

Transformación de biomateriales en usos eficientes,
sustentables y sostenibles de la construcción
en la ciudad de Girardot - Cundinamarca

*Transformation of Biomaterials in Efficient and Sustainable
uses of Construction in the City of Girardot - Cundinamarca*

JHON JAIRO REINEL MORENO
Programa ingeniería civil
Corporación Universitaria Minuto
de Dios centro regional Girardot
jhonjairoreinel@gmail.com

**DIEGO MAURICIO
HERNÁNDEZ BOLÍVAR**
Programa ingeniería civil
Corporación Universitaria Minuto
de Dios centro regional Girardot
DMHB1986@hotmail.com

**MANUEL RICARDO
BALLESTEROS SANTAFÉ**
Programa ingeniería civil
Corporación Universitaria Minuto
de Dios centro regional Girardot
manuelricardo74@gmail.com

Fecha de recepción: 02-11-2018
Fecha de evaluación: 09-11-2018
Fecha de aceptación: 13-11-2018





Transformación de biomateriales en usos eficientes, sustentables y sostenibles de la construcción en la ciudad de Girardot - Cundinamarca

Resumen

En la búsqueda de soluciones multi-efectivas, es decir, que sirvan para atacar dos o más problemáticas, se pueden generar propuestas donde la mampostería sea fabricada con un porcentaje de mezcla de otros materiales tales como “cascarilla de arroz, plástico pet, cartón y papel entre otros”; los diseños de los muros y divisiones internas deben contribuir a la climatización del ambiente al permitir movimiento de las corrientes de aire, que cuente con sistemas de captación de aguas lluvias y reutilización interna, muros y techos verdes, como complemento se tendrán en cuenta para cada tipo de propuestas de esta magnitud las características estratigráficas y litológicas de las zonas donde se podría desarrollar el proyecto, en cumplimiento de la reglamentación y los parámetros establecidos previamente en la construcción de este tipo de obras.

Palabras clave: transformación, biomateriales, construcción, materiales, infraestructura.

Abstract

In the search for multi-effective solutions, that is to say, that serve to attack two or more problems, proposals can be generated where the masonry is manufactured with a percentage of a mix of other materials such as “rice husk, pet plastic, cardboard and paper among others”; the designs of the walls and internal divisions should contribute to the air conditioning of the environment by allowing movement of air currents, that has rainwater catchment systems and internal reuse, walls and green roofs, as a complement the stratigraphic and lithological characteristics of the areas where the project could be developed will be taken into account for each type of proposal of this magnitude, in compliance with the regulations and parameters previously established in the construction of this type of works.

Keywords: Transformation, Biomaterials, Construction, Materials and Infrastructure.

Introducción

El municipio de Girardot comparte la misma problemática en el manejo de los residuos sólidos de Ricaurte y Flandes, ya que se han desarrollado de manera paralela en sus proyectos y por la cercanía en su territorio han compartido diferentes temas de ordenamiento territorial; al punto de que conforman una conurbación, con aproximadamente 165.981 habitantes, de los cuales el 92% residen en la zona urbana y de ese total solo 133.637 son de Girardot en un área de (129 km²).

El desarrollo urbano superó los límites municipales, es por ello que los otros dos municipios en ocasiones se cuentan como extensión urbana de Girardot para diferente tipo de proyectos; la sumatoria de los tres tiene un área de 354 km², el 15,5% de la región y una población equivalente al 49% sin contar el flujo de población flotante que se estima en 65.000 personas en fines de semana corrientes, 140.000 en puentes festivos y hasta 300.000 en temporada vacacional, dispersos en algunos municipios con potencial turístico pero con mayor concentración en Girardot tal y como se encuentra contemplado en Plan de competitividad de Girardot 2007-2019 (Girardot, 2007).

Todas las anteriores cifras de población promedian diariamente 120 toneladas de residuos sólidos, según lo manifiesta la empresa de servicios públicos del municipio, un volumen muy alto en esta zona y en aumento, ya que el crecimiento urbanístico del mismo sector que ha llevado a la demanda desahogada de recursos naturales para satisfacer la construcción de viviendas y garantizar los servicios públicos con el cubrimiento en saneamiento básico; esto se puede ver claramente en los reportes de plan de competitividad de Girardot que manifiesta que solo en la zona urbana de Girardot hay reportados 55 condominios, Peñalisa y Ricaurte 460 casas, el Peñón 900 casas, cada uno de estos en aumento y sumado al aproximado de 500 condominios y conjuntos residenciales, la mayor parte de ellos

destinados a segunda vivienda de población de diferente extracción socioeconómica.

Demasiada población, proyección de aumento, población flotante y la problemática sigue y no se ven alternativas o propuestas ligadas a las necesidades de esta zona y las condiciones ambientales, económicas y sociales que se requieren; por esta razón se busca el uso y aplicación de biomateriales “papel, cartón, madera, botellas pet, cascarilla de arroz, etc.” para realizar procesos constructivos y generar una mezcla con los agregados tradicionales que disminuyan la carga contaminante que va a los rellenos sanitarios, que la utilización de estos materiales alternativos cumpla con los requerimientos técnicos normativos, que disminuya el valor en costos al momento de la compra y que sea una alternativa social para las comunidades de Girardot y municipios aledaños.

En el entendido de la problemática de la zona, el programa de ingeniería civil de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, Girardot, ha venido desarrollando diferentes pruebas con el uso, complemento y aplicación de biomateriales tales como la cascarilla de arroz mezclados con agregados de la zona para hacer adoquines que cumplan con toda la normatividad legal vigente y que pueda generar algún tipo de proceso dentro de la industria colombiana.

Por lo anterior es de evidente importancia que los ingenieros elaboremos alternativas de fabricación diferentes y procesos de construcción distintos a los tradicionales que apunten a la utilización de biomateriales diferentes a los convencionales que reduzcan la carga contaminante al medio ambiente y también la disminución en el uso de los recursos naturales renovables y no renovables. Lo que se busca es que muchos de los elementos utilizados en la construcción actual, como los elementos de mampostería de bloques y ladrillos al igual que algunos prefabricados como adoquines, sardineles, bolardos, dinteles y muros divisorios se reemplacen los materiales de cantera tradicionales como

arena, grava y gravilla; por elementos extraídos de los residuos corrientes que generan las grandes industrias y los habitantes de grandes ciudades.

Materiales y métodos

El enfoque metodológico que se ha establecido es el praxeológico, que se fundamenta en la práctica como validación de la teoría, como método de enseñanza-aprendizaje y como fuente de conocimientos, siguiendo de esta forma las directrices de investigación de la Corporación Universitaria Minuto de Dios. En este sentido se pueden definir cinco fases usadas en el proyecto y que son el diagnóstico, planeación, ejecución evaluación y seguimiento con sus respectivos equivalentes en los procesos praxeológicos.

Fase de diagnóstico

Fase praxeológica del VER: en esta fase fundamentalmente se ha realizado el proceso de exploración y análisis con el fin de responder qué sucede en nuestro entorno y dar una solución a la problemática planteada sobre el aumento progresivo de CO₂ producido por la elaboración de cemento y el agotamiento de canteras, minas y degradación de los ríos. Con la utilización de los biomateriales tales como la cascarilla de arroz, se generarán procesos de mezcla para la fabricación de ladrillos y adoquines en un porcentaje ecológico y con la reutilización de residuos generados por los procesos industriales.

Fase de planeación

Fase praxeológica del JUZGAR: en esta fase el enfoque es encontrar un método práctico para dar solución a la problemática ambiental generada por la extracción de materiales de cantera, tomando como base toda la información primaria recolectada y aplicar teorías que ya han sido propuestas; por lo tanto, la teoría encontrada como alternativa es suplir un porcentaje

en el contenido del cemento al momento de fabricar adoquines, mediante una serie de análisis y pruebas de laboratorio, se pretende comparar y determinar si los adoquines con mezcla de cascarilla de arroz cumplen con los requerimientos técnicos establecidos en las pruebas, para que sean empleados en procesos de infraestructura.

La importancia del desarrollo de este proyecto se basa en la construcción de ideas desde los semilleros de investigación, los estudiantes con el apoyo del docente encargado, desarrollan la metodología investigativa al servicio de sus ideas, es por ello que les permite plasmar alternativas de investigación aplicadas a la ingeniería; consecución de ello, en este proyecto se materializó toda la información al punto de generar un prototipo de ladrillo y adoquín ecológico, que mediante unas pruebas de laboratorio como el módulo de rotura (ensayo a flexión), ensayo a compresión, ensayo a compresión y ensayo de absorción, se puede determinar el cumplimiento normativo y técnico que se requiere en Colombia para este tipo de prototipos.

Fase de ejecución

Fase praxeológica del ACTUAR: esta fase se fundamenta en la práctica y aplicación experimental para la elaboración de los adoquines y corroborar que las teorías establecidas en la fase anterior, donde se determina los aspectos técnicos en rotura-flexión, compresión y absorción de ladrillos y adoquines tradicionales frente a los prototipos desarrollados con biomateriales, el único fin, es generar comparaciones entre modelos y propuestas de los biomateriales utilizados tales como la cascarilla convertida en ceniza y la cascarilla normal como residuo, la comparación entre el biomaterial y los resultados establecidos de laboratorio son comparados con las técnicas tradicionales para verificar las Normas técnicas colombianas, ambientales y costo del prototipo, con ello se verifica calidad, aporte ambiental y valor de la inversión y viabilidad financiera de la propuesta.

Fase de evaluación

Fase praxeológica del ACTUAR: esta es la fase que recopila lo realizado en las tres fases anteriores ya que en esta se debe reflexionar acerca de lo que se aprendió durante el proceso de toda la ejecución del proyecto, para luego ver la viabilidad técnica y económica en un futuro.

Fase de seguimiento

Fase praxeológica de la DEVOLUCIÓN CREATIVA: en esta última fase el propósito es analizar y hacer una programación acerca del seguimiento que se le pueda hacer al proyecto y ubicar otras variantes que se puedan aplicar para reemplazar la arena o la grava por otros materiales igualmente reciclables. Aquí se aplicarán en una construcción real los adoquines y ladrillos obtenidos del proceso para verificar el comportamiento y cumplimiento de normas.

Se realizarán encuestas de sondeo sobre la aceptación de estos elementos pre-fabricados, como sustitutos de los ladrillos y adoquines tradicionales, dentro de la comunidad de constructores, tanto empíricos como profesionales y su real aplicabilidad a los procesos constructivos de la región.

Resultados y discusión

Inicialmente se realizaron los ensayos correspondientes a tres muestras de ladrillos comerciales en arcilla (ensayo a flexión, ensayo a compresión y ensayo de absorción) de acuerdo con lo exigido en la Norma Técnica Colombiana NTC 4017 método para muestreos y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.

Cálculo del Módulo de Rotura (ensayo a flexión)

De acuerdo con la norma, se calcula el módulo de rotura, tomando los siguientes datos del ensayo:

- W es la Carga Máxima soportada por el prototipo antes de romperse expresada en Newtons.
- L es la distancia entre soportes medida en milímetros.
- X es la distancia del plano de falla al centro de la muestra, en milímetros.
- b es el ancho de la muestra en milímetros.
- d es la altura del prototipo.



Foto 1: Ensayo de flexión en laboratorio.
Fuente: elaboración propia.

A continuación, se realiza el cálculo del módulo de rotura, aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Módulo de Rotura} = 3W (L/2 - X) / bd^2$$

Se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\text{MD Muestra 1} = 3 (11570\text{N}) (195\text{mm}/2 - 38\text{mm}) / (103\text{mm}) (61\text{mm})^2 = 5,20\text{Mpa}$$

$$\text{MD Muestra 2} = 3 (2590\text{N}) (245\text{mm}/2 - 60\text{mm}) / (119\text{mm}) (54\text{mm})^2 = 1,39\text{Mpa}$$

$$\text{MD Muestra 3} = 3 (18810\text{N}) (234\text{mm}/2 - 50\text{mm}) / (105\text{mm}) (67\text{mm})^2 = 8,02\text{Mpa}$$

Cálculo de la Resistencia a la Compresión (ensayo a compresión)

Los prototipos son sometidos a la prueba de compresión, la cual consiste en aplicar una carga progresiva y perpendicular sobre la cara de trabajo del elemento hasta su falla. Para tal efecto, se toman los siguientes datos:

- W es la carga máxima aplicada en Newton (N).
- A es el área de trabajo del elemento (cara que recibirá la carga).

Se realiza el cálculo de la resistencia a la compresión:

Resistencia a la Compresión $C = W / A$

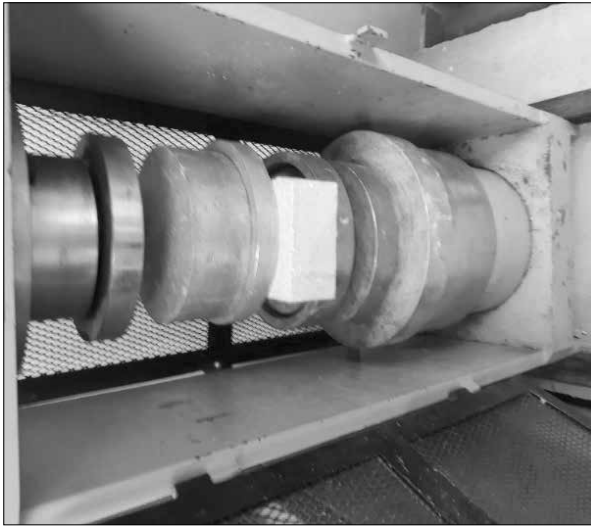


Foto 2: Ensayo de compresión en laboratorio.
Fuente: elaboración propia.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Muestra 1= $50580N / 210,429 \text{ Cm}^2 = 240,366 \text{ N/Cm}^2$

Muestra 2= $28250N / 298,69 \text{ Cm}^2 = 94,579 \text{ N/Cm}^2$

Muestra 3= $32630N / 253,05 \text{ Cm}^2 = 128,94 \text{ N/Cm}^2$

Ensayo de absorción

Este ensayo consiste en la inmersión de los elementos a estudiar en agua corriente durante 24 horas y se encuentra el porcentaje de absorción de agua en cada uno de los elementos. Para lo anterior se toman los datos de:

- Ws Masa antes de la inmersión (Elemento totalmente seco).
- Wb Masa después de la inmersión (Elemento sin sobrantes exteriores de agua).



Foto 3: Ensayo de absorción en laboratorio.
Fuente: elaboración propia.

Realizamos el cálculo del porcentaje de absorción:

Cálculos

$$\text{Absorción \%} = 100 \times (Wb - Ws) / Ws$$

$$\text{Absorción Muestra 1 \%} = 100 \times \frac{(2636Kg - 2400Kg)}{2400Kg} = 9,83\%$$

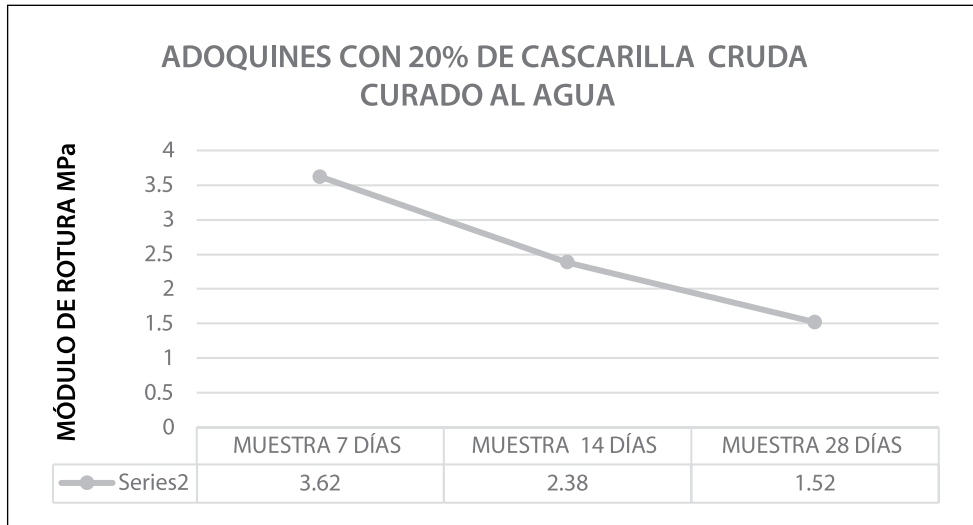
$$\text{Absorción Muestra 2 \%} = 100 \times \frac{(3174Kg - 2938Kg)}{2938Kg} = 8,03\%$$

$$\text{Absorción Muestra 3 \%} = 100 \times \frac{(3532Kg - 3030Kg)}{3030Kg} = 16,56\%$$

Con los resultados obtenidos de estas tres pruebas se crea la línea base de la investigación, sobre la cual se empezarán a evaluar los resultados obtenidos de los diferentes prototipos de adoquín con porcentajes diferentes de mezcla de cascarilla de arroz. Tal y como ya lo hemos manifestado, inicialmente se fabricarán adoquines con la mezcla de cascarilla de arroz totalmente cruda y luego se fabricarán prototipos de adoquín con la mezcla de cascarilla quemada y convertida en ceniza.

Es importante tener en cuenta que los resultados de nuestra investigación pueden indicarnos que los efectos de la cascarilla de arroz son contraproducentes para las propiedades básicas de un elemento de mampostería como el adoquín. Esto no invalida la investigación, sino que nos servirá como conclusiones importantes para entender el comportamiento de este material de reciclaje.

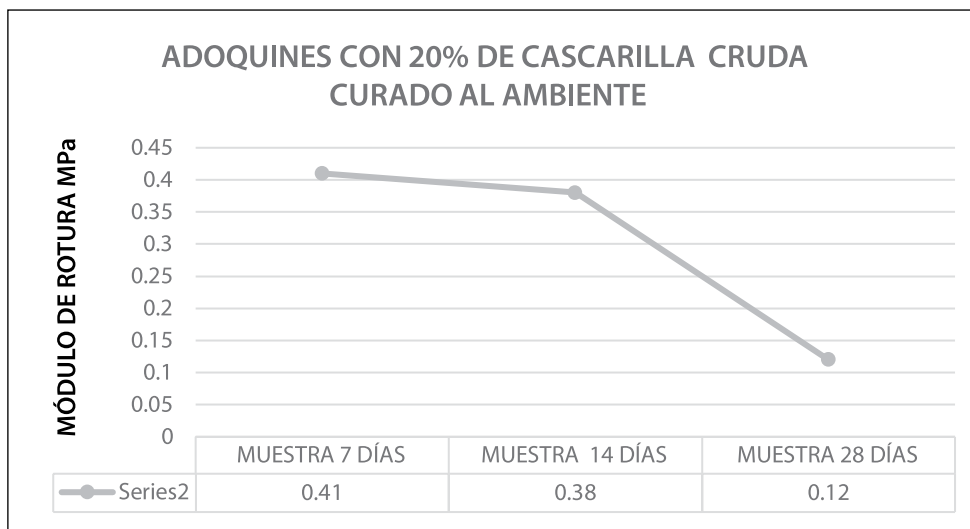
Ahora bien, los resultados obtenidos hasta este momento son los correspondientes a los adoquines con el agregado de la cascarilla cruda. El siguiente gráfico nos muestra los resultados obtenidos para el Modulo de Rotura de los prototipos de adoquín, mezclados con un 20% de cascarilla de arroz cruda.



Gráfica 1: Progresión del Módulo de Rotura en adoquines de mortero mezclados con 20% de cascarilla de arroz cruda en diferentes días de fraguado. Curado en agua. **Fuente:** elaboración propia.

Se observa un descenso en el valor del módulo de rotura a medida que se avanza en el fraguado de los adoquines, proceso que se efectuó con los prototipos sumergidos en agua.

En el siguiente gráfico se observan los resultados correspondientes a los ensayos con la misma periodicidad en el tiempo, con el mismo porcentaje de cascarilla de arroz, pero con un curado diferente, esta vez al ambiente.



Gráfica 2: Progresión del Módulo de Rotura en adoquines de mortero mezclados con 20% de cascarilla de arroz cruda en diferentes días de fraguado. Curado al ambiente. **Fuente:** elaboración propia.

En este proceso obtenemos resultados muy inferiores a los anteriores, lo cual nos va orientando hacia un proceso de curado con mejores desempeños, como lo es el curado en agua.

Conclusiones

Los ensayos realizados han permitido identificar las propiedades físico-mecánicas de tres unidades de ladrillos como su resistencia, porcentaje de absorción y módulo de rotura. De acuerdo a los resultados se puede establecer que cada ladrillo posee características diferentes y estos se pueden clasificar según su uso en tres tipos. De las muestras ensayadas, la número 3 es la que cumple con los requisitos de compresión y absorción dados en las NTC 3829 Adoquín de Arcilla para Tránsito Peatonal y Vehicular Liviano. Por lo tanto, esta muestra es de tipo II y se le puede dar uso en lugares tales como tiendas y calzadas exteriores.

Podemos concluir que la muestra de mortero con cascarilla de arroz a los siete días de curado arrojó un módulo de rotura de 2,07Mpa, es decir, una resistencia a la flexión mayor que la de la muestra dos de los bloques

comerciales, ya que de ella se obtuvo un resultado de 1,39Mpa. Esta comparación es favorable ya que se puede llegar a tener a los 28 días de curado una resistencia a la flexión mayor y por ende dando afirmación a las teorías dichas en otros países.

Según los resultados obtenidos en las gráficas podemos observar que en ambos procesos de curado se presenta una disminución de la resistencia a la flexión muy notable.

Se obtuvo solo un resultado favorable que fue el bloque de los siete días curado en agua, ya que alcanzó una resistencia a la flexión mayor que uno de los bloques comerciales fallados anteriormente.

Se concluye que el proceso de curado en agua es más factible para lograr una resistencia a la flexión mayor, ya que con el curado a temperatura ambiente no se obtuvieron los resultados deseados.

Agradecimientos

Los agradecimientos son dados en primera instancia a Dios por permitirnos esta oportunidad de aprender

y aportar conocimiento con nuestras actividades, al programa de ingeniería civil de la Corporación Universitaria Minuto de Dios Centro Regional Girardot, a los semilleros de investigación de FAMAUMAR y SIGAIC, especialmente a los estudiantes Yennifer Tatiana Restrepo Ramos, Jorge Enrique Gómez Giraldo, quienes con su trabajo y disciplina contribuyeron al desarrollo de esta investigación.

Referencias

Camuñas, A. (1969). *Materiales de construcción*. Volumen II. Cádiz: Guadiana.

Góngora, A. (2013). "Secretaría de Infraestructura informó su gestión en Girardot. Extra". Tomado de <http://girardot.extra.com.co/noticias/politica/secretar%C3%ADa-de-infraestructura-inform%C3%B3-su-gesti%C3%B3n-en-girardot-67793>

Municipio de Girardot. (s.f). "Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos". Tomado de <http://girardot-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/38646139383934306166613535613565/planeacion.pdf>

Plancha Geológica 245 (1999). Municipio de Girardot. Servicio Geológico Colombiano.

El Tiempo (1999). "Basuras tienen en jaque a Girardot". Tomado de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-956490>