesto por perfiles y placas da la opción dentro de su composición para la inclusión de diferentes tipos de aislamientos como parte de la solución, dado que abre la posibilidad de medir la efectividad de los materiales comercializados actualmente como aislantes en diferentes partes del diafragma vertical, neutralizando para este caso el papel que juega la cubierta y concentrándose en las envolventes de fachada.

Los equipos de medición que se emplearon en esta medición fueron: estaciones meteorológicas para medir temperaturas exteriores de referencia, termo higrómetros para mediciones sobre la superficie interna o externa de la

probeta y data loggers que arrojaron las temperaturas al interior del prototipo en intervalos de 30 minutos.

Igualmente, se consideraron factores que son propios del sistema de construcción tales como la aplicación de masillas para el tratamiento de juntas, acabados y pintura.

En Colombia se han generado algunas investigaciones al respecto, destacándose el esfuerzo de algunos investigadores y universidades públicas y privadas que han asumido el reto de confrontar uno de los sectores económicos más fuertes del país, como lo es el de la construcción, ante la respuesta ineficiente en la producción de viviendas confortables de interés social.

El arquitecto Helmuth Ramos Calonge¹, profesor de arquitectura en la Universidad de la Salle, en su investigación sobre el confort en la vivienda dirigida a sectores de bajos ingresos en Bogotá tuvo como eje central “la habitabilidad”. Dentro de las hipótesis a investigar el proyecto se ocupó de conocer las condiciones de iluminación, ruido e higrotermicidad en la vivienda, a partir de un modelo metodológico propuesto para diagnosticar la situación de los tres parámetros. Por medio del modelo se establecieron y cuantificaron los niveles lumínicos, acústicos e higrotérmicos, y su relación con los rangos establecidos como confortables. La afectación de dichos niveles a las personas y a la vivienda misma se enumeró procediéndose a establecer posibles soluciones arquitectónicas, constructivas y técnicas. [4]

Los investigadores Johnny D. Gamboa H., Oswaldo López B., Verónica Iglesias, Miguel E. Rosillo P. y Carlos A. Herrera C. arquitectos e ingenieros mecánicos respectivamente y docentes de la Universidad del Valle que actualmente integran el grupo de investigación “Hábitat y Desarrollo Sostenible” realizaron un análisis urbano y arquitectónico de las condiciones de confort en unidades de vivienda de interés social ubicadas en la ciudad de Cali, en el que se precisaron y condensaron los factores ambientales que inciden en la ciudad, concluyendo que la planificación urbana realizada en Cali es deficiente en términos de sostenibilidad y confort. Los autores respaldaron científicamente los resultados en la fenomenología energética de las edificaciones a través del análisis de los tipos y materiales de construcción, los modos de transferencia energética y el cálculo de cargas térmicas. En esta relación de confort, paisaje y contexto urbano de la vivienda de interés social, se estudiaron los antecedentes históricos, la alteración del clima, las relaciones urbanas de la vivienda y la clasificación según la tipología, el sistema constructivo y el año de construcción; se realizaron análisis cualitativos por medio de encuestas que evidenciaron una alta percepción de disconfort

1 Investigación que conceptualiza sobre la vivienda como génesis y unidad básica del concepto de hábitat.

térmico por parte de los usuarios y análisis cuantitativos de mediciones en la vivienda de interés social que confirmaron las percepciones de los usuarios y las propuestas de mejoramiento a partir de estrategias de fácil aplicación.

El análisis de las diferentes posibilidades que arroja el uso de los aislantes térmicos al interior de los muros huecos en fachada puede conducir a respuestas efectivas en términos de confort que podrían implementarse en edificaciones de vivienda para la región y en zonas con condiciones atmosféricas similares.

METODOLOGÍA

La metodología de desarrollo del proyecto precisó la información climática del municipio de Santiago de Cali, su área de influencia y las condiciones térmicas de la envolvente arquitectónica en construcción liviana en seco como punto de partida, permitiendo evidenciar las condiciones de confort higrotérmico disponibles en las diferentes opciones propuestas (probetas). Para dicho diagnóstico se hizo uso de la ecuación de Fanger (1970) que dio las pautas de confort de los usuarios en un determinado espacio [5] comparándose con los postulados de Olgyay [6], que desde 1968 incorporó de forma científica los factores ambientales y climáticos en concepción arquitectónica con el ánimo de reducir los impactos ambientales; en el libro *Clima y Arquitectura* este autor muestra la relevancia del conocimiento profundo de tres puntos en la arquitectura (el clima, la relación humano-clima y la relación tecnología-clima) para las variables climáticas propias de la ciudad. Teniendo en cuenta lo anterior se consideró que las variables debían ser retomadas posteriormente a través de un software que estableciera las pautas necesarias y posibles, pero que para el desarrollo del proyecto debía generarse un ambiente de aire estanco que permitiera disminuir el número de variables para el análisis de resultados.

Como primera fase en el desarrollo del proyecto se contempló la formulación del proyecto y alistamiento de insumos, materiales, equipos y herramientas, igualmente una revisión bibliográfica que dio lugar a la formulación de la hipótesis que en un primer momento se direccionó a postular como mejores opciones los aislamientos con lana de vidrio y el sistema EIFS (Sistema de Aislación Exterior Pintada) por su composición y calidad de los materiales que lo componen.

En un segundo momento se realizó la construcción de probetas con placas de yeso, fibrocemento, óxido de magnesio, tipo sándwich, y placa combinada (Sustrato 1 + aislante térmico), lo anterior con el fin de lograr la medición del comportamiento de las envolventes que comúnmente se usan por parte de los instaladores y profesionales del sector, teniendo en cuenta factores climáticos en el marco de la actual normativa.

Por último, se planteó el análisis estadístico de datos de cada una de las soluciones que implicó la formulación de las conclusiones a nivel técnico y económico (en este último caso se tuvo en cuenta el valor por metro cuadrado de cada solución).

El análisis de los resultados se dio de acuerdo a la siguiente categorización de los prototipos:

1. Sistema con alternativas de ventilación natural: Para esta agrupación los sistemas utilizados implementaron la modalidad de revestimiento en las envolventes de fachada o bien ventilación al interior del muro hueco.
2. Sistema con aislante de poliéster: El sistema de espuma de poliéster estuvo compuesto por 2 sustratos a saber y un aislante en la superficie interna de muros
3. Sistema con aislante en lana de fibra de vidrio: El sistema 3 lo componen 2 sustratos y un aislante en lana de fibra de vidrio con foil de aluminio que se comporta como aislante térmico y acústico.
4. Sistema simple de aislamiento térmico: Los sistemas que se encuentran en esta categoría no incluyen aislantes propiamente dichos, tales como lana de fibra de vidrio o espuma tipo poliéster, únicamente incluyen los sustratos propios de los cerramientos que lo componen.
5. Sistema combinado de aislamiento térmico: Los sistemas analizados en esta categoría combinan dos materiales aislantes a saber, espuma de poliéster y lana de fibra de vidrio al interior de la recámara del muro.

DESARROLLO DEL PROYECTO

Marco Teórico

Teniendo en cuenta que la envolvente de fachada es de suma importancia en el proceso de lograr el confort térmico en las edificaciones² (Vera, S. 2002) entre las que se encuentra la vivienda como núcleo básico del hábitat, se deben incorporar desde las fases y pautas iniciales de diseño, factores de tipo ambiental, climáticos, culturales, económicos, sociales y de uso local, al igual que las propiedades físicas y mecánicas de los materiales en la construcción de los habitáculos optimizando e innovando sobre procesos y técnicas constructivas. [7]

Con respecto a lo anterior, y en función de establecer los criterios con los cuales se registrará el actual proyecto se tocarán diferentes estudios realizados alrededor del tema a nivel mundial y local tales como los realizados por la

2 Evaluación del desempeño energí-termico de una vivienda social en Chile, utilizando un programa de simulación energética de edificios.

Universidad Politécnica de Catalunya a cargo de estudiantes como Gabriela Hernández [8], donde se infiere que la envolvente de los edificios es la superficie más expuesta a la radiación solar dado el flujo energético que ocurre entre el interior y el exterior. La fachada bajo este punto de vista está sujeta a mayores fluctuaciones térmicas, ya que a lo largo del día alcanza elevadas temperaturas y durante la noche pierde calor por radiación hacia el espacio, siendo responsable de la creciente emisión de gases de efecto invernadero GEI.

El Grupo de Investigación Energía y Edificación adscrito al Departamento de Ingeniería Mecánica, de la Universidad de Zaragoza, España; plantea en su estudio sobre la inercia térmica de los edificios en su capítulo introductorio que:

“las paredes que constituyen la envolvente refuerzan la sensación de confort proporcionando un equilibrio natural con la temperatura del aire ambiente. Este equilibrio radiactivo que supone para la persona ocupante un intercambio homogéneo y reducido de energía radiante con la envolvente es una condición clave del confort y es un resultado natural de los edificios con elevada inercia térmica cuando la temperatura interior de los cerramientos se aproxima a los veinte grados. Por así decirlo, las paredes se convierten en un radiador, o mejor en un intercambiador con el contenido, que dará o recibirá energía en función de la temperatura relativa de uno y otro”.

Teniendo en cuenta que las propiedades físicas cambian de acuerdo con los materiales con que se construyen las envolventes³ (Evans, 2003), hoy en día puede realizarse la aplicación de una metodología de estudio que evalúe y verifique el comportamiento de la envolvente y los espacios interiores al impacto solar para lograr un buen porcentaje de iluminación natural y confort visual. [9]

De la misma manera⁴, (Martínez, 2005) existen planteamientos frente al comportamiento térmico-energético de uno de los sistemas constructivos de cerramiento exterior de uso más frecuente tanto en obras públicas como privadas, a fin de verificar su adecuación al clima local y su efectividad para brindar condiciones de confort al edificio. [10]

(Cengel,2003) en su libro “Heat Transfer” señala que estas situaciones de disconfort térmico hacen necesario el uso de sistemas mecánicos de

3 Estudio relacionado con la evaluación del impacto del sol en envolventes vidriadas.

4 Investigación que utilizó un programa computacional para el cálculo del coeficiente de transmitancia térmica y una planilla de cálculo para los balances energéticos de la envolvente exterior en diferentes orientaciones considerando un régimen periódico de variación de temperaturas

ventilación, pero antes de recurrir a estas soluciones recomienda darle un tratamiento integral a los edificios frente a la ganancia de calor, controlando las tres formas en que se transmite: por conducción con el incremento de la resistencia térmica de los materiales, por radiación con del uso de barreras radiantes y finalmente, si no es posible por las dos anteriores; por convección con el uso de escapes o chimeneas en las cubiertas. [11]

Siguiendo los parámetros expuestos por investigadores como⁵ (Vera, 2002) se plantea que la edificación es un sistema dinámico, por lo que el análisis del comportamiento térmico de su envolvente no se circunscribe sólo a evaluar las propiedades térmicas de los materiales constituyentes, sino que ha de entender su funcionamiento como un sistema integral [6] (Hunn, 1996), por tanto el análisis del comportamiento energético-térmico para las edificaciones de vivienda se centra en la utilización de un procedimiento de cálculo manual y de un programa computacional que modele la interacción de los procesos térmicos de una edificación, los cuales varían significativamente en su facilidad de implementación y comprensión dado el nivel de detalle que se presenta en el ingreso de datos y resultados entregados. [12]

Para el caso de la vivienda de interés social debe tenerse en cuenta la relación de confort, paisaje y contexto urbano, para lo cual deben estudiarse antecedentes históricos, alteraciones del clima, relaciones urbanas de la vivienda y la clasificación según la tipología, el sistema constructivo y el año de construcción; para este efecto en el desarrollo del proyecto se realizaron análisis cualitativos y cuantitativos por medio de encuestas que evidenciaron disconfort térmico por parte de los usuarios.

En este tipo de viviendas construidas en una tecnología liviana (paneles de poliuretano, muros en fibrocemento) se observaron algunas falencias que van desde la forma como se abordaron los diseños que no incluyeron estrategias arquitectónicas que permitieran mejorar las condiciones internas de temperatura o bien no se tuvo en cuenta por parte de los constructores el enorme potencial de aislamiento que tienen estas tecnologías constructivas.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A través de un paneo previo de tecnologías modulares de ensamble en la ciudad de Cali y su uso por parte de comunidades en estratos 1, 2 y 3 se concluyó sobre la implementación de los sistemas de construcción en seco en actividades edificatorias relacionadas con vivienda de interés social, detalles constructivos direccionados al logro del confort térmico y sus ventajas al momento de implementar las mejoras de acuerdo a las normativas vigentes.

5 Análisis Climático y evaluación del desempeño energético-térmico de una vivienda social

Teniendo en cuenta las categorías anteriormente expuestas en la agrupación de probetas, la que mostró un mejor comportamiento fue aquella que utilizó doble sustrato en la fachada permitiendo el paso del aire en un flujo continuo que iba de abajo hacia arriba permitiendo refrigerar de manera natural el espacio interno. En este caso no se utilizó ningún tipo de aislamiento adicional a la solución planteada. Los grados de diferencia entre el exterior e interior fueron de 5 a 6 grados Celsius.

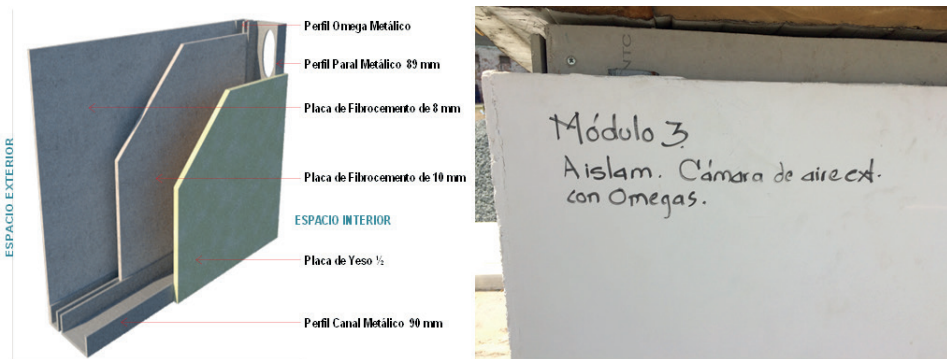


Figura 1. Probeta de fachada ventilada. **Fuente:** Elaboración propia

Como segunda mejor solución se tuvo aquella que incluyó la espuma de poliéster adosada al sustrato externo con el foil de aluminio hacia afuera antes de la placa de fibrocemento actuando como barrera radiante e hidrófuga. En función de su emisividad (relación entre la energía absorbida y aquella que se emite desde la superficie) resultó baja en las mediciones de la probeta dado el aluminio adherido a la espuma de poliéster (0,04) mientras que el grado de reflectividad para el mismo material fue alto siendo muy apropiado como aislante térmico. Los grados de diferencia entre el exterior e interior oscilaron entre 4 y 5 grados Celsius.

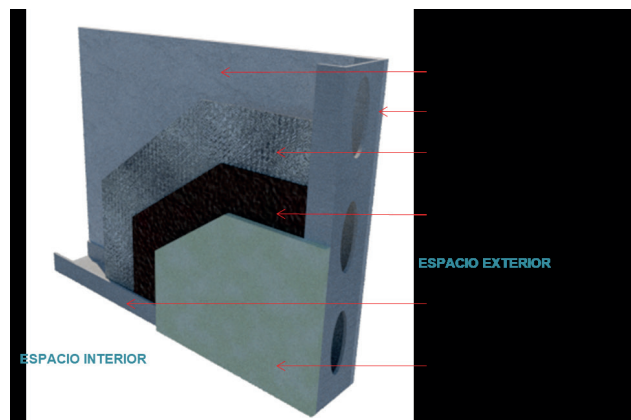


Figura 2. Probeta con espuma de poliéster. **Fuente:** Elaboración propia

Como tercera solución la lana en fibra de vidrio con foil de aluminio tuvo como grados de diferencia entre el exterior e interior de 3 a 4 ° Celsius.

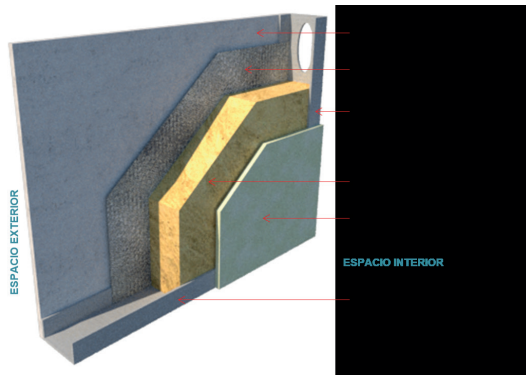


Figura 3. Probeta con lana de vidrio. **Fuente:** Elaboración propia

CONCLUSIONES

Para adoptar criterios de mejora energética en las probetas se tiene como primera solución pasiva, separar el prototipo de la base de piso para permitir la circulación de aire evitando el contacto de la construcción con gases presentes en la tierra¹ (Consul Steel, 2008) [13]; igualmente y bajo la misma perspectiva prevenir la ascensión de humedad por efecto de capilaridad en los muros.

La cubierta juega un papel representativo que debe neutralizarse para medir únicamente la envolvente de muros, para ello la estrategia empleada es utilizar teja tipo sándwich (lámina metálica+poluretano+lámina metálica) de mayor espesor con el fin de lograr una transferencia de calor mínima en el trascurso de las primeras 6 horas posteriores al momento de mayor incidencia térmica.

Los diafragmas verticales o muros demuestran un mejor comportamiento manejados como fachadas ventiladas en las probetas, esto es un sustrato inicial que lo configura el muro a dos caras con un tipo de placa al interior, otro tipo hacia su cara externa y la aplicación de una segunda capa de revestimiento sobre la cara externa que permita la circulación del aire con una menor transferencia de calor hacia el primer sustrato de la fachada.

En cuanto al segundo mejor resultado en el primer bloque de probetas, se tiene como solución el uso de la espuma de poliéster con foil de aluminio ubicado en el sustrato interior con el foil direccionado hacia la cavidad hueca del muro, este material funciona como pantalla termo-reflectante que

1 Gas radón

reverbera la radiación en dirección a su procedencia y reduce la transferencia térmica por conducción-convección dadas las burbujas de aire que contiene.

Con respecto a los resultados en las probetas menos exitosas se tiene la implementación de morteros flexibles como materiales de acabado sobre sustratos de placas de yeso para exteriores, en este caso se detecta que el cemento posee una conductividad térmica de 1,047 (W/(m·K)), muy representativa frente a otros materiales usados en las probetas tales como:

- Placas de yeso, conductividad térmica de 0,29-0,58
- Placas de fibrocemento, conductividad térmica de 0,22 -0,75

Se observa que, pese a la condición térmica de la placa de yeso para exteriores, al ubicar el mortero flexible sobre el sustrato aminora su capacidad como aislante e incrementa su conductividad térmica.

Se realizó con base en los resultados preliminares módulos adicionales con cerramientos tipo sándwich (lámina metálica+poliuretano+lámina metálica) y con placas a base de óxido de magnesio como materia prima para establecer parámetros de comparación entre las diferentes opciones comerciales existentes; para los dos casos anteriores se obtuvo una conducción térmica alta que podría mejorar con la implementación de estrategias de tipo arquitectónico para el manejo de la salida de calor.

BIBLIOGRAFÍA

- Código Colombiano de Construcción Sostenible, Colombia, (2015). Decreto 1077 y 1285. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Corporación Financiera Internacional del Grupo Banco Mundial (IFC), Cámara Colombiana de Construcción (CAMACOL).
- Cengel, Y. A. (2003). Heat transfer a practical approach. McGraw-Hill.
- Vidal, S. Barona, J. (2019). Análisis y Evaluación del Desempeño Térmico del Sistema de Construcción Liviano en Seco en Edificaciones de Vivienda. Estrategias Constructivas.
- Calonge, H. R. (2011). El confort en la vivienda de bajo costo: modelo metodológico para diagnosticar higrotermicidad, iluminación y acústica. Traza, 2(4).
- Cónsul Steel. (2008). Manual de procedimiento construcción con Steel framing. Buenos Aires: Autor.
- Evans, J. M., Eguía, S., Pérez, A., & Evans, J. (2003). Evaluación de impacto del sol en envolventes vidriadas. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN, 0329-5184.
- Fanger, P. O. (1970). Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.
- Hernández Morel, G. D. L. M. (2016). Fachadas disipadoras de calor: recursos para el diseño arquitectónico (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Hunn, B. D. (Ed.). (1996). Fundamentals of building energy dynamics (Vol. 4). MIT Press.
- IDEAM (2017). En acerca de la entidad. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/entidad/acerca-entidad>
- Martínez, C. E. C. I. L. I. A. (2005). Comportamiento térmico-energético de envolvente de vivienda en SM de Tucumán en relación a la adecuación climática. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 9, 05-01.
- Olgay, V. (1968). Clima y arquitectura en Colombia. Universidad del Valle.
- Vera, S. (2002). Evaluación del desempeño energético-térmico de una vivienda social en Chile, utilizando un programa de simulación energética de edificios= Evaluation of thermal and energy performance in social housing in Chile, using energy simulation software for buildings.

APROVECHAMIENTO DE VINAZAS DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ELABORACIÓN DE PLASTIFICANTE PARA MORTEROS

Utilization Of Of Sugar Cane Vinasse In The Production Of Plasticizer For Mortars

Leydi Jimenez^{1}, Nilson Trochez¹, Yessica Diaz², Luis Astudillo¹*

¹Grupo Tecnologías para la Innovación en la Construcción, TPIC, Sena Centro de la Construcción Regional Valle, Cali, Colombia

²Grupo de Investigación en Eficiencia Energética y Energías Alternativas, GEAL, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia

*e-mail del autor de correspondencia: ljimenezb@sena.edu.co

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados de investigación sobre el desarrollo de un aditivo plastificante para morteros de pega de ladrillo a partir de vinazas proveniente de la destilación de bioetanol de un ingenio azucarero Colombiano; se evaluó su efecto sobre la plastificación y reducción de agua en morteros. Se realizaron mezclas con adición de 0,5%, 1% y 2% de vinaza, empleando dos diferentes vinazas (V1, V2), se evaluaron los efectos sobre la plastificación y reducción de agua en comparación con una mezcla de control (P) sin aditivo. Finalmente se determinó el efecto sobre el tiempo de fraguado de la vinaza V2. Como resultado se obtuvo que las vinazas incrementan la fluidez de los morteros hasta en un 46%, además funcionan como agente reductor de agua, obteniendo reducciones cercanas al 20% de agua, e incrementan el tiempo de fraguado en un 50% en comparación con el mortero de control.

Palabras clave: vinaza, subproductos industriales, plastificante, mortero.

ABSTRACT

This article presents the results of research on the development of a plasticizing additive for cementing mortar of the masonry starting with vinasses from the distillation of bioethanol from a Colombian sugar mill; its effect on the plasticization and reduction of water in mortars was assessed. Mixtures were made with the addition of 0,5%, 1% and 2% of vinasse, using two different vinasses (V1, V2), and the effects on the plasticization and reduction of water were evaluated in comparison with a standard mixture (P) without additive. Finally, the effect on the setting time of the vinasse V2 was determined. As a result, it was obtained that the vinasses increase the fluidity of the mortars by up to 46%, besides they function as reducing agent of water obtaining reductions of close to 20% of the water, increase the framing time by 50% compared to the standard mortar.

Key words: vinasse, industrial by-products plasticizers, mortar.

INTRODUCCIÓN

Los morteros de pega cumplen la función de unir las unidades de mampostería, logrando que el muro se comporte como un solo elemento, la resistencia del mortero debe ser la necesaria para soportar el peso de muro y de otros elementos en una edificación; para llegar a esta condición el mortero en estado fresco requiere tener ciertas propiedades de consistencia y plasticidad para conseguir la colocación de la mezcla sobre las unidades de mampostería, y una buena unión del conjunto, además que la transmisión de cargas recibidas sea adecuada. Otra condición que debe cumplir el mortero de pega es soportar los cambios térmicos (dilatación) y de secado (contracción) lo que se consigue al lograr una buena resistencia inicial; generalmente esta propiedad se relaciona con un alto requerimiento de conglomerante repercutiendo en incrementos de contracciones. Otra manera de lograr plasticidad es mediante el uso de un aditivo plastificante supliendo de esta manera el incremento de conglomerante; al mismo modo reduciendo el contenido de agua y aumentando la resistencia mecánica, obteniendo la consistencia deseada.

Los aditivos son productos que se adicionan en bajas cantidades en función del cemento y producir una modificación en algunas de sus propiedades, entre estos aditivos los más utilizados son los plastificantes [1], se clasifican según su nivel de plastificación como de primera, segunda y tercera generación, la primera generación aparece a inicios del siglo XX [2], plastificantes a base de lignosulfonatos derivados de la madera; se utilizan cuando las exigencias de plastificación no son altas, con aumentos de plasticidad entre un 20 y un 30%, pueden reducir hasta un 10 % del agua de amasado [1]. La producción de estos lignosulfonatos se basa en la sulfonación de las ligninas presentes en la madera [3] sin embargo no solo se extrae de la madera sino de cualquier tipo de plantas que contenga lignina; la caña de azúcar tiene entre el 10 y 15 % de lignina, esta ingresa al proceso de producción del bioetanol y sale en la vinaza, la generación de vinaza con relación al bioetanol es de 15 a 1 en el peor de los casos y de 3 a 1 en el mejor de los casos [4, 5]. En Colombia los ingenios azucareros del Valle del Cauca al 2015 produjeron alrededor de un millón doscientos cincuenta mil litros de bioetanol diarios [6], con las relaciones antes mencionadas se podría convertir estas vinazas en una problemática ambiental si no se les da el tratamiento adecuado. En el presente estudio se plantea el empleo de las vinazas para la producción de un aditivo plastificante para mezclas de cemento Portland, evaluando su afectación sobre las propiedades de plasticidad y resistencia mecánica.

METODOLOGÍA

Se utilizó una metodología de investigación cuantitativa experimental, a continuación se presenta un resumen de la metodología, Figura 1.

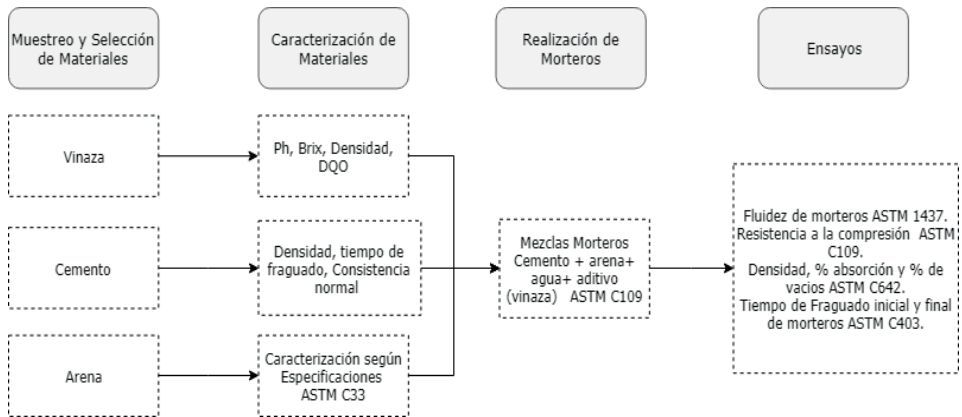


Figura 1. Resumen de la metodología desarrollada en la investigación

Materiales

Para el presente estudio se utilizó cemento de uso general tipo UG, Arena proveniente de río y caracterizada según la norma ASTM 33 y vinaza como residuo de destilación de bioetanol de la caña de azúcar. Considerando que la vinaza tiene una variación dependiente del proceso, se realizó un muestreo aleatorio durante 4 meses; una vez por semana con variaciones de concentración entre 20 °Brix y 60 °Brix, se analizaron 2 muestras representativas para una concentración baja y una alta; 21,15 °Brix (V1) y 60 °Brix (V2). Cada muestra se caracterizó mediante mediciones de pH, densidad, demanda química de oxígeno (DQO) parámetro que determina el contenido total de materia orgánica oxidable, sea esta biodegradable o no; la oxidación bajo condiciones controladas de acidez, temperatura y tiempo transforma la materia orgánica en dióxido de carbono y agua [7]. Se efectuó estabilización en las vinazas para lograr la disminución de la materia orgánica y al aumento del pH antes de ser utilizadas como plastificante, para ello se utilizaron, Cloruro Férrico ($FeCl_3$) usado en el tratamiento de agua residual por su alta eficiencia en la remoción de orgánicos y metales pesados, Hidróxido de Calcio como un neutralizador de pH, Formol como un conservante, antiespumante utilizado para controlar la formación de espuma durante el mezclado del mortero, y por último agente dispersante para permitir la dispersión de los sólidos en la vinaza.

Dosificación y ensayos

Las mezclas de mortero preparadas inicialmente fueron siete, el mortero de control y las mezclas con las vinazas V1 y V2. La proporción en peso cemento: arena fue 1:2,75 según norma ASTM C109, relación agua/cemento de 0,72; la vinaza se incorporó en porcentajes del 0,5%, 1% y 2% del peso del cemento. Además se evaluó la capacidad como reductor de agua de la vinaza en función

del mortero de control. En los morteros se realizaron ensayos de fluidez según la norma ASTM C1437, tiempo de fraguado norma ASTM C403, propiedades físicas y mecánicas según las normas ASTM C642 y ASTM C109.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de Materiales

Los resultados de los ensayos de caracterización de la arena proveniente del río se registran en la Tabla 1 y en la Figura 2, en la arena se evidencia el cumplimiento de las especificaciones de la Norma ASTM C33.

Tabla 1. Resultados de ensayos caracterización arena

Propiedad	MUS (kg/m ³)	MUC (kg/m ³)	Módulo de Finura	Contenido de Finos %	D. Aparente (g/cm ³)	% Absorción	Impurezas Orgánicas (No)	Sanidad frente a Sulfato de Magnesio (%)	Terrones de Arcilla y partículas Deleznables (%)
Método Ensayo	ASTM C128		ASTM C136	ASTM C117	ASTM C29		ASTM C142	ASTM C87	ASTM C88
ASTM C33	N.A	N.A	2,3 a 3,1	3,0	N.A	N.A	3,0	15,0	3,0
Valor	1589	1708	2,57	0,82	2,53	2,78	3,0	6,66	0,67

En la Tabla 2 se presenta la caracterización de las vinazas al momento de la toma de muestra en la destilería. Los grados Brix indican la concentración de sólidos, para el caso de ambas muestras, el DQO presenta valores altos y un pH es ácido, condiciones que podrían afectar el fraguado de los morteros elaborados.

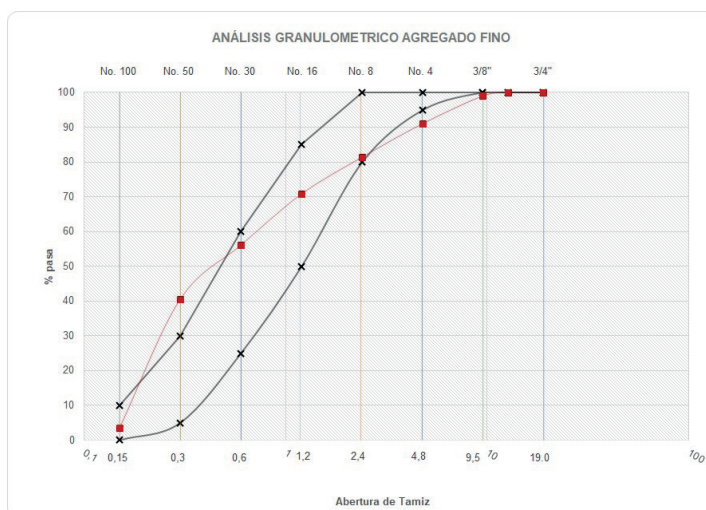


Figura 2. Curva granulométrica de la arena

Tabla 2. Caracterización de la vinaza a 25°C

Variable	*°Brix	Densidad	pH	DQO	*Sólidos insolubles
Unidad	°Brix	g/cm ³	pH	mg/L	g/L
V1	21,15	1,11	4,54	102,8	17,21
V2	60	1,32	4,78	115,7	23,2

*Información suministrada por la empresa productora de bioetanol.

Se midió el efecto del cloruro férrico, hidróxido de calcio y formol sobre el DQO en la muestra V2 antes de ser usado como plastificante. Los valores obtenidos para este parámetro se pueden observar en la Tabla 3, el valor de DQO desciende con el empleo de los químicos en mención en comparación con la vinaza sin tratamiento (virgen).

Tabla 3. Estabilización de la vinaza 60 °Brix a 25°C

Estabilizador	Virgen	Cloruro Férrico	Hidróxido de sodio	Formol
Proporción peso		1%	5%	0,30%
DQO	81,42	51,25	58,9	56,45

Los resultados obtenidos con el empleo de los químicos (Tabla 3), disminuyen la cantidad de materia orgánica con mayor rapidez; se realizó la estabilización de las vinazas V1 y V2 con el 1% cloruro férrico, 5% hidróxido de calcio, 0.3% formol, 0.5% dispersante, 0.5% agente antiespumante, se mezclaron mediante agitación mecánica; el pH obtenido fue 5,92 y 6,04 para V1 y V2 respectivamente.

Determinación del efecto de las vinazas en el mortero

Al comparar el mortero de control (P) y los morteros con adiciones del 0,5, 1 y 2% de vinaza observa un incremento en la fluidez, en la Tabla 4 se muestra en ambas vinazas un efecto positivo sobre la fluidez de la mezcla, no se observan diferencias marcadas en las dos concentraciones de la vinaza (21,15 y 60 °Brix), en la Figura 3 los porcentajes de incremento de fluidez muestran el efecto de la vinaza como plastificante, el aumento de fluidez varía entre el 10% al 46% en comparación con la mezcla de control.

Tabla 4. resultados ensayo de fluidez V1, V2

Mezcla	Control	V1-0,5%	V1-1%	V1-2%	V2-0,5%	V2-1%	V2-2%
Signatura Morteros	P	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Fluidez (%)	103	121	*150	*150	113	132	146
Observación			se desborda al golpe 25	se desborda al golpe 18			

*Se reporta el número de golpes en la mesa de flujo con los cuales se alcanza el máximo de fluidez.

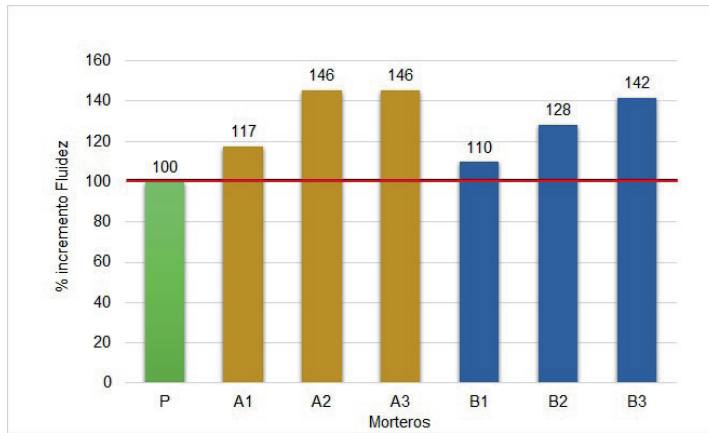


Figura 3. Incremento en la fluidez en porcentaje para las mezclas con vinaza 0.5%, 1% y 2%, en relación a la mezcla de control

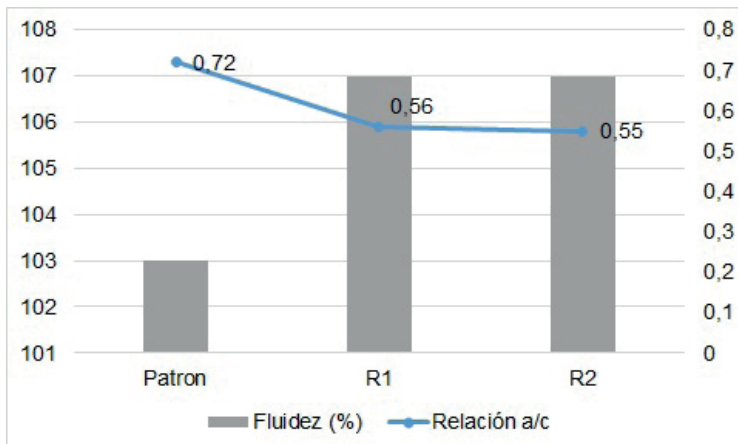


Figura 4. Efecto de las vinazas como reductor de agua, proporción al 2% V1 y V2.

Al evaluar el comportamiento de la vinaza como reductor de agua en los morteros R1 y R2, ambos con 2% de vinaza correspondiente a las muestras V1 y V2 respectivamente, se obtiene una disminución en la cantidad de agua para ambos mortero, manteniendo una fluidez por encima del mortero de Control Figura 4. La reducción de agua para las muestras V1 y V2 es similar, lo que indica que los compuestos como la lignina no dependen de la concentración de sólidos totales (grados Brix) presentes en la vinazas, por lo que ambas muestras actúan como un agente dispersante entre las partículas y de esta manera aportan a la fluidez, como a la reducción de agua para una misma trabajabilidad [7].

El efecto producido por la vinaza sobre el tiempo de fraguado se analizó en los morteros (B1, B2, B3) con vinaza V2, el tiempo de fraguado inicial y final se incrementó en comparación con el tiempo de fraguado del mortero de control, debido a compuestos de sacarosa, materia orgánica y a el bajo pH de la vinaza, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla V.

Sobre las propiedades físicas y la resistencia a la compresión (Tabla V), las vinazas no afectan significativamente el desempeño físico mecánico de los morteros, no se ve afectadas propiedades como el volumen de poros permeables y la resistencia a la compresión.

Tabla 5. Propiedades físicas y resistencia mecánica de los morteros

Mezcla	Unidad	P	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Resistencia a la compresión a 7 días	MPa	16,19	16,85	14,26	12,25	13,95	13,97	14,48
Resistencia a la compresión a 28 días	MPa	21,34	23,57	18,94	18,00	21,11	20,41	21,54
Densidad aparente	g/cm ³	2,43	2,52	2,49	2,44	2,51	2,50	2,49
Densidad seca	g/cm ³	1,85	1,94	1,89	1,90	1,89	1,88	1,91
Volumen de poros permeables	%	23,98	23,02	24,03	22,26	24,73	24,50	23,17
Absorción total	%	12,97	11,85	12,72	11,73	13,11	13,01	12,12
Tiempo de fraguado inicial	hora	3,64	-	-	-	3,54	4,65	12,66
Tiempo de fraguado final	hora	6,85	-	-	-	7,33	15,03	32,34

CONCLUSIONES

Este estudio se realizó para determinar el potencial de uso de la vinaza de caña de azúcar como plastificante en mortero de cemento Portland, basado esto en el porcentaje de lignosulfonatos que contiene este residuo industrial. Para evaluar los posibles efectos se realizaron pruebas en estado fresco y endurecido. Sobre la base de los resultados experimentales se extraen las siguientes conclusiones:

Como se esperaba las dos muestras de vinazas proporcionaron mejor fluidez en comparación con la mezcla de control, dicha fluidez se incrementó con el aumento en el porcentaje de vinaza utilizada, se obtuvieron entre el 10 y 46% aumento de fluidez sobre el mortero de control. En cuanto a la capacidad de reducción de agua de las vinazas se pudo determinar que permite para una misma trabajabilidad obtener reducciones superiores al 20% de agua de la mezcla de control.

Con el incremento del porcentaje de vinaza se aumenta el tiempo de fraguado inicial de 3,54 horas en el mortero de control a 12,66 horas el mortero B3 (V2 al 2%); igualmente este incremento se presenta para el fraguado final de 7,33 horas en el mortero de control a 32,34 horas en el mortero B3.

El uso de la vinaza como plastificante, no afectó las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas de morteros

Las vinazas estudiadas cumplen con la función de aditivo plastificante, reductor de agua y retardante en morteros.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Topçu İ y Ateşin Ö, Effect of High Dosage Lignosulphonate and Naphthalene Sulphonate Based Plasticizer Usage on Micro Concrete Properties, *Construction and Building Materials*, 2016; 120: 189-197.
- [2] Hernandez C, *Plastificantes para el Hormigón*, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Tesis de Pregrado 2005.
- [3] Arel H, The effect of lignosulfonates on concretes produced with cements of variable fineness and calcium aluminate content, *Construction and Building Materials*, 2017; 131: 347-360.
- [4] Correia J, Christofoletti C, Ansoar- Rodriguez Y, Guedes T, y Fontanetti, C, Comet assay and micronucleus test on *Oreochromis niloticus* (perciforme: Cichlidae) exposed to raw sugarcane vinazze and to physicochemical treated vinasse by pH adjustment with lime (Cao) *Chemosphere*, 2017; 173: 494-501.
- [5] Paez-Ortegón G, Muñoz-Arboleda G, Candela L, Tamoh K y Valdes-Abella J, Vinasse application to sugar cane field. Effect on the unsaturated zoen and groundwater at Valle del Cauca (Colombia), *Science of the Total Environment*, 2016; 539: 410-419.
- [6] Cenicaña, Mas de 10 años de producción. Lecciones, cambios y retos de más de una década dedicada a la producción de biocombustibles en Colombia, *Carta informativa*, 2016; 10-11.
- [7] Becerra-Ospina N, *Clarificación de Vinazas de caña de azúcar por tratamiento Físicoquímico y filtración con membranas*, Universidad Nacional, Bogotá, Tesis de Maestría, 2014.

VIGILANCIA TECNOLÓGICA SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Technological Surveillance For The Sustainable Construction

Elidier Gomez Sanchez - Jimmy Germán Hidalgo Estrella

elidier.gomez@sena.edu.co

jhidalgo@sena.edu.co

RESUMEN

En el presente documento se realiza una vigilancia tecnológica de la producción científica, sobre construcción sostenible haciendo uso de la base de datos Scopus durante el periodo 2016-2020. Para tal fin se han seleccionado 25 artículos por su pertinencia, buscando las principales tendencias que puedan afectar el desarrollo del sector y que sirvan de insumo para la construcción del Plan de Prospectiva Tecnológica del Centro de la Construcción del SENA, Regional Valle.

Entre los principales hallazgos encontrados, se destacan los cambios radicales que va a experimentar el sector de la construcción en los próximos años, producto de la automatización de procesos y de la integración de diversas herramientas tecnológicas para mejorar su productividad y sostenibilidad. Por lo anterior, se hace necesario anticipar la creación, apertura o transformación de los programas de formación actuales que ofrece la institución de forma tal que respondan a los nuevos retos y requerimientos.

Palabras clave: Construcción sostenible, Construcción verde, Infraestructura verde, Vigilancia tecnológica.

Summary

This paper conducts a technological monitoring of the scientific production on sustainable construction, in the Scopus database between the period 2016-2020, selecting 25 articles due to their relevance, in order to find the main trends that may affect the development of the sector, and serve as ingredient for the construction of the technological foresight plan of the Centro de la Construcción del SENA Regional Valle.

Among the main findings, it surged that the construction sector will experience fundamental changes in the coming years, product of the processes automation and the integration of various technological tools to improve its productivity and sustainability. Therefore, it is necessary to anticipate the creation, opening or transformation of the current training programs, in order to respond to the new challenges arisen.

Key words: Sustainable construction, Green construction, Green infrastructure, Technological monitoring.

INTRODUCCIÓN

La población mundial que vivirá en áreas urbanas pasará del 55% que teníamos en el 2018, al 66% en el 2050, lo que implicará que la industria de la construcción se fortalecerá en el tiempo (Ferrer, Thomé, & Scavarda, 2018). Se estima que el sector de la construcción utiliza actualmente entre el 30% y el 42% de la electricidad total generada, produce entre el 35% y el 65% de los residuos dispuestos en los botaderos o rellenos sanitarios, utiliza entre el 40% y el 50% de los recursos naturales extraídos y produce entre el 30% y el 40% de los gases de efecto invernadero, de la misma forma produce, entre el 25% y el 30% del agua servida y utiliza el 12% del suelo (Asif, 2016) (Berardi, 2013) (Kylili & Fokaides, 2017).

En Colombia, la industria de la construcción consume el 40% de la energía, genera el 30% del CO₂ y produce el 40% de los residuos; consume el 60% de los materiales extraídos de la tierra y genera, anualmente, más de 22 millones de toneladas de Residuos de Construcción y Demolición RCD (Departamento Nacional de Planeación, 2018). Al mismo tiempo en el año 2018 la industria aportó el 3,2% del Producto Interno Bruto del país (PIB), se construyeron 163 mil viviendas y se generó más de 3,3 millones de empleos, convirtiéndose en uno de los principales motores del desarrollo del país (Sandra, 2019).

Actualmente la industria de la construcción enfrenta diferentes obstáculos para aumentar su productividad y sostenibilidad, tales como la gran cantidad de procesos y subprocesos interrelacionados, los múltiples actores en las diferentes fases de la obra, los altos grados de personalización. Adicionalmente factores externos como el clima y la naturaleza temporal de la construcción producen altos niveles de incertidumbre que impiden que la industria logre especificaciones completas y estandarizadas de sus procesos, los materiales, el trabajo y los equipos utilizados (Bibri & Krogstie, 2017).

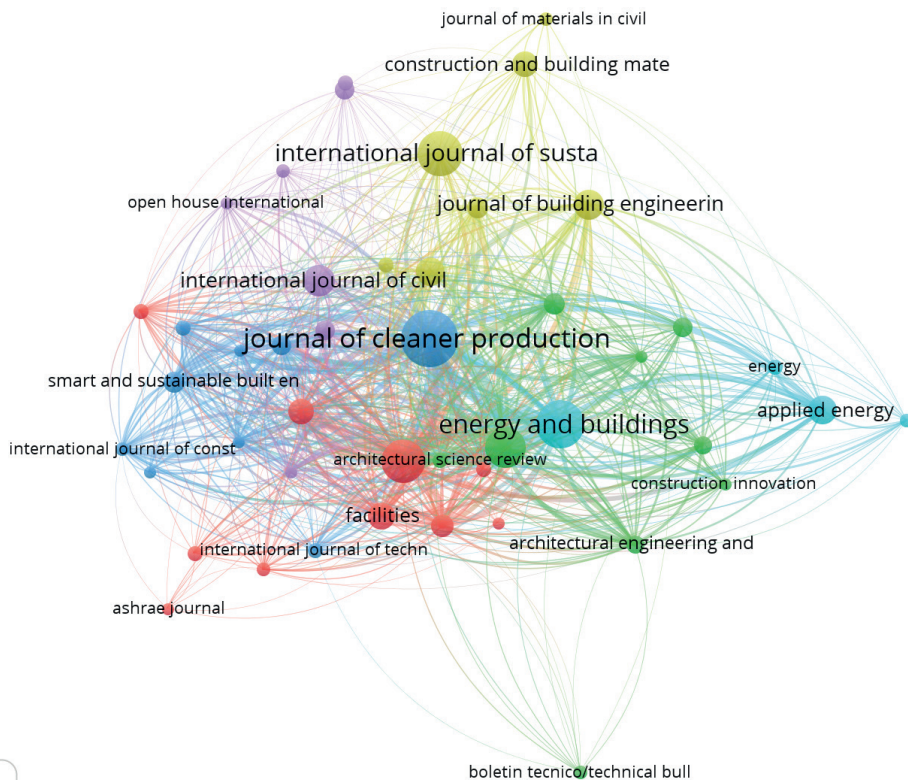
En este documento se realiza la vigilancia científica de las tendencias del sector de la construcción sostenible, que pretende ser un insumo para la construcción del Plan de Prospectiva Tecnológica del Centro de la Construcción del SENA Regional Valle, 2020-2030.

Vigilancia Tecnológica

Una construcción sostenible es aquella que está en sincronía con el sitio, hace uso de energía, agua y materiales de un modo eficiente y provee confort y salud a sus usuarios a partir de un diseño consciente del clima y la ecología del entorno donde se construye la edificación.

Con base en esta definición se realizó una búsqueda para los temas de Construcción Sostenible. La exploración se limitó al área de la ingeniería, documentos en inglés y al tipo de documento artículo o revisión, las palabras

Figura 4. Mapa bibliometrico principales revistas



Fuente: Elaboración propia a partir de datos Scopus con soporte de VOSviewer

De todos estos documentos se seleccionaron 25 para su revisión teniendo en cuenta su pertinencia con el tema de investigación, y se complementó con la información obtenida del Clúster del Hábitat Urbano, liderado por la Cámara de Comercio de Cali y Prospectiva Laboral Cualitativa para el Sector Construcción de Edificaciones en Colombia.

Construcción Sostenible

Existen diversos puntos de vista sobre el concepto de construcción sostenible, para algunos, se trata de la diferencia entre un edificio sostenible y un edificio verde. Si un edificio limita sus impactos ambientales a estándares ambientales aceptables, entonces puede hablarse de un edificio verde, mientras un edificio sostenible requiere cumplir muchos estándares adicionales como su contribución por el sostenimiento de la salud humana y ambiental, el patrimonio cultural, la equidad social y la infraestructura social entre otros (Y. Zhang, Wang, Hu, & Wang, 2017).

El concepto de construcción ecológica incluye no sólo la “sostenibilidad”, sino también la “eficiencia energética”, lo que significa que la eficiencia energética no puede conseguirse a expensas de la reducción de la calidad ambiental interior o del nivel de confort (L. Zhang, Wu, & Liu, 2018).

A pesar de estas diferencias conceptuales sobre las cuales no hay consenso, la construcción verde y ecológica son términos utilizados como equivalentes e intercambiables en la construcción sostenible en todo el mundo (Y. Zhang et al., 2017).

Actualmente el mundo de la construcción sostenible involucra los principios de la economía circular, como parte integral de la industria. Estos principios incluyen el diseño para el desmontaje, la gestión de recuperación de productos, la evaluación del ciclo de vida, la deconstrucción, la adaptabilidad, la desmaterialización y bucles de materiales cerrados. Todo esto puede contribuir a abrir nuevas oportunidades económicas, la creación de nuevas empresas en áreas que actualmente no existen, como los expertos en deconstrucción y material digital. (Jensen & Sommer, 2018).

Se acepta en general que las actividades de construcción sostenible incluyen la planificación, el diseño, la construcción y el uso de edificios con varias consideraciones principales, el uso eficiente de la energía; el agua y los materiales, la mejora de la calidad del medio ambiente interior y la minimización de los impactos negativos sobre el medio ambiente (L. Zhang et al., 2018). Si se amplía el concepto a la sostenibilidad urbana a los edificios, se debe tener en cuenta adicionalmente los alimentos, las áreas verdes, el paisaje, la movilidad, la planificación urbana y los residuos. (Petit-Boix et al., 2017).

Como una forma de responder a la creciente necesidad de poner en práctica el concepto de sostenibilidad, se han desarrollado y aplicado varios sistemas para evaluar el comportamiento ambiental de los edificios, prestando especial atención a la fase de construcción, sin olvidar el objetivo que es garantizar la sostenibilidad a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio, buscando la interconexión de los parámetros ambientales, sociales, económicos y funcionales (Almeida, Ramos, & Silva, 2018) y (Kibwami & Tutesigensi, 2016).

En general, existen cinco categorías de beneficios incrementales asociados con la construcción sostenible a saber: menor costo operativo, mayor comodidad, salud y productividad, mejor reputación corporativa, mayor valor de mercado y externalidad ambiental positiva. (L. Zhang et al., 2018).

Tendencias a nivel mundial

La industria de la construcción y los investigadores han explorado nuevas técnicas para mejorar la sostenibilidad y rentabilidad de los edificios. Estas

soluciones hacen uso de las tecnologías de Industrias 4.0, el modelado de información de edificios (BIM), la evaluación del ciclo de vida, la sostenibilidad de la cadena de suministro y la construcción Lean. (Santos, Costa, Silvestre, & Pyl, 2019) que son explicadas a continuación.

Ciudades más inteligentes

Las Tecnologías de información y Comunicación - TIC están dando lugar a novedosos conceptos de ciudades que redefinen lo que hasta ahora hemos conocido. Estas ciudades reciben el nombre de “ciudades más inteligentes” debido a la magnitud del uso de las TIC y la profusión de datos en cuanto a su integración y uso en sistemas y dominios urbanos. La perspectiva de que las ciudades inteligentes se vuelvan más inteligentes se está convirtiendo en la nueva realidad con la proliferación masiva de tecnologías de detección, computación, procesamiento de datos, comunicación y redes en varias escalas espaciales. Las ciudades más inteligentes incluyen ciudades ubicuas, ciudades sostenibles, ciudades inteligentes y las ciudades como Internet de todo. (Bibri & Krogstie, 2017).

Edificios inteligentes

El concepto de un edificio inteligente se basa en Internet de las cosas (IoT), y consiste en el monitoreo y control de los electrodomésticos a través de una red compleja, que ofrece a los usuarios información del desempeño de estos a través de un medio inalámbrico. La conjunción del sistema de gestión e información del edificio (BMIS) y el IoT se denomina un edificio de internet de las cosas (BIoT). (Verma, Prakash, Srivastava, Kumar, & Mukhopadhyay, 2019).

La construcción de Internet de las cosas (BIoT) controla los dispositivos físicos interiores desde cada lugar, de igual manera controla la eficiencia energética, el medio ambiente y la sostenibilidad. (Verma et al., 2019). Básicamente, las diferentes aplicaciones en los edificios son: calefacción, refrigeración, control de carga, calidad del aire y ventilación, iluminación, luz natural, gestión del agua, gestión del gas de cocción, etc.(Verma et al., 2019).

Industrias 4.0

Recientemente, la industria de la construcción se ha centrado en el estudio del concepto de “Industria 4.0” que abarca la automatización de edificios que básicamente combina el de internet de las cosas y la información digital (Verma et al., 2019).

La industria de la construcción requiere sistemas de fabricación hiperflexibles e intensivamente automatizados, donde, automatización y robótica,

altamente autónomos, flexibles y distribuidos, trabajen y cooperen juntos para producir en tiempo real productos individualizados y complejos con una productividad constante, esto se puede denominar “automatización de la construcción” (CA). (Bock, 2015).

Bock y Linner clasificaron las metodologías de gestión de la innovación y las tecnologías esenciales para la realización e implementación de la Automatización de la Construcción (CA) futura de la siguiente manera: (I) diseño orientado a robots, (II) industrialización robótica, (III) robots de construcción, (IV) automatización del sitio y (V) robótica ambiental. (Georgoulas, Linner, & Bock, 2014).

La aplicación de la automatización y la robótica ha sido reconocida como una de las innovaciones más radicales para la construcción, provocando gran cantidad de esfuerzos de desarrollo de investigación durante décadas. Pero la utilización en el mundo real todavía está en su infancia, y la falta de apoyo económico se considera el principal obstáculo. (Pan, Linner, Pan, Cheng, & Bock, 2018).

En este sentido, la automatización y la robótica de la construcción (CAR) se consideran, una solución factible para mejorar profundamente el rendimiento de sostenibilidad de múltiples maneras, como la reducción de residuos de la construcción, el ahorro de recursos naturales, las mejoras de seguridad en el lugar de trabajo y un entorno de vida de alta calidad (Pan et al., 2018).

En cuanto a la sostenibilidad de las (CAR) en comparación con la construcción basada en mano de obra, presenta tres categorías principales: 1) automatización en prefabricados, 2) robots de construcción de una sola tarea, y 3) fábricas automatizadas/robóticas en el sitio. Estas tecnologías innovadoras de construcción permiten la producción en masa, la mecanización, la automatización y la robotización, como también el control del flujo continuo de energía, recursos, información y mano de obra durante todo el ciclo de vida. (Pan et al., 2018).

La industria 4.0 en el sector de la construcción puede aumentar la relación de seguridad y reducir el consumo de energía en comparación a la tecnología existente sin comprometer el nivel de confort. (Sakin & Kiroglu, 2017).

Modelado de Información de Construcción BIM

El BIM es visto como un modelo consolidado, que se utiliza para almacenar y comunicar relaciones geométricas y espaciales, información geográfica, cantidades y propiedades de varios componentes de construcción, estimaciones de costos, inventarios de materiales y cronogramas de proyectos. El uso de BIM tiene el potencial de revolucionar la forma en que el impacto

ambiental y los modelos de energía se integran dentro de los sistemas de construcción. (Eleftheriadis, Mumovic, & Greening, 2017).

El BIM puede mejorar la sostenibilidad en dos áreas principales, primero, proporciona un mejor diseño de instalaciones para el mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad, además permite revisar el diseño y dar retroalimentación a través de la visualización de un modelo de información de construcción tridimensional (3D) antes de construir la instalación.

En segundo lugar, el BIM transforma la práctica convencional, que a menudo está muy fragmentada, en un esfuerzo colaborativo, que fortalece la relación de trabajo entre los participantes del proyecto. (Chong, Lee, & Wang, 2017).

El BIM no sólo aporta beneficios técnicos al proceso de desarrollo, sino que también ofrece una plataforma de trabajo innovadora e integrada para mejorar la productividad y la sostenibilidad durante todo el ciclo de vida del proyecto (Chong et al., 2017).

Impresión 3D

La impresión 3D es un proceso mediante el cual se crean objetos físicos mediante el depósito de materiales en capas basadas en un modelo digital. Todos los procesos de impresión 3D requieren software, hardware y materiales para trabajar juntos (Sakin & Kiroglu, 2017).

La tecnología de impresión 3D es aún joven y presenta muchas limitaciones, pero hay grandes expectativas y esperanzas para el futuro de edificios impresos y componentes de construcción en 3D, en los cuales los materiales tradicionales de concreto serán reemplazados por otros amigables con el ambiente que puedan garantizar las propiedades para proporcionar transparencia, aislamiento térmico, o resistencia. (Hager, Golonka, & Putanowicz, 2016).

Construcción Lean

Entre los temas dominantes en investigación sobresale la sostenibilidad de la cadena de suministro, con énfasis en la cadena de suministro verde, su rendimiento e innovación, seguido de las prácticas de gestión Lean y sus asociaciones con las categorizaciones de desempeño, sostenibilidad y desempeño económico, ambiental y social. (Prashar & Sunder M, 2019).

La construcción Lean es una filosofía basada en los conceptos de Lean manufacturing, que se centra en la inclusión de métodos y prácticas de mejora continua y respeto por las personas, simultáneamente busca la reducción de los residuos, el tiempo y el esfuerzo durante las actividades de construcción,

para aumentar la productividad, la calidad, reducir costos y generar el máximo valor en el proceso (Carvajal-Arango, Bahamón-Jaramillo, Aristizábal-Monsalve, Vásquez-Hernández, & Botero, 2019), cuando al mismo tiempo se optimiza el uso de los recursos y se busca la sostenibilidad ambiental, surge la tendencia denominada Lean Green (Siegel, Antony, Garza-Reyes, Cherrafi, & Lameijer, 2019).

Construcción de Energía casi Cero

Los edificios actuales se caracterizan por un uso excesivo de electricidad, ya sea en aire acondicionado, iluminación, equipos u otros dispositivos, lo que resulta en un alto grado de consumo. Reducir el uso de energía en los edificios es uno de los principales objetivos de la sostenibilidad (Petit-Boix et al., 2017).

La estrategia más evaluada en el uso eficiente de energía, agua y otros recursos es el concepto de construcción de energía casi cero (NZEB), que utiliza metodologías de evaluación de energía del ciclo de vida (LCEA), para cuantificar el consumo de energía en los edificios durante la fase de operación y el impacto ambiental relacionado. Esta cuantificación del ciclo de vida se aborda utilizando diversos enfoques, por ejemplo, evaluando las condiciones óptimas de aislamiento, la gestión de los sistemas de calefacción y refrigeración o la influencia del comportamiento humano. (Blom, Itard, & Meijer, 2011).

La investigación de NZEB surgió más rápidamente en países desarrollados, en los que la tecnología clave, incluida la Medida de Energía Eficiente (MEE) y la Tecnología de Energía Renovable (RET), se habían estudiado principalmente. La MEE incluye sistemas eficientes de aislamiento térmico, sistemas de ventanas de alto rendimiento, sistemas de recuperación de calor de aire fresco, que pueden aliviar el consumo de energía y minimizar su demanda en el edificio. (Liu et al., 2019).

En general, la mayoría de las estrategias apuntan a una mayor eficiencia del proceso, la implementación de materiales o diseños más ecológicos y la integración de nuevas tecnologías en el conjunto existente de alternativas. (Petit-Boix et al., 2017).

Nuevos materiales

Una solución prometedora para la construcción futura de edificios, teniendo en cuenta los recursos materiales limitados, es reutilizar o reciclar materiales que ya se han fabricado. Esto se basa en un cambio de mentalidad hacia la reutilización/ reciclaje de materiales en lugar de desecharlos. (Sieffert, Huygen, & Daudon, 2014).

Los principales materiales y productos para la construcción reciclados

incluyen entre otros: adoquines, bloques de pavimento, sub base granular, bloque estructural de concreto, prefabricado de urbanismo, mezcla para concreto, arenas para concreto, agregados mixtos, arena para mortero, estucos y eco-cementos (Board, 2017).

Costo-Beneficio

Para la implementación de estas tendencias se requieren pruebas más completas y sólidas sobre los costos del ciclo de vida y los beneficios de los edificios verdes o sostenibles. Específicamente, debe haber cálculos más elaborados de los costos iniciales incrementales, como los de ahorro de costos operativos, la mejora de la comodidad y la salud, la mejora de la reputación corporativa, el aumento del valor de mercado y externalidades ambientales. (L. Zhang et al., 2018) para poder mostrar los beneficios frente a la construcción tradicional.

Construcción Sostenible en Colombia

En el contexto nacional el Ministerio de Trabajo (2015) realizó un estudio de prospectiva del sector de la construcción donde estableció cinco ejes centrales de desarrollo del sector:

1. La implementación de tecnologías verdes y sostenibles como parte de los modelos de construcción verde y sostenible.
2. La transformación de materiales e instalaciones que repercutirán en la utilización de nuevos elementos en la construcción.
3. Las edificaciones inteligentes.
4. La intervención y rehabilitación de edificios construidos.
5. La gestión y disposición final de los residuos de la construcción.

En el estudio se documenta la forma como las constructoras incrementarán la productividad y competitividad a través de:

1. Los protocolos de seguridad industrial, tanto en la obra como para el talento humano.
2. El diseño de la construcción como parte esencial de la estrategia de comercialización y ofrecimiento de servicios de diseño.
3. La oferta de un paquete de construcción a los usuarios y la flexibilidad frente a cambiantes patrones demográficos y de uso para incorporar las tendencias y preferencias de los compradores.

La adopción de tecnologías verdes generará nuevos perfiles y competencias, las actividades que involucren operaciones manuales quedarán obsoletas y tener conocimientos y habilidades relacionadas al manejo de las TIC y la normatividad técnica, ambiental y legal serán de gran importancia para el futuro del sector.

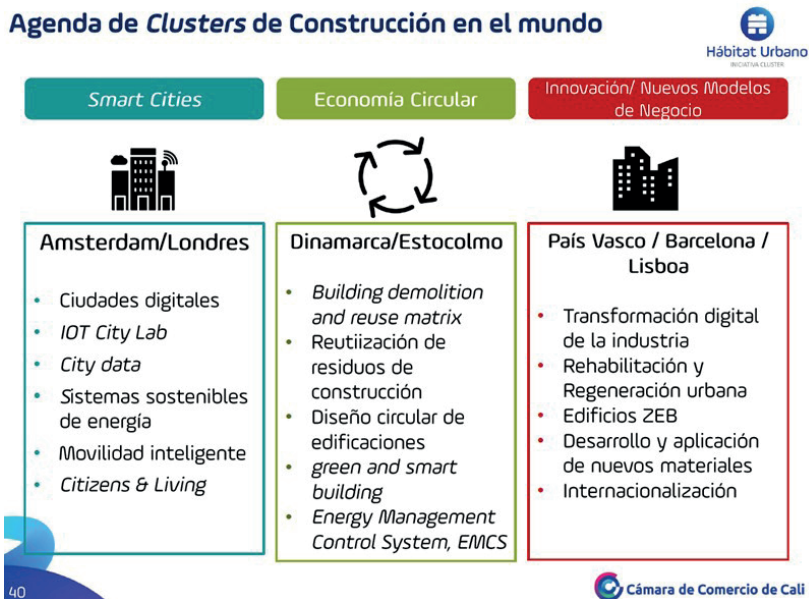
Algunos de los nuevos profesionales que se espera, sean requeridos en el futuro, serán ingenieros especializados en domótica, instaladores de infraestructura vegetada, evaluadores de estado y patología, supervisores de desempeño, carpinteros estructurales, instaladores de senderos filtrantes, instaladores de impermeabilización, e instaladores de sistemas inteligentes entre otros. (Ministerio de Trabajo 2015).

En el contexto regional grupos de trabajo como “Hábitat urbano” de la Cámara de Comercio de Cali, realizan un análisis que permite determinar cómo se encuentra el sector, identificando aspectos relevantes como materiales, diseños y servicios, actividades inmobiliarias, donde se visualizan posibles oportunidades de mejora. (Cámara de Comercio de Cali 2018).

Según el informe de tendencia del sector de la Cámara de Comercio de Cali, en algunos países europeos la industria de la construcción se dirige hacia sistemas más inteligentes desde el punto de vista tecnológico, por lo que se hace referencia a aspectos como crear smart cities, trabajar con conceptos como los de economía circular e innovación para establecer nuevos modelos de negocio.

Estos aspectos son claves para mejorar la eficiencia, los procesos de trámites de financiación y las buenas prácticas de diseño y construcción que permitan entre otras cosas la estandarización de procesos, materiales y sistemas de gestión de calidad.

Figura 5. Agenda del Clúster de la construcción en el mundo



Fuente: Cámara de Comercio de Cali, 2018

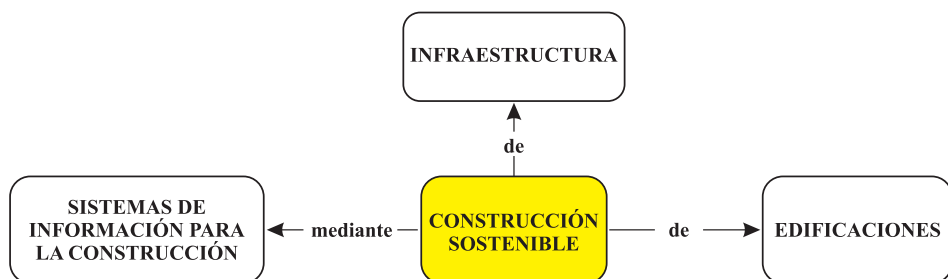
Las macro tendencias de la industria de la construcción están dirigidas a acentuarse en:

- a) Tecnologías digitales,
- b) Nuevos software para la administración y gestión de obra,
- c) Economía circular,
- d) Uso de drones para la construcción,
- e) Fabricación y/o utilización de nuevos materiales,
- f) Estructuras modulares y prefabricadas,
- g) Uso impresión 3D para construcción,
- h) Proyectos verdes.

Mapa Tecnológico

Un mapa de trayectoria tecnológica es una herramienta que sintetiza de forma gráfica aquellas tecnologías o sub tecnologías sobre las que más se está investigando. Permite orientar decisiones respecto del esfuerzo a realizar en tecnologías, en un determinado período de tiempo. Con base a los desarrollos realizados con el proyecto Vivienda Regional Integral Social Sostenible y Amigable, VRISSA durante más de 10 años y la vigilancia científica desarrollada, se propone el siguiente mapa tecnológico del Centro de la Construcción, con base al direccionamiento o línea medular construcción sostenible, que a su vez se divide en tres líneas tecnológicas a saber, los sistemas de información para la Construcción, la infraestructura y las edificaciones.

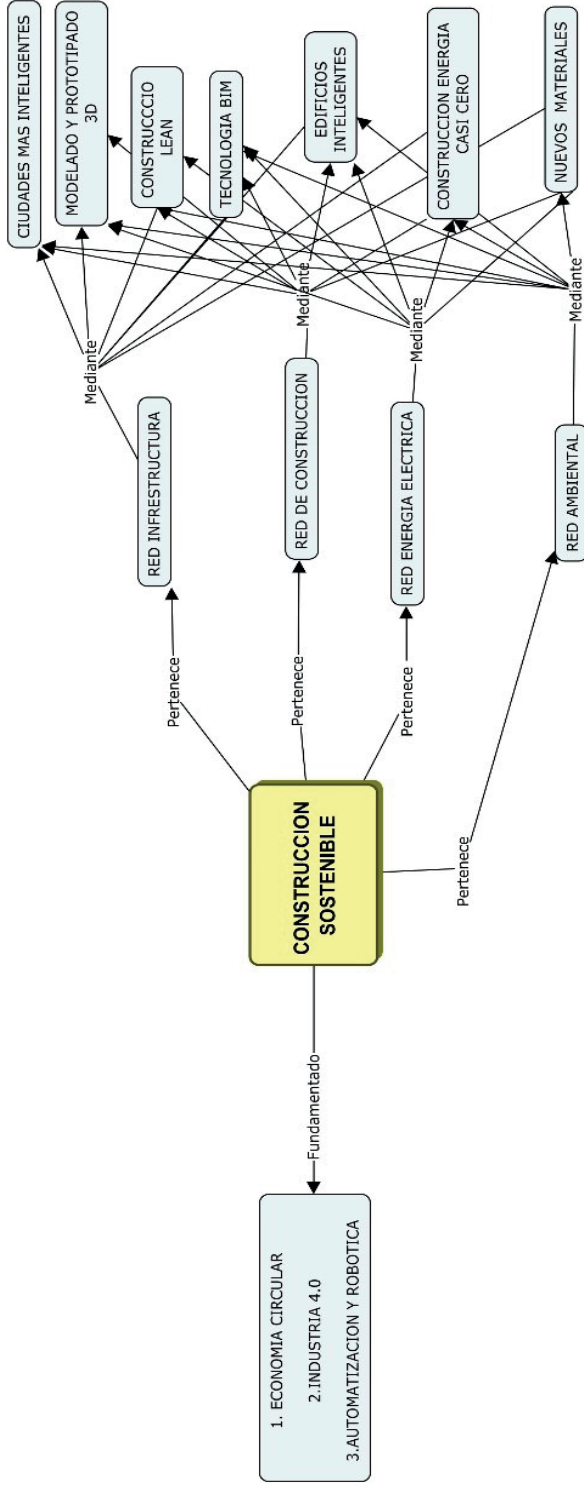
Figura 6. Líneas tecnológicas Centro de la Construcción Regional Valle.



Fuente: Producción Grupo de investigación - TPIC 2019

A partir de las Líneas tecnológicas se establecieron las tecnologías emergentes y si interrelación con ellas.

Figura 7. Mapa propuesto de interrelación de redes y tecnologías.



Investigación

La innovación en la industria de la construcción camina a paso muy lento por las características multifacéticas involucradas en los productos y su complejidad, a lo largo del ciclo de vida, la diversidad de dimensiones y los materiales y la naturaleza de la construcción en un sitio fijo, los presupuestos bajos en I+D y la renuencia de la industria a adoptar nuevas estrategias y tecnologías. (Bock, 2015).

La actividad de investigación ha comenzado a desarrollar nuevas aplicaciones BIM que abordan una gama de cuestiones relacionadas con la sostenibilidad, la evaluación de los impactos ambientales, la gestión de residuos, la orientación del diseño ambiental y el gobierno como la estrategia para la reducción de carbono tanto en el stock actual como en el futuro. Sin embargo, se requieren más estudios sobre la integración de BIM con estrategias de construcción sostenible y verde para maximizar el medio ambiente y los beneficios energéticos durante las distintas etapas del ciclo de vida. (Eleftheriadis et al., 2017).

Las investigaciones futuras serán en los siguientes campos: (1) el uso de sistemas mecatrónicos (por ejemplo, drones) integrados con tecnologías de fotogrametría y escaneo láser para contribuir a la preservación del patrimonio cultural, (2) el desarrollo de bibliotecas BIM ricas en semántica, (3) el uso de grandes métodos de datos para tratar y extraer conocimientos a partir de la información histórica, que combinados con el uso de sensores, pueden demostrar de manera significativa el seguimiento en tiempo real del rendimiento de los edificios; (4) la integración potencial de BIM-GIS con grandes métodos de datos para la investigación sobre ciudades inteligentes y sostenibles, y (5) el fomento de la reutilización de materiales. (Santos et al., 2019).

Al revisar los estudios existentes sobre la viabilidad económica de los edificios ecológicos, desde la perspectiva del ciclo de vida del edificio y los participantes particulares del mercado, se identifica que, si bien “ser ecológicos” puede ser financieramente factible o incluso rentable durante toda la vida útil, una serie de factores impiden a los desarrolladores lograr la viabilidad económica en la adopción de edificios verdes. Las principales razones son la sobreestimación de costos iniciales, el desajuste costo-beneficio causado por la asimetría de la información, incentivos divididos causados por la estructura del contrato y los precios de la energía, y finalmente la falta de atención a los costos de la energía. Se necesita investigación futura para abordar las barreras actuales y así acelerar la difusión del diseño verde y la tecnología en el sector de la construcción. (L. Zhang et al., 2018).

CONCLUSIONES

Existe diversidad de tendencias o denominaciones de la construcción sostenible, ecológica o verde, pero todas mantienen la premisa del uso eficiente de los recursos amigables con el ambiente, que además sean saludables y confortables para sus usuarios.

El talento humano del sector construcción, presentará grandes transformaciones en los próximos años, por lo que es fundamental que instituciones como el SENA se anticipen en la creación, apertura o transformación de los programas de formación actuales, de forma que respondan a los nuevos retos que se presentan.

El sector de la construcción va a experimentar cambios fundamentales en los próximos años, producto de la automatización de procesos y de la integración de diversas herramientas tecnológicas para mejorar su productividad y sostenibilidad.

Es fundamental desde ahora repensar las estrategias de formación en el Centro de la Construcción, en función de estas nuevas tecnologías, para lograr que los programas de formación las incorporen dentro del proceso formativo e investigativo y de esta manera mantener la pertinencia y calidad.

La innovación y la investigación avanzan lentamente en el sector de la construcción, sin embargo, son irreversibles y fundamentales si se pretende tener un centro de formación, competitivo, oportuno y de calidad.

Se deben realizar estudios de costos que permitan evidenciar que las soluciones producto de las construcciones sostenibles sean viables económicamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, C. P., Ramos, A. F., & Silva, J. M. (2018). Sustainability assessment of building rehabilitation actions in old urban centres. *Sustainable Cities and Society*, 36(May 2017), 378-385. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.10.014>
- Asif, M. (2016). Growth and sustainability trends in the buildings sector in the GCC region with particular reference to the KSA and UAE. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 1267-1273. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.042>
- Berardi, U. (2013). Clarifying the new interpretations of the concept of sustainable building. *Sustainable Cities and Society*, 8(2013), 72-78. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.01.008>
- Bibri, S. E., & Krogstie, J. (2017). Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review. *Sustainable Cities and Society*, 31, 183-212. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.016>
- Blom, I., Itard, L., & Meijer, A. (2011). Environmental impact of building-related and user-related energy consumption in dwellings. *Building and Environment*, 46(8), 1657-1669. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.02.002>
- Board, C. (central pollution control. (2017). Tool Kit on Construction & Demolition Waste Management Rules-
- Bock, T. (2015). The future of construction automation: Technological disruption and the upcoming ubiquity of robotics. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.022>
- Carvajal-Arango, D., Bahamón-Jaramillo, S., Aristizábal-Monsalve, P., Vásquez-Hernández, A., & Botero, L. F. B. (2019, octubre 10). Relationships between lean and sustainable construction: Positive impacts of lean practices over sustainability during construction phase. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 234, pp. 1322-1337. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.216>
- Chong, H.-Y., Lee, C.-Y., & Wang, X. (2017). A mixed review of the adoption of Building Information Modelling (BIM) for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 142, 4114-4126. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.222>
- Departamento Nacional de Planeación. (2018). Estudio en la intensidad de utilización de materiales y economía circular en Colombia. Recuperado de <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Circular/MATECProducto3.pdf>
- Eleftheriadis, S., Mumovic, D., & Greening, P. (2017). Life cycle energy efficiency in building structures: A review of current developments and future outlooks based on BIM capabilities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 811-825. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.028>

- Ferrer, A. L. C., Thomé, A. M. T., & Scavarda, A. J. (2018). Sustainable urban infrastructure: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 360-372. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.07.017>
- Georgoulas, C., Linner, T., & Bock, T. (2014). Towards a vision controlled robotic home environment. *Automation in Construction*, 39, 106-116. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.06.010>
- Hager, I., Golonka, A., & Putanowicz, R. (2016). 3D Printing of Buildings and Building Components as the Future of Sustainable Construction? *Procedia Engineering*, 151, 292-299. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.357>
- Jensen, K. G., & Sommer, J. (2018). Building A Circular Future. 284. Recuperado de https://gxn.3xn.com/wp-content/uploads/sites/4/2018/09/Building-a-Circular-Future_3rd-Edition_Compressed_V2-1.pdf
- Kibwami, N., & Tutesigensi, A. (2016). Enhancing sustainable construction in the building sector in Uganda. *Habitat International*, 57, 64-73. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.06.011>
- Kylili, A., & Fokaides, P. A. (2017). Policy trends for the sustainability assessment of construction materials: A review. *Sustainable Cities and Society*, Vol. 35, pp. 280-288. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.08.013>
- Liu, Z., Liu, Y., He, B.-J., Xu, W., Jin, G., & Zhang, X. (2019). Application and suitability analysis of the key technologies in nearly zero energy buildings in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 329-345. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.023>
- Pan, M., Linner, T., Pan, W., Cheng, H., & Bock, T. (2018). A framework of indicators for assessing construction automation and robotics in the sustainability context. *Journal of Cleaner Production*, 182, 82-95. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.053>
- Petit-Boix, A., Llorach-Massana, P., Sanjuan-Delmás, D., Sierra-Pérez, J., Vinyes, E., Gabarrell, X., ... Sanyé-Mengual, E. (2017). Application of life cycle thinking towards sustainable cities: A review. *Journal of Cleaner Production*, 166, 939-951. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.030>
- Prashar, A., & Sunder M, V. (2019). A bibliometric and content analysis of sustainable development in small and medium-sized enterprises. *Journal of Cleaner Production*, 118665. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118665>
- Sakin, M., & Kiroglu, Y. C. (2017). 3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM. *Energy Procedia*, 134, 702-711. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.562>
- Sandra, F. R. (2019). Balance Perspectivas Edificadoras para el 2019. Cali.

- Santos, R., Costa, A. A., Silvestre, J. D., & Pyl, L. (2019). Informetric analysis and review of literature on the role of BIM in sustainable construction. *Automation in Construction*, 103(March), 221-234. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.022>
- Sieffert, Y., Huygen, J. M., & Daudon, D. (2014). Sustainable construction with repurposed materials in the context of a civil engineering-architecture collaboration. *Journal of Cleaner Production*, 67, 125-138. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.018>
- Siegel, R., Antony, J., Garza-Reyes, J. A., Cherrafi, A., & Lameijer, B. (2019). Integrated green lean approach and sustainability for SMEs: From literature review to a conceptual framework. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118205. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118205>
- Verma, A., Prakash, S., Srivastava, V., Kumar, A., & Mukhopadhyay, S. C. (2019). Sensing, Controlling, and IoT Infrastructure in Smart Building: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 19(20), 9036-9046. <https://doi.org/10.1109/jsen.2019.2922409>
- Zhang, L., Wu, J., & Liu, H. (2018). Turning green into gold: A review on the economics of green buildings. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2234-2245. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.188>
- Zhang, Y., Wang, J., Hu, F., & Wang, Y. (2017). Comparison of evaluation standards for green building in China, Britain, United States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 262-271. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.139>

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

CENTRO DE LA CONSTRUCCIÓN SENA REGIONAL VALLE

Calle 34 No 17B-23

Teléfonos: 57 (2) 4315800 IP 23512 – 23501

Email: vallconstruc@sena.edu.co

E-mail: semilleros.investigacion.2016@gmail.com

SENA comunica



SENA



www.sena.edu.co
Cali-Colombia

