

UNIVERSIDAD EAN

**PRODUCCIÓN DE LADRILLOS A PARTIR DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DE
LA CONSTRUCCIÓN**

**AUTORES
SAAIBI DE JESUS ARENAS MORENO
FEDERICO LÓPEZ MUÑOZ
HERNÁN GOMEZ COGOLLOS**

**DOCENTE
LILIANA MARGARITA MEZA BUELVAS**

**FACULTAD DE INGENIERIA
BOGOTÁ, 2021**

TABLA DE CONTENIDO

1.PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	5
2.PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	6
3.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	6
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	6
4. JUSTIFICACIÓN.....	7
5.MARCO TEÓRICO.....	10
5.1 DESECHOS DE LA INDUSTRIA.....	10
5.1.1 Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción	12
5.2 MATERIAL CEMENTANTE.....	14
5.3LADRILLO, FABRICACION Y CARACTERISTICAS.....	15
5.3.1 Los ladrillos.....	15
5.3.2 Proceso de fabricación.....	16
5.4 CENIZAS.....	17
5.4.1 características.....	18
5.5 fraguado	21
5.5.1 curado	21
5.5.2 técnicas de curado materiales selladores	21
5.6 normas colombianas de construcción sismo resistentes	23
6. ANALISIS Y VIABILIDAD.....	24
6.1 Proceso.....	25
6.2 análisis de manufacturación	27
6.3 viabilidad del proyecto	31
6.3.1 costos	31
6.3.2 gasto energético	32
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33

8.REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	34
9.ANEXOS.....	37

Tabla de ilustraciones

Ecuación 1	30
Ecuación 2	32
Figura 1	9
Figura 2	10
Figura 3	17
Figura 4	20
Figura 5	21
Figura 6	22
Figura 7	23
Figura 8	26
Figura 9	26
Figura 10	27
Figura 11	27
Figura 12	28
Figura 13	28
Figura 14	29
Figura 15	31
Tabla 1	20
Tabla 2	24
Tabla 3	30
Tabla 4	32

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La Industria de la construcción generó en 2019 un total de 93,624,960 pesos colombianos en ventas totales, siendo esta una de las industrias más productivas del país que crece con el tiempo, en los últimos 5 años las ventas totales aumentaron un 50%, generando un total de 256,219 empleos en 2019 y produciendo ganancias de 9,347,931 millones en 2019, un 3% por ciento más que en 2018. No obstante, al igual que la economía acrecienta, de manera proporcional, lo hace la demanda de materia prima. Esto es un problema dado que la mayoría de los elementos químicos, tales como el calcio y el aluminio, entre otros, se obtienen mediante la minería, lo que ocasiona la formación de zonas áridas, contribuyendo a aumentar la huella de carbono y el consumo hídrico directamente relacionado al proceso de extracción y posterior manufacturación en productos, además de aumentar la cantidad de minas en el país, los cuales no son necesariamente reguladas, entre muchos otros cuestionables resultados. Justamente, esta industria se caracteriza por su potencial contaminante no solo en su consumo de materia prima, sino también por su consumo energético y desechos producidos.

En Bogotá se entierran cada día aproximadamente 4800 toneladas de residuos sólidos esto representa el 17,5% de los residuos totales de Bogotá. Aun así, se ha buscado aumentar la cantidad de escombros reutilizados en un 3% por año, esto según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). En la actualidad, la industria de la construcción en Colombia consume el 60% de los materiales extraídos de la tierra, el 40% de la energía y genera el 30% del CO₂ y el 40% de los residuos. Adicionalmente, en la construcción se desperdicia el 20% de todos los materiales empleados en la obra.

Esta situación parece ser el resultado de varios factores. En primera instancia, la inexistencia de un mercado circular en cuanto a los escombros ya que, aunque existe una serie de nuevas resoluciones que buscan disminuir su impacto ambiental, no son lo suficientemente demandantes. Sumando a esto, aunque los materiales cementantes contienen elementos que están presentes en la mayoría de los desechos, tales como el vidrio, cenizas, escombros entre otras materias, no son utilizadas como material de construcción, aunque exista la tecnología para la transformación de los desechos. Puede que sea no tan rentable la inversión inicial, o que no exista una empresa que haga dicha transformación de materiales.

Ahora bien, Colombia genera productos tales como: café, palma de aceite, caña de azúcar y panelera, maíz, arroz, banano y plátano, una producción de 140.974.807 ton/año, de dichos

productos se producen alrededor de 71.943.813 ton/año de residuos que en la gran mayoría de los casos son incinerados o llevados a rellenos sanitarios. Para finalizar, Colombia enfrenta un problema ecológico, ambiental y económico en la recuperación de sus desechos industriales, el sector de la construcción es uno de los más rentables del país, no obstante, posee una serie de problemáticas que deben ser resueltas.

2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cómo se puede establecer un negocio circular cuyo eje central sea la creación de aglutinante, mediante la reutilización de desechos o residuos provenientes de la industria de la construcción, agrícola, biocombustibles entre otras industrias y que reduzca en cierta medida el uso de cemento de referencia portland (OPC)?
- ¿Bajo qué normativas se deberá llevar a cabo el proceso de fabricación, que se realizan buenas prácticas de producción sostenibles y aplicando conceptos de ingeniería verde?

3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Objetivo General

Crear un ladrillo, en el que un 30 a 40 % de su materia prima sea un desecho de la industria colombiana, estructurando un proceso para su creación, comparando el gasto energético, los residuos generados, la contaminación y otros efectos no deseado de un ladrillo regular.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar en la legislación colombiana todo lo relacionado con el uso y manipulación de residuos, así como, de la producción de materiales aglutinantes-cementantes.
- Dimensionar un proceso de producción en que sean utilizados aquellos residuos/desechos, preseleccionados que pasarán por pruebas de calidad, viabilidad en su conversión y posterior uso como material cementante sostenible.
- Analizar los resultados obtenidos y con base en estos, proponer un modelo de negocio que sea sostenible.

4. JUSTIFICACIÓN

Cada día el mundo se está globalizando más, las fronteras están desapareciendo y el tema de exportación e importación se ha venido fortaleciendo, algo que hace algunos años parecía muy lejano, hoy en día es un proceso muy común; también se observa que la tecnología 4.0 ha tenido un impacto muy grande en todo este proceso sin embargo su impacto negativo en el medio ambiente también está muy presente, ya que son pocas las industrias y los agentes que asumen un papel responsable en cuanto a él.

Desde que se comenzaron a usar materias primas para la mayoría de las cosas que usamos hoy en día, el medio ambiente ha sido fuertemente golpeado y no se ha hecho mucho al respecto. Es cierto que algunas empresas se han decidido crear conciencia ambiental al interior de sus organizaciones, por cada una de estas, se podría casi decir que hay 3 más o incluso 5 que no lo tienen en cuenta generando efectos negativos para el planeta que terminarán dejando sin disponibilidad de materias primas y con un deterioro total al planeta tierra.

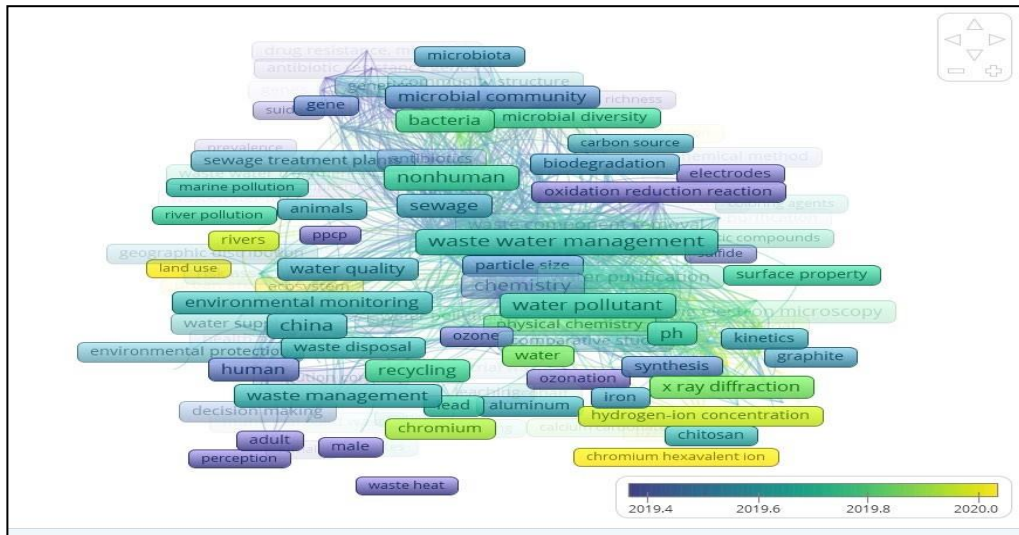
Es por esto que se busca sustentar el impacto positivo que se generaría con el desarrollo de este proyecto. Ya que el medio ambiente no está dividido por fronteras como los países, sino que es algo global. Por esto es necesario aclarar que en Colombia la relación existente de residuos dados y los aprovechados es muy baja, actualmente en Colombia se generan aproximadamente 11,6 millones de toneladas de residuos sólidos al año, de estos, cerca del 40% podrían aprovecharse, pero según la Misión de Crecimiento Verde del Departamento Nacional de Planeación (DNP), solamente se recicla alrededor de 17% (Blanco, 2019).

Es decir, existe la posibilidad de reutilizar casi la mitad de los residuos y aun así son pocas las compañías que se atreven a intentarlo, el camino más común en estos casos es incinerar o llevar estos residuos a rellenos, lo cual muestra la clara pérdida de material y el desaprovechamiento del mismo; Por esto se busca reciclar los desechos a nivel general, por medio de un proceso en donde se separe el material orgánico (Shan Li, J., Lu, J.-x., Cheeseman, C., & Poon, C. s.,2019) de los materiales plásticos, sometiéndolos a un proceso de transformación que busca incorporar ambos como un nuevo material, cemento en este caso, usándolo en la construcción por todo el país.

En Colombia, la industria de la construcción consume el 40% de la energía generando el 30% del CO₂ y el 40% de los residuos, por lo que sería de gran ayuda que buena parte del material empleado para la construcción sea reciclada, pues así se hace un doble proceso de

gestión de residuos. se evidencia una tendencia hacia un nuevo enfoque dirigido a los residuos relacionados con el área de la construcción, eficiencia de los procesos, gases de efecto invernadero.

Figura 2 diagrama de redes palabras claves artículos científicos de la fundación de ciencias naturales de China



Fuente: elaboración propia en vosviewer

En la figura 2, se aprecia el comportamiento que tienen los organismos investigadores patrocinados por la fundación de ciencias naturales de china, comparándolo con la figura 1 se denota un comportamiento similar a la mayoría de las palabras claves enlazadas en el periodo de 2019, gestión de residuos acuíferos, retención hidráulica, humano, tratamiento biológico entre otros. mientras que en estudios más recientes del año 2020-21, se tiene un enfoque más asociado a estudiar las reacciones químicas que intervienen en los procesos de manejo de residuos en especial las relacionadas con elemento cromo, mientras que los artículos de la comisión europea buscan formas de aprovechar las cenizas de material particulado, tratamiento de lodos y de cómo reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero que se relacionan directa e indirectamente con estas prácticas.

Se concluye que se si desea realizar un estudio enfocado en un ámbito practico evaluando los potenciales de aprovechamiento , reutilización,, reciclaje de los residuos , así como parámetros de operación para realizar en plantas de tratamiento o plantas donde se usarían los desechos como materias primas , se recomendaría usar los documentos de las bases de datos

asociadas a los estudios europeos , al estar estos enfocados en un ámbito más práctico y aplicado a las situaciones actual mientras que las bases de la fundación china serian de mayor utilidad para aquellas personas eruditas en estos temas y que deseen tener un punta de vista de punta a las técnicas, procesos y dinámicas que llevarían a una gestión de los residuos ms especializada en determinada área en la que se decida incursionar .

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Desechos de la industria, Ejemplo Cali.

A lo largo de los años, el daño ambiental ha aumentado de manera exponencial, pues no muchas personas toman conciencia frente a la cantidad de desechos que generan al año. Las cifras del DANE aseguran que en promedio una persona produce 515 Kilogramos de desechos al año, por este motivo muchos expertos e incluso personas naturales que forman conciencia ambiental se preguntan e imaginan la cantidad de cosas que se podrían llegar hacer con estos residuos y de esta manera reducir la huella ambiental de forma significativa. Dado al interés que estos y otros datos han arrojado, cada vez se investiga más qué usos se le pueden dar a los residuos para disminuirlos, no hace falta hacer estudios mayores para saber que se puede generar un mayor impacto ambiental rehusando los desechos que intentando reducirlos, pero aún falta mucha conciencia ambiental para poder hacerlo.

Ya muchos estudios han demostrado la efectividad de usar desechos como materia para construcción, en este caso para cemento. En algunos países europeos ya es una realidad y los beneficios que han surgido a lo largo de este proceso han sido bastante provechosos, no sólo incrementando el material disponible para las áreas, sino reduciendo el impacto ambiental que generaba por contaminación en el agua y en el aire, dando la posibilidad de respirar un aire más fresco y menos dañino.

Para comprender si el propósito de un proyecto es lo suficientemente beneficioso para la sociedad se necesita conocer los antecedentes de la problemática a resolver y ver en qué magnitud se generaría un impacto si se llegara a usar. Para esto hay que remontarse a la historia del Valle del Cauca, más exactamente en Cali, donde un tema como la basura se volvió una problemática cada vez más fuerte a lo largo de los años, dejando pocas alternativas de solución.

A inicios del siglo XX los desechos no generaban mayor problema, pues estos en su mayoría, eran orgánicos debido a que la industria de esa época. Sin embargo, a medida que todo se globalizaba y se desarrollaba, distintas industrias que hoy en día cuentan con tanto prestigio, se encargaron de generar productos que son difíciles de descomponer, ya no tardan meses, ni años e incluso algunos son tan dañinos que tardan décadas en descomponerse si se dejan en la tierra como se hacía antes con los desechos orgánicos por medio del compostaje.

Esta problemática era tan grande que los basureros llegaron al tope del almacenamiento por lo que optaron por comenzar a arrojar la basura a lugares lejanos de la población, pero cercanos a la naturaleza, entre ellos a los ríos y botaderos a cielo abierto, generando aún más contaminación. Luego de que estos se encontraban llenos, la basura se ponía en parques, lotes abandonados y en todo lugar que tuviera el espacio disponible. Con el tiempo la contaminación se volvió tanta que los ciudadanos de Cali y de pueblos aledaños estaban expuestos a una alta vulnerabilidad y riesgo de padecer enfermedades que los afectaría tanto a corto como a largo plazo.

La empresa Emsirva asumió el manejo de los residuos sólidos de la ciudad del basurero de Navarro, no realizaron los estudios pertinentes para poder visionar los impactos negativos que se causaría en el entorno, en el subsuelo se encontraba un acuífero, el cual sin duda fue ignorado y poco a poco se fue contaminando por los lixiviados producidos por la cantidad de desechos. Por otro lado, se desconocía a nivel comunal, el incumplimiento de las normas ambientales, aunque hay normativas para implementar una gestión integral de residuos sólidos, estas no se cumplieron en totalidad, dejando sin control los vectores de contaminación e incrementando la problemática de los residuos sólidos lo que cada vez se convirtió en una situación difícil de controlar.

Para aliviar esta situación el gobierno colombiano debió tomar riendas en el asunto e impedir el crecimiento de la contaminación, se comenzaron a abordar diferentes planes implementados ya en otras ciudades como lo fue la separación de la basura en canecas por colores dependiendo del material de este (reciclados, residuos, dañinos). De esta manera se empezó a manejar los residuos, reduciendo un poco de contaminación y el reciclaje se volvería en un hábito de todos los días.

La anterior situación es un claro ejemplo de lo útil que sería la reutilización de diversos residuos industriales para la elaboración de cemento, no solo en esta zona sino en muchas otras partes del país donde se presentan los mismos o incluso más graves problemas. Los residuos industriales son de interés de primera mano para reutilizarlos, no obstante, los otros residuos ya han sido casos de éxito para la materialización de productos similares.

5.1.1 Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción: En un tema como la construcción siempre se busca que los materiales sean de la mejor calidad, así van a ser resistentes y durables. Sin embargo, para contar con dichas características estos materiales suelen ser un poco más costosos que los regulares. Por lo que acceder a ellos no siempre es buena opción o muy pocas personas pueden optar por este camino. Como posible solución a la problemática mencionada, a través de los años se han venido presentando estudios donde se hace uso de los residuos como material destinado para diferentes tipos de labores. Se ha encontrado que algunos contienen compuestos químicos que serían útiles si se sabe hacer un buen tratamiento de separación del resto de productos que no lo son. Y es allí donde una nueva forma de minimizar la huella ambiental surge, con la reutilización de estos materiales en nuevos productos.

En el caso del cemento, los aditivos que se usan buscan con mayor frecuencia sirvan para que al modificar el producto se favorezca ciertas propiedades funcionales del concreto, como la conductividad eléctrica y así se pueda lograr una mejor resistencia mecánica y durabilidad, dos factores que sin duda se buscan a diario para mejorar las construcciones en un país como Colombia. Además de esto, al hacer uso de materiales reciclados como medio de mejoramiento, se están recortando gastos, omitiendo la necesidad de crear productos más costosos y a su vez contaminantes en sectores industriales.

En estudios realizados anteriormente se ha encontrado que el componente SiO_2 genera una reacción favorable gracias a sus propiedades puzolánicas en el cemento como aditivo al ser este incorporado y mezclado con el agua, su temperatura se adapta idóneamente haciendo que el cemento se vuelva más resistente. Es por lo anterior que, en el estudio “Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción” se utiliza es cascarilla, ya que se encontró que, al hacer el proceso químico adecuado de separación de los elementos orgánicos de los inorgánicos, el SiO_2 se encuentra de forma abundante en este producto. Si se le agrega este aditivo al cemento regular y se usa en las construcciones por el mismo valor que suele tener, pero con el valor agregado de la resistencia, se hace aún más atractivo en el mercado la industria de la construcción y las casas se pueden construir a un menor precio.

Otro factor que aún no se ha identificado al 100% pero que es caso de estudio, es si el mismo componente brinda además de resistencia, durabilidad. Así con este último se complementarían un factor que lo haría 100% más atractivo en esta área.

De esta forma se van aliviando dos situaciones de manera simultánea, el aspecto ambiental debido a los desechos reutilizados y el aspecto económico brindando más accesibilidad a mejores productos por un menor o igual precio. Ya se tiene como certeza que los aditivos sacados por medio de las cáscaras de arroz sirven, por lo que los residuos de este van a ser reutilizados en mayor cantidad a medida que la industria se va adaptando a esta forma de obtener mejores resultados de manera más económica.

De igual forma esto es un avance que genera una apertura de puertas a una nueva modalidad donde en vez de buscar crear nuevos productos, que probablemente generan mayor contaminación, así se tomaron en cuenta alternativas de analizar otros tipos de residuos que contengan elementos similares a los de la cáscara de arroz o incluso mejores, dependiendo del producto de construcción que se quiera utilizar. Los resultados obtenidos en este proyecto fueron los siguientes: se analizaron ambas pruebas, en la primera la resistencia se incrementa de manera notable con relación a la segunda, la cual no tiene SiO_2 ya que considerando que la cantidad de hidróxido de calcio que se encuentra en el cemento utilizado se disminuye gracias a la reacción puzolánica con el dióxido de silicio adicionado, resultando más favorable en términos de resistencia y la estabilidad del compuesto es excelente.

Asimismo otra alternativa que se proyectó a corto plazo fue usar el material como compuesto de cubiertas de poco peso y en la industria ladrillera, pues al sinterizar los elementos que lo compone, se pueden obtener ladrillos más económicos y livianos, disminuyendo los pesos en las estructuras construidas, reduciendo los daños que se presentan en zonas de alto impacto sísmico, recordando que muchos fallecimientos en estos eventos ocurren debido a los derrumbamientos de las edificaciones alrededor de los civiles.

Como conclusiones se obtuvo que el dióxido de silicio extraído de la cascarilla de arroz en el estudio realizado por la Universidad del Cauca, presenta buenas propiedades en el material, con alta pureza haciéndolo efectivo como aditivo al cemento para hacerlo más resistente. Por otro lado, es importante tener en cuenta la relación que se hace de cemento-agua, pues al hacerlo de forma incorrecta se ocasiona la formación de agregado esféricos muy duros en el interior del concreto, generando una fuerte disminución de la resistencia a la comprensión.

El uso correcto del aditivo puede convertirse en un buen aliado a la hora de proporcionar nuevas alternativas de construcción haciendo viviendas de menor costo con buena funcionalidad. Y es importante recalcar que el uso de la cascarilla de arroz sin un previo

tratamiento químico donde se separe de manera cuidadosa el material orgánico al inorgánico no dará el resultado esperando, y esto no se debe considerar solo en el proceso de quemado sino también en el proceso de reflujo.

5.2 MATERIAL CEMENTANTE

En función a la creciente tendencia mundial de las personas a desplazarse a zonas urbanas según el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, (2018) para el 2050 aproximadamente el 68 % de la población mundial residirá en las ciudades, lo que afectará en mayor medida la necesidad de la adecuación, remodelación y creación de nuevas estructuras habitacionales, las cuales son la principal fuente de obtención de residuos de la construcción y demolición (RCD). Colombia no es ajeno a esta problemática, contando con 2 megaciudades (Medellín y Bogotá), y muchas otras que debido al proceso de globalización se verán ante esta situación en un futuro no muy lejano. Con base en lo anterior y teniendo en cuenta los datos estadísticos entregados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018) en Colombia el 40% de los residuos en Colombia pertenecen a los RCD.

Al realizar un proceso de identificación de aquellos materiales asociados a la industria de la construcción y posteriores obras de demolición, se elabora una lista de posibles técnicas de reciclaje-reutilización de estos desechos, bien sea por medio de conversión mecánica-física o con alguna operación unitaria de por medio (conversión química) para poder ser utilizados nuevamente en un proceso o para creación de un producto. Siguiendo los estándares nacionales e internacionales previamente establecidos para corroborar la calidad, durabilidad, eficiencia, entre otras características que deben cumplir los productos finales. (ROCHA J, 2020). Según Huang B. et, al. (2018), las barreras existentes para la reutilización de estos residuos son: la falta de orientación para la recolección y clasificación efectiva de los RCD, la falta de conocimiento y estándares para la reutilización de los RCD y la existencia de un mercado poco desarrollado para la reutilización de estos.

5.3 EL LADRILLO, FABRICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS

5.3.1 Los ladrillos: son pequeñas piezas cerámicas en forma de paralelepípedo, formadas por tierras arcillosas, moldeadas, comprimidas y sometidas a una cocción. Pueden utilizarse en toda clase de construcciones por ser su forma regular y fácil su manejo (Moreno, 1981). Estos elementos se pueden manufacturar a partir de cemento OPC, el aglutinante más utilizado a

escala mundial por su bajo costo y grandes características hidráulicas-mecánicas. Algunas de las metodologías para producir ladrillos a utilizando OPC se presentan a continuación:

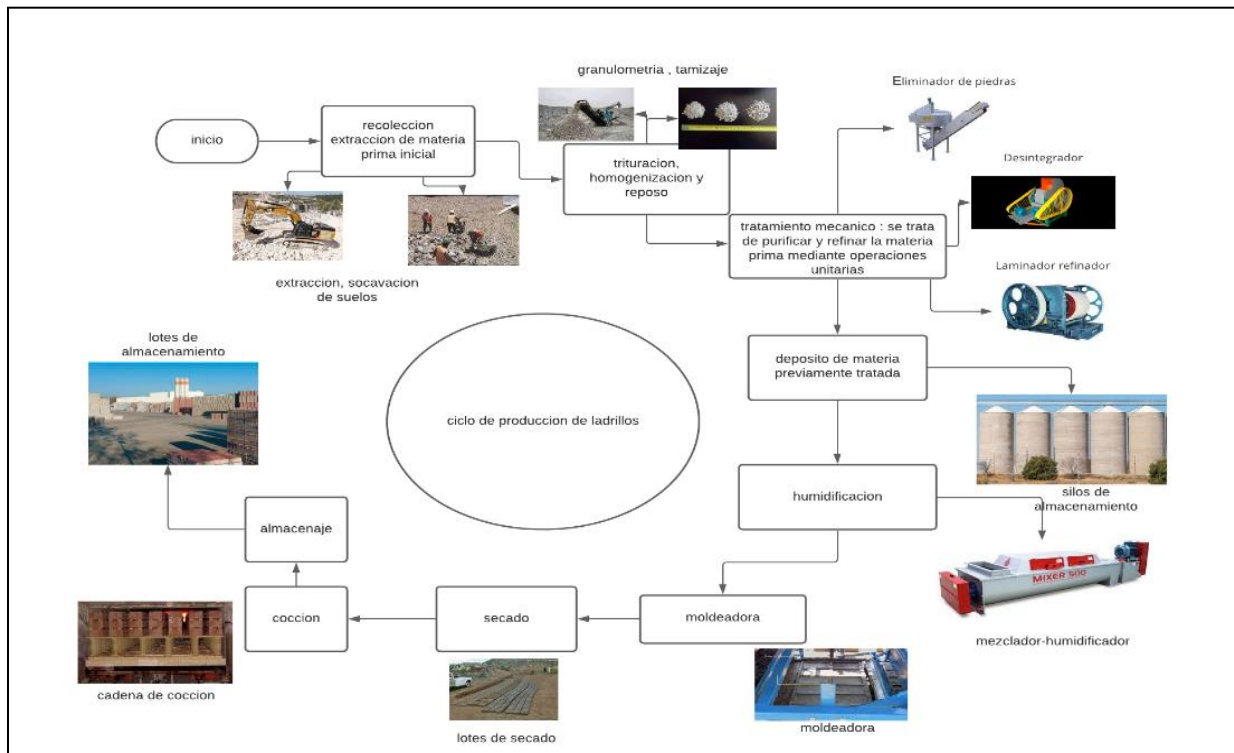
- Mezcla de cemento OPC- tereftalato de polietileno plástico de uso común. A. Martínez and M. Cote (2014), “Diseño y Fabricación de Ladrillo Reutilizando Materiales a Base de PET
- Mezcla cemento – desechos de excavación, aserrín, mucilago de plantas, mezcla líquida vegetal J. Rocha (2020). “Elementos de construcción a partir de residuos de construcción y demolición en Bogotá”
- Mezcla cemento, cal -cenizas volantes de materia vegetal o plantas Zhou, Y.-f., Shan Li, J., Lu, J.-x., Cheeseman, C., & Poon, C. s. (2019). “Recycling incinerated sewage sludge ash (ISSA) as a cementitious binder by lime activation”.

Esta última metodología es la que se desarrolla para la elaboración de un ladrillo a base de desechos del sector de la construcción y cenizas volantes de bagazo para la elaboración de ladrillos.

5.3.2 Proceso de fabricación: El proceso descrito a continuación se basa en las metodologías utilizadas por la empresa CANDO, la cual realiza actividades relacionadas con el sector de la construcción desde 1983. En la Figura 3 se esquematiza cada paso del proceso.

1. Se extrae y transporta la arcilla, la materia prima necesaria para la fabricación de ladrillos.
2. La arcilla se somete a una serie de tratamientos de trituración, homogeneización y reposo. Expuesta a los elementos, con la finalidad de obtener una adecuada consistencia y uniformidad de las características físicas y químicas deseadas.
3. Consiste en una serie de operaciones cuya finalidad es la de purificar y refinar la materia prima:
 - Eliminator de piedras: Sirve para reducir las dimensiones de los terrones.
 - Desintegrador: Se encarga de triturar aquellos terrones de mayor tamaño, más duros y compactos.
 - Laminador refinador: Se trituran los últimos nódulos que pudieran estar en el interior del material.

Figura 3 elaboración de ladrillos paso a paso



Fuente: Creación Propia, 2021.

4. Se deposita el material en silos especiales y techados donde el material se homogeniza definitivamente tanto física como químicamente.

5. La arcilla se transporta al mezclador humedecedor, en el cual se agrega agua para obtener la humedad precisa.

6. la arcilla a través de una boquilla para conseguir la forma del objeto deseado. Este proceso se realiza en caliente, utilizando vapor saturado a aproximadamente 130°C y a presión reducida. Con ello se obtiene una humedad más uniforme y una masa más compacta.

7. Secado, tiene la finalidad de eliminar el agua agregada en la fase de moldeo para así poder pasar a la fase de cocción.

8. Se realiza en altos hornos de gran longitud en los que las temperaturas de cocción oscilan entre 900°C y 1000°C. En el interior del horno la temperatura varía de forma continua y uniforme. Durante este proceso se produce la sinterización, lo que determina la resistencia del ladrillo.

9. El embalaje consiste en envolver los paquetes con cintas de plástico o metal, con la finalidad de poder ser depositados en lugares de almacenamiento y facilitar su transporte.

5.4 CENIZAS

Colombia tiene la particularidad de tener las condiciones ambientales que permiten cultivar la caña de azúcar todo el año, más precisamente el departamento del Valle del Cauca. A diferencia de por ejemplo Cuba, que solo puede producir 3 meses del año en verano, por ende, Colombia está entre los 25 principales exportadores de azúcar según *Oportimes* (2020) permitiendo el establecimiento de más de 13 ingenios azucareros que contribuyen con la producción colombiana de azúcar.

Por otro lado, la caña además de ser usada para la producción de azúcar se usa también para la producción de alcohol, dado que dicha planta presenta un contenido entre 11 a 16%, de Sacarosa (F. Augstburger, et. al, 2000). Gracias a dichas particularidades, se pueden obtener múltiples productos, como materia prima para bebidas refrescantes de consumo local, productos alimenticios, abonos orgánicos, alimento para ganado, alcohol y biocombustibles (Concepto Visual, 2010). No obstante, existe un desgaste ambiental resultado de la manera en que se cosecha. El método principal de cosecha de la caña de azúcar es la zafra. En el valle del Cauca existen un total de 173.919 hectáreas sembradas en caña de azúcar, el 78% de esta área se encuentra permitida para adelantar quemas controladas con fines de cosecha (Portal CVC, 2020). Por otro lado, tras el corte de la caña y separación del azúcar, el bagazo restante es llevado a centralles térmicas (Véase Figura 4 Proceso de cogeneración) dando como resultado 12,3 millones de toneladas de cenizas al año (Sector Agroindustrial de la Caña, 2020).

5.4.1 Características: las cenizas son el resultado de la recolección de la caña de azúcar, puesto que se debe quemar ya sea el cultivo o el bagazo, los cuales son llevados a calderas para su quema, de estas calderas se obtiene en el fondo este material volante. Se han realizado varios experimentos con la ceniza para determinar sus características físicas y químicas. Diana V. Vida junto a Janneth Torres y Luis O. González en su estudio preliminar “CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA PARA ELABORACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN” recuperaron tres tipos de cenizas de diferentes ingenios del valle estas son CBC1, CBC2, CBC3. De estas se realizaron diferentes pruebas como tamizado con tamizador N°140, 170 y 200, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1.

Figura 4 Proceso de producción de energía a partir de la cogeneración.



Fuente: Asocaña, 2017.

Según la norma ASTM C618 en las puzolanas clase N, la suma de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 debe ser igual o superior al 70%. Diversas investigaciones han reportado que la suma de estos tres compuestos representa más del 70% de la composición química de la ceniza de bagazo de caña. De esta manera, para poder terminar la composición mineralógica de las cenizas se evaluó la composición de las muestras por la técnica de Difracción de Rayos X (DRX), con un equipo Xpert-Pro con lámpara de cobre a una velocidad de escaneo de $5^\circ/\text{min}$ con un paso de 0.020 grados.

Tabla 1. caracterización de las muestras de cenizas para experimentación.

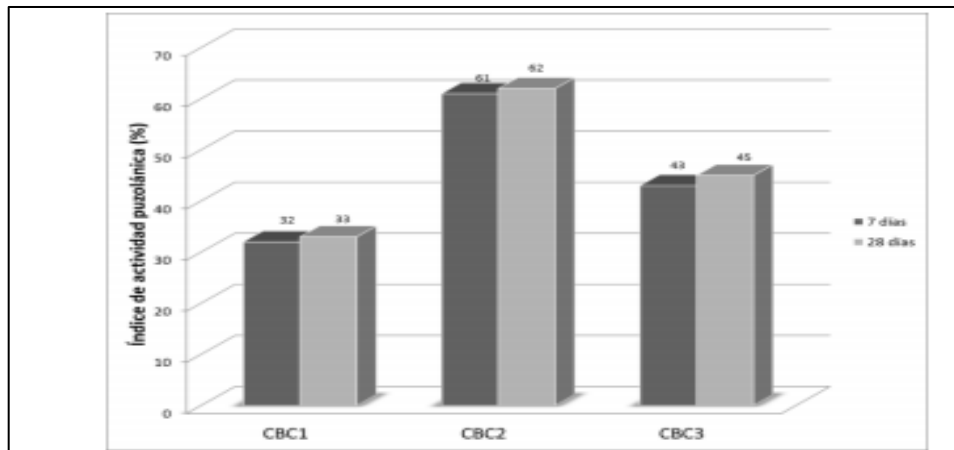
Características (%)	CBC1	CBC2	CBC3	Cemento
SiO_2	58,6	76,4	63,2	24,3
Al_2O_3	11,8	5,8	8,5	4,3
Fe_2O_3	5,8	4,5	6,4	3,0
CaO	3,0	3,3	3,9	58,8
MgO	2,2	2,3	4,3	1,4
K_2O	2,0	4,2	7,3	0,7
Na_2O	1,3	1,2	1,1	0,8
Pérdidas por ignición	10,0	2,0	11,0	4,0
Tamaño de partícula (μm)	38,7	79,8	41,5	16,0

Fuente: Vidal, D., Torres, J., & González, L. (2014)

La actividad puzolánica se refiere a la capacidad que tiene el material o puzolana, en este caso la CBC, de reaccionar con el hidróxido de calcio proveniente de la hidratación del cemento, generando mayores productos de reacción y por lo tanto mejorando las propiedades mecánicas de los materiales de construcción base cemento. Esta propiedad depende de la naturaleza y proporción de las fases activas presentes, de la relación cal: puzolana, de la finura de la puzolana y de la temperatura a la que ocurra la reacción por lo cual en las figuras 5 y 6.

se presentan los resultados de la actividad puzolánica a 7 y 28 días de curado, para las tres muestras de CBC.

Figura 5 Indicé de actividad Puzolánica.

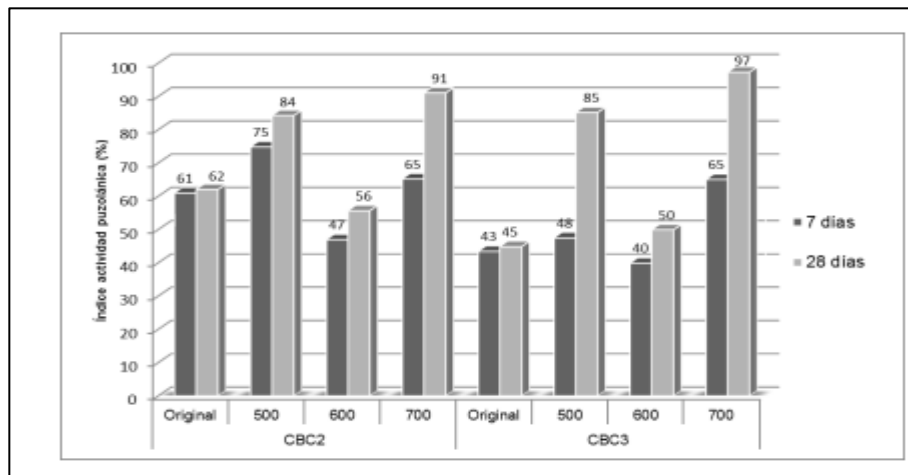


Fuente: Vidal, D., Torres, J., & González, L, 2014

Como se expuso, la norma ASTM C311 indica como valor mínimo el 75%, se observa cómo ninguna de las muestras tiene el índice mínimo de actividad puzolánica. Tras esto se realizó un tratamiento térmico a las cenizas CBC2 y CBC3, a temperaturas de 500, 600 y 700°C durante 3 horas. Este tratamiento se realizó en un horno eléctrico a una velocidad de calentamiento de 10°C/min, observando que la actividad puzolántica aumentó considerablemente al aumentar la temperatura.

Finalmente, las cenizas de bagazo estudiadas requieren de un tratamiento térmico, ya que esto permite mejorar su reactividad frente al cemento Portland. Se recomiendan hacer estudios posteriores con cenizas producto de la combustión única del bagazo sin tratamiento térmico, lo cual permitirá economizar en tratamientos posteriores a la obtención del residuo, disminuyéndose el consumo de energía. Por otro lado, también se pueden realizar estudios con la CBC sometida a procesos de molienda, ya que éste es un factor importante en el desempeño puzolántico.

Figura 6. índice de actividad puzolánica muestras CBC2 Y CBC3



Fuente: Vidal, D., Torres, J., & González, L, 2014.

5.5 FRAGUADO

Es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del hormigón (o mortero de cemento), producido por la desecación y recristalización de los hidróxidos metálicos procedentes de la reacción química del agua de amasado con los óxidos metálicos presentes en el Clinker que compone el cemento.

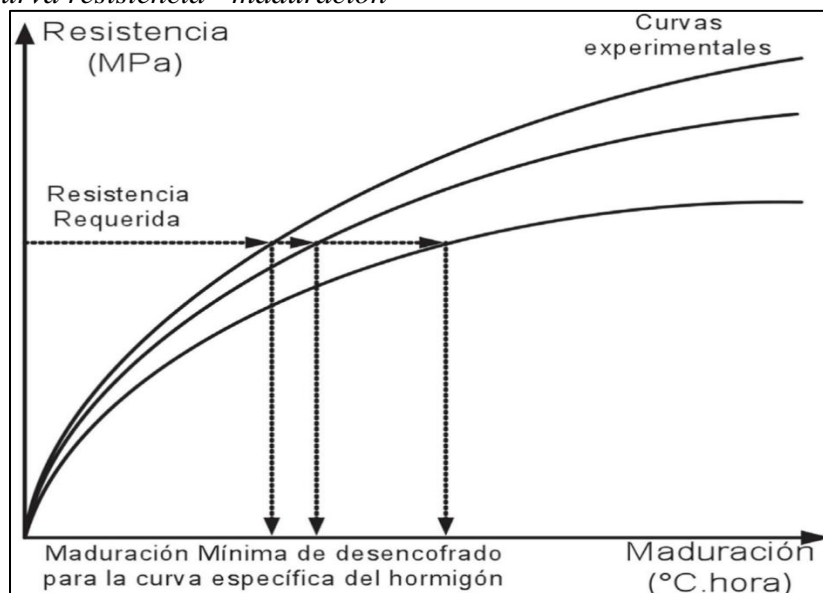
5.5.1 curado con aplicación de agua: Técnica de Curado con aplicación de agua: Se puede realizar una inmersión del concreto en agua, controlada constantemente para así evitar daños en el concreto. El agua puede rociarse en estado de niebla directamente y evitar aplicar agua en grandes cantidades o a chorro ya que puede erosionar el material, también se usan instrumentos como costales, mantas de algodón y alfombras humectadas con agua para que tengan contacto permanente con las superficies del concreto. Estos materiales deben ser colocados inmediatamente el concreto tenga una dureza superficial aceptable, para que de este modo se puedan evitar daños en el acabado de este.

La tierra es otro método utilizado para el curado del concreto, la estructura se recubre con tierra y ésta a la vez se está humectando constantemente. Es de gran importancia verificar que la tierra no contenga materia orgánica que reaccione al contacto con el concreto. El aserrín y la arena que se humedecen constantemente con el fin de tener las condiciones de humedad óptimas sobre la superficie del concreto, son tipos de material en algunas ocasiones contienen ácido tánico en grandes cantidades, afectando el acabado final.

La paja o heno es igualmente utilizado con la misma metodología de humectación, aunque en este caso se aplican capas con un espesor de 150 mm.

5.5.2 técnica de curado materiales selladores: Técnica de Curado con materiales selladores: Películas plásticas livianas de materiales poliméricos como el polietileno sobre el concreto, de por lo menos 0,1 mm de espesor y que se pueden conseguir en diversas presentaciones como plásticos transparentes, blancas o negras. Estas se colocan sobre la superficie del concreto una vez pueda soportarlas y sin dañar los acabados finales generando un ambiente hermético entre el plástico y la superficie del concreto. Sin embargo, se pueden presentar coloraciones en la superficie del concreto por acumulación de agua. También se usa papel impermeable de dos capas es otra opción para el curado del concreto, que están unidas por medio de material bituminoso e impermeabilizado con fibras.

Figura 7 Curva resistencia - maduración



Fuente: N, RUDELLI, A, SANTILLI 2017

Los compuestos líquidos se usan para formar membranas de curado para el concreto, los cuales se aplican en la superficie del concreto cuando el agua por efectos de exudación ha desaparecido y antes que el producto que se va a aplicar pueda ser absorbido por este. Por tal razón se necesita de gran experiencia para saber el momento el cual ya puede ser aplicado el producto. En el documento “Medición de resistencia a tempranas edades del hormigón: método que mejor se ajusta para la determinación de tiempos mínimos de desencofrado de elementos verticales de hormigón” de RUDELLI, A, SANTILLI (2017) se muestra la figura 7, para determinar experimentalmente el tiempo de maduración.

5.6 NORMAS COLOMBIANAS DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE.

Para la Fabricación de ladrillo existe unas series de reglas que deben ser respetadas, el reglamento NSR-98 y La Ley 400 - 3 establecen criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones nuevas, así como de aquellas indispensables para la recuperación de la comunidad con posterioridad a la ocurrencia de un sismo, que puedan verse sometidas a fuerzas sísmicas y otras fuerzas impuestas por la naturaleza o el uso, con el fin de que sean capaces de resistirlas, incrementar su resistencia a los efectos que estas producen, reducir a un mínimo el riesgo de la pérdida de vidas humanas, y defender en lo posible el patrimonio del Estado y de los ciudadanos. En este sentido, la tabla 2 presenta el nivel de amenaza para las capitales departamentales colombianas.

Tabla 2 Valor de A_a y de A_v para las ciudades capitales de departamento y el nivel de amenaza sísmica

Ciudad	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.35	0.35	Alta
Riohacha	0.10	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	0.10	Intermedia
San José del Guaviare	0.05	0.05	Baja
Sincelejo	0.10	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	0.10	Baja
Villavicencio	0.35	0.30	Alta
Yopal	0.30	0.20	Alta

Fuente: DANE. (2020, 09 05).

Donde A_a es el coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva y A_v es el coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva.

REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10
TOMO 1. (2018).

Entre los artículos que influencia la fabricación de ladrillos son:

ARTÍCULO 5°. - Responsabilidad de los Diseños. - Para efectos de la asignación de las responsabilidades correspondientes, deben consultarse las definiciones de Constructor, Diseñador Arquitectónico, Diseñador Estructural, Diseñador de los elementos no estructurales, Ingeniero Geotecnista, Revisor de los Diseños, Propietario, Interventor y Supervisor Técnico, establecidas en el Título II de esta Ley.

ARTÍCULO 8°. - Uso de materiales y métodos alternos. - Se permite el uso de materiales estructurales, métodos de diseño y métodos de construcción diferentes a los prescritos en esta Ley y sus reglamentos, siempre y cuando se cumplan los requisitos establecidos en los artículos siguientes

ARTÍCULO 9°. - Materiales alternos. - Se permite el uso de materiales estructurales no previstos en esta Ley y sus reglamentos, mediante autorización previa de la "Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistente" en los términos del Artículo 14, sujeto a régimen de responsabilidades establecido en la presente Ley y sus reglamentos

ARTÍCULO 12°. - Sistemas prefabricados.- Se permite el uso de sistemas de resistencias sísmicas que estén compuestos, total o parcialmente, por elementos prefabricados que no se encuentren contemplado en esta Ley, siempre y cuando cumplan con uno de los procedimientos siguientes: 1.- Utilizar los criterios de diseño sísmico presentados en el Título A de la reglamentación, de conformidad con lo dispuesto en el Artículo 46 de esta Ley 2.- Obtener autorización previa de la "Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistente", de conformidad con lo dispuesto en el artículo 14, que le permita su utilización, la cual no exime del régimen de responsabilidades establecido en la presente Ley y sus reglamentos.

6. ANALISIS Y VIABILIDAD

6.1 PROCESO

La fabricación de cada ladrillo consiste en mezclar de arena (20-22%), cal (20-24%), cemento (10-15%), bentonita (1-5%) y cenizas (30 -40%), además de un porcentaje de agua. Se debe remarcar que antes del mezclar, las cenizas deben pasar por un proceso de dosificación y molienda.

Figura 8 mezcla final



Fuente: elaboración propia

Tras esto, se vierte la mezcla una prensa de ladrillos, se agrega agua, se prensa. Se saca el ladrillo con cuidado y pasa a fraguar. Durante una semana se agrega un poco de agua durante la mañana y se deja secar al aire durante el resto del día, como se observa en las figuras 8,9,10

Figura 9 prensa de ladrillos



Fuente: elaboración propia

Figura 10 producto final ladrillo



Fuente: elaboración propia

Figura 11 Ladrillos mal fraguados



Fuente: elaboración propia

Las dimensiones del ladrillo son: alto 10 cm, ancho 5 cm y largo 30. El volumen ocupado es de 4500 Cm³. Pesa 5 kilogramos. Falta realizar pruebas sísmicas.

6.2 ANÁLISIS DE MANUFACTURACIÓN

El proceso de fabricación de un ladrillo convencional requiere un gasto energético bastante elevado, normalmente oscila entre 2 y 3 días a una temperatura máxima que varía entre 800 y 1300 °C, los hornos principalmente funcionan con gas natural, carbón, y leña, entre otros. A diferencia, este ladrillo no requiere un gasto energético de ese nivel.

Se realizó una simulación en el algoritmo WAR de los materiales utilizados en la fabricación de una unidad de los ladrillos, cuyo peso en kg esta se expresa en la figura 12.

Figura 12 composición de ladrillos

ladrillo de 5 kg
1kg de arena
2kg de cenizas
0,5 kg de OPC
1,2 kg de cal
0,3 kg de bentonita

Fuente: elaboración propia

Un ladrillo en promedio tiene un peso de 5 kg, entre los cuales su composición está dada por 1 kg de arena, 2 kg de cenizas volantes (cenizas de bagazo para este caso de estudio), 0,5 kg de OPC y el restante está dado por compuestos químicos en su mayoría de óxidos básicos y algunos óxidos ácidos como los que se muestran en la figura 13.

Figura 13 cargue de compuestos para simular la composición de los ladrillos

CAS #	name
14808-60-7	Arena
1305-78-8	cemento OPC
1344-28-1	ALUMINUM OXIDE
1309-37-1	FERRIC OXIDE
1310-58-3	POTASSIUM HYDROXIDE
	manganese oxide

Fuente: elaboración propia

Las figuras 12 y 13, son imágenes extraídas del software WAR para cálculos de contaminación, huella de carbono y eficiencia energética en los procesos industriales, avalado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, EPA.

El software solicita la cantidad de energía adicionada al proceso de fabricación de los ladrillos, para realizar los respectivos cálculos asociados a los impactos ambientales evaluados en el aplicativo; los cuales se dividen en:

- Potencial de toxicidad humana por ingestión
- Potencial de toxicidad humana por exposición
- Potencial de toxicidad acuática
- Potencial de toxicidad terrestre
- Potencial de calentamiento global
- Potencial de agotamiento de la capa de ozono
- Potencial de formación de smog
- Potencial de acidificación

Para obtener el cálculo de la cantidad de energía relacionada con las operaciones unitarias llevadas a cabo en el proceso de manufacturación, equipos de apoyo (sensores, medidores, computadoras de monitoreo), entre otros. Se realizaron los respectivos cálculos que se muestran en la figura 14, esto para fabricar 12000 ladrillos, por tanto, es necesario comprar un equipo de fabricación de ladrillos a nivel industrial.

Figura 14 cálculos de rendimiento energético de la planta

Estudio Energético de la planta						
Equipo	Potencia KW	Tiempo de trabajo (Hora)	Energía Kw*h	Energía al mes (kw*h)	Huella de carbono al mes(kg CO2/kW)	
Tornillo	4	1	4	704	605,44	
SHM4-10	15,2	1	15,2	2675,2	1150,336	
Mezclador	30	0,75	22,5	3960	1702,8	
Iluminacion	16	0,1	1,6	281,6	121,088	
Computadoras	0,8	1	0,8	140,8	60,544	
Total	66	3,85	44,1	11642,4	5006,232	
Factor de emision kg CO2/kW						
Electrico	0,43					
M2 totales	4000			Energía en Kw/h	Energía en Mj/h	
m2 iluminado w	4			44,1	158,76	

Fuente: elaboración propia

Los datos de la energía consumida en kw/h están dados por la especificación de cada uno de los equipos utilizados, al igual que el gasto en equipo computacional y por último las demás fuentes energéticas del proceso están proporcionadas por el proveedor del servicio básico de electricidad de la planta en cuestión.

El software solicita la cantidad de energía en unidad de MJ/h (mega julios/hora), los valores previamente obtenidos se encuentran en kw/h , por lo tanto , se hace uso de la siguiente ecuación para pasa de kw/h a MJ/h :

Ecuación 1 conversión gasto energético

$$\text{ecuacion no. 1: } 1 \frac{\text{Kilowatios}}{\text{hora}} = \frac{3,6\text{MegaJoules}}{\text{hora}}$$

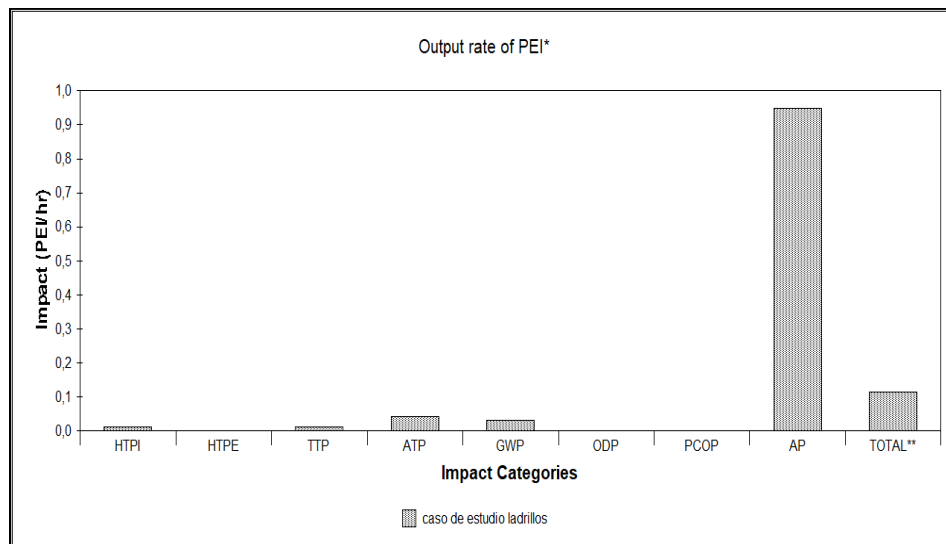
Tabla 3 Evaluación de potencial de riesgos asociados al proceso

Riesgo	Probabilidad de incidencia	Parámetros evaluados
Potencial de toxicidad humana por ingestión	0	La mezcla para ladrillos no está diseñada para consumo humano y no se registran casos en los que se haya consumido ya sea por error o alguna otra causa asociada
Potencial de toxicidad humana por exposición	1	Los trabajadores de la planta usan equipos de seguridad en todo su cuerpo y de igual forma siguen los parámetros de seguridad asociados al proceso para evitar cualquier tipo de contacto con la mezcla de ladrillos No hay reacciones exotérmicas o alguna otra reacción química que libere calor por ende no hay cambio de fases de los insumos por lo que no hay exposición por medio del aire
Potencial de toxicidad acuática	0	El agua utilizada en el proceso se ve involucrada en la operación de fraguado, la cual le da la característica dureza, rigidez y demás propiedades físicas al ladrillo No hay contaminación de fuentes acuíferas externas
Potencial de toxicidad terrestre	2	En el caso en que la mezcla tuviera contacto con el suelo por algún imprevisto en la operación esta no interaccionaría químicamente con el suelo
Potencial de calentamiento global	0	No se emiten gases de efecto invernadero (GEI).
Potencial de agotamiento de la capa de ozono	0	No se emiten gases de efecto invernadero (GEI).
Potencial de formación de smog		No hay reacciones fotoquímicas
Potencial de acidificación	5	Gran cantidad de las materias primas son oxido acido y óxidos hidrácidos, por parte de las cenizas volantes de bagazo

Fuente: elaboración propia

La tabla 3 mostrada anteriormente se elabora para evaluar el riesgo asociado a cada uno de los parámetros que evalúa el software de WAR para brindar las gráficas de impacto ambiental asociadas al proceso de producción de ladrillos.

Figura 15 PEI vs Categorías de riesgo ambiental



Fuente: elaboración propia

En la figura 15, se evidencia la relación entre las categorías de impacto previamente evaluadas en la tabla 3. y el porcentaje del impacto ambiental (PEI) calculado por WAR. Se evidencia que las categorías ambientales de HTPE (*Human Toxicity Potential by Exposure*), ODP (*Ozone Depletion Potential*), PCOP (*Smog Formation Potential*), tienen un impacto nulo en lo que al proceso de producción de ladrillos involucra, mientras que las categorías de HTPI (*Human Toxicity Potential by Ingestion*), TTP (*Terrestrial Toxicity Potential*), ATP (*Aquatic Toxicity Potential*), GWP (*Global Warming Potential*), tienen un bajo impacto, menor al 0,1, pero por otra parte el impacto ambiental más preocupante en el proceso es el AP (*Acidification Potential*) esto debido a la gran cantidad de óxidos previamente identificación para llevar a cabo el desarrollo de formación del producto.

6.3 VIABILIDAD DEL PROYECTO

6.3.1 Costos: Los costos asociados a la producción de ladrillos están dados por la adquisición de materias primas iniciales y el funcionamiento de los equipos/accesorios del proceso que se encargan de efectuar las operaciones unitarias pertinentes para obtener los ladrillos.

Tabla 4 costos de operación año 0

costos	año 0
adquisición de materia prima	
bagazo	\$ -
cemento OPC	\$ 54.000.000,00
Cal	\$ 15.840.000,00
Bentonita	\$ 50.580.000,00
arena	\$ 66.000.000,00
operación y mantenimiento de los equipos	\$ 40.000.000,00
molino de martillos	
silos	
moldeadora	
logística	
administración	
pago de nómina	
total costo	\$ 226.420.000,00

Fuente: elaboración propia

En la tabla 4, se observa el costo de los materiales total de inversión inicial que se tendría que realizar para llevar a cabo el proceso de manufacturación de ladrillos, el costo asociado con las materias primas se obtiene de la siguiente forma:

Por proyecciones de ventas se esperan comercializar alrededor de 12000 ladrillos, los cuales sus composiciones vienen dadas por la ilustración 4 y se toman los precios de venta al por mayor de los compuestos mencionados:

- Precio bagazo: gratis único costo sería el transporte
- Precio cemento OPC: 9000 COP/KG
- Precio Cal: 1100 COP/KG
- Precio bentonita: 14050 COP/KG
- Precio arena: 5500 COP/KG

Ecuación 2

subtotal material

$$= (\text{precio kg de material} * \text{porcentaje unitario}) * \text{total a producir}$$

En este caso el total a producir son 12000 ladrillos

6.3.2. Gasto energético: Como se observó en los puntos anteriores el proceso de fabricación de este ladrillo no requiere más energía que el requerido por la propia máquina durante su fabricación. Adicionalmente, se busca limitar la necesidad de materia prima de origen de minas puesto que entre el 30 al 40% de la materia es cenizas. Además, que se busca dar solución al ingenio azucarero con el problema de la disposición final de las cenizas de bagazo. Si se lograra producir los 12000 ladrillos se estarían reciclando un total de 2571,43 kg de cenizas.

No obstante, existe aún la necesidad de usar cemento para asegurar la mezcla. Además de que se necesita 857,14 litros de agua, sin contar el agua necesaria para el fraguado.

Si se contara con el equipo necesario para llevarlo a un nivel industrial se obtendría una huella de carbono para 12000 ladrillos, por ende, por ladrillo la huella de carbono sería 0,417186 kg de CO₂/kW suponiendo que se haga con un equipo de alta gama.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Aunque la industria de la construcción es de las más rentables en el país, también es de las más contaminantes. Es vital generar productos que responda a la demanda, pero que además permitan crear mercados circulares minimizando el impacto ambiental. Tras esto, el uso de cenizas de bagazo como fuente de materia prima para la fabricación de ladrillos es una alternativa para responder dicha problemática. Puesto que, el proceso de fabricación no requiere energía térmica y que al menos el 40 por ciento es un material reciclado. Además, este producto ayudaría a resolver el problema de desechos del bagazo de los ingenios azucareros del Valle, transformando el bagazo en cenizas y energía. Por otro lado, el algoritmo War determino los riesgos del ladrillo, de estos el mayor riesgo, sería el AP. Recíprocamente, la huella de carbono usando unos equipos industriales, se obtuvo que la huella de carbono generada por estos sería de $0,417186 \text{ kgCO}_2/\text{kW}$ por ladrillo, suponiendo que sean fabricados con equipos industriales presentados anteriormente en la sección de análisis del documento fig 14. Aun así, es posible utilizar otros materiales de primeramente se creían residuos/desechos sin posterior vida útil, tales como el vidrio o los escombros, con el objetivo de usar más desechos como materia prima. De igual manera las concentraciones de la mezcla del producto final pueden variar con el objetivo de generar nuevos productos, como vías, paredes prefabricadas, baldosas, entre muchos otros productos. Asociados al ámbito de la construcción y obras civiles.

No obstante, se debe recalcar la falta de cierta información del proceso de fabricación de la mezcla del producto y del propio del producto. Como puede ser el tamaño de partícula de las cenizas antes del moldeo o bien la humedad de los materiales. Esto es el resultado de un acuerdo de confidencialidad.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A PARTIR DE HOY SE REDUCEN LAS QUEMAS DE CAÑA EN EL VALLE DEL CAUCA* | Portal CVC. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from <https://www.cvc.gov.co/2020255>
- Andrea, E., & Catamusca, C. (2017). C apítul o 18 PASADO Y PRESENTE: LA RECOLECCIÓN DE LAS BASURAS DE CALI, DE LOS DESECHOS ORGÁNICOS A LOS DESECHOS INDUSTRIALES. In *Libros Universidad Nacional Abierta y a Distancia*. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/book/article/view/2433>
- Boletín Técnico*. (n.d.).
- Colombia podría aprovechar 40% de las toneladas de residuos que genera anualmente*. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/colombia-podria-aprovechar-cerca-de-40-de-los-116-millones-de-toneladas-de-residuos-que-genera-al-ano-2813141>
- de La Comisión, S. (n.d.). *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial Dirección del Sistema Habitacional República de Colombia COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES (Creada por la Ley 400 de 1997)*.
- Diseño y fabricación de ladrillo reutilizando materiales a base de PET* | INGE CUC. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from <https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/view/493>
- El ladrillo en la construcción*. de Moreno G., Franco: (1981) | Librería Anticuaria Astarloa. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from https://www.iberlibro.com/servlet/BookDetailsPL?bi=30748498256&searchurl=an%3Dfranco%2Bmoreno%2Bg%26sortby%3D20%26tn%3Del%2Bladrillo%2Ben%2Bla%2Bconstruccion& m_sp=snippet- -srp1- -title
- El plástico reciclado convertido en avenidas - Las2orillas*. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from <https://www.las2orillas.co/el-plastico-reciclado-convertido-en-avenidas/>
- Huang, B., Wang, X., Kua, H., Geng, Y., Bleischwitz, R., & Ren, J. (2018). Construction and demolition waste management in China through the 3R principle. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.029>
- Jafer, H. M., Atherton, W., Sadique, M., Ruddock, F., & Loffill, E. (2018). Development of a new ternary blended cementitious binder produced from waste materials for use in soft soil stabilisation. *Journal of Cleaner Production*, 172, 516–528. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.233>
- Las cifras del sector agroindustrial de la caña de azúcar colombiano y la producción de BioEtanol a base de caña de azúcar*. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from www.asocana.org
- Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo* | ONU DAES / Naciones Unidas Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>
- Los 25 principales exportadores de azúcar del mundo* | *Opportimes*. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from <https://www.opportimes.com/los-25-principales-exportadores-de-azucar-del-mundo/>
- Mafla B., A. (2009). Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción. *INVENTUM*, 4(6), 74–78. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.4.6.2009.74-78>
- Medición de resistencia a tempranas edades del hormigón: método que mejor se ajusta para la determinación de tiempos mínimos de desencofrado de elementos verticales de hormigón*. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132017000200006
- Minambiente reglamenta manejo y disposición de residuos de construcción y escombros* | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros>
- Ricardo, J., & Pardo, R. (n.d.). *ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN A PARTIR DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN BOGOTÁ UNIVERSIDAD CATOLICA DE*

COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
ALTERNATIVA INVESTIGACIÓN BOGOTÁ 2020.

- Rudeli, N., & Santilli, A. (2017). Medición de resistencia a tempranas edades del hormigón: método que mejor se ajusta para la determinación de tiempos mínimos de desencofrado de elementos verticales de hormigón. *Obras y Proyectos*, 22, 6–16. <https://doi.org/10.4067/s0718-28132017000200006>
- Ruiz, A. F., Peñaranda, C. J., Fuentes, G., & Semprun, M. D. (2020). Análisis comparativo de resultados en el uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como material sustituyente del cemento portland en el concreto. *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 11(2), 8–17. <https://doi.org/10.25213/2216-1872.51>
- Sector Agroindustrial de la Caña. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from <https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>
- Vidal, D. v., Torres, J., & González, L. O. (2014). CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA PARA ELABORACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: ESTUDIO PRELIMINAR. *MOMENTO*, 0(48E), 14–23. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/momento/article/view/45539>
- Zhou, Y. fan, Li, J. shan, Lu, J. xin, Cheeseman, C., & Poon, C. S. (2020). Recycling incinerated sewage sludge ash (ISSA) as a cementitious binder by lime activation. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118856. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118856>
- A PARTIR DE HOY SE REDUCEN LAS QUEMAS DE CAÑA EN EL VALLE DEL CAUCA | Portal CVC. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from <https://www.cvc.gov.co/2020255>
- Andrea, E., & Catamusca, C. (2017). C apítul o 18 PASADO Y PRESENTE: LA RECOLECCIÓN DE LAS BASURAS DE CALI, DE LOS DESECHOS ORGÁNICOS A LOS DESECHOS INDUSTRIALES. In *Libros Universidad Nacional Abierta y a Distancia*. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/book/article/view/2433>
- Boletín Técnico. (n.d.).
- Colombia podría aprovechar 40% de las toneladas de residuos que genera anualmente. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/colombia-podria-aprovechar-cerca-de-40-de-los-116-millones-de-toneladas-de-residuos-que-genera-al-ano-2813141>
- de La Comisión, S. (n.d.). *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial Dirección del Sistema Habitacional República de Colombia COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES (Creada por la Ley 400 de 1997)*.
- Diseño y fabricación de ladrillo reutilizando materiales a base de PET | INGE CUC. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from <https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/view/493>
- El ladrillo en la construcción . de Moreno G., Franco: (1981) | Librería Anticuaria Astarloa. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from https://www.iberlibro.com/servlet/BookDetailsPL?bi=30748498256&searchurl=an%3Dfranco%2Bmoreno%2Bg%26sortby%3D20%26tn%3Del%2Bladrillo%2Ben%2Bla%2Bconstruccion&cm_sp=snippet--srp1--title1
- El plástico reciclado convertido en avenidas - Las2orillas. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from <https://www.las2orillas.co/el-plastico-reciclado-convertido-en-avenidas/>
- Huang, B., Wang, X., Kua, H., Geng, Y., Bleischwitz, R., & Ren, J. (2018). Construction and demolition waste management in China through the 3R principle. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.029>
- Jafer, H. M., Atherton, W., Sadique, M., Ruddock, F., & Loffill, E. (2018). Development of a new ternary blended cementitious binder produced from waste materials for use in soft soil stabilisation. *Journal of Cleaner Production*, 172, 516–528. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.233>
- Las cifras del sector agroindustrial de la caña de azúcar colombiano y la producción de BioEtanol a base de caña de azúcar. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from www.asocana.org
- Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo | ONU DAES / Naciones Unidas Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>

- Los 25 principales exportadores de azúcar del mundo | *Opportimes*. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from <https://www.opportimes.com/los-25-principales-exportadores-de-azucar-del-mundo/>
- Mafla B., A. (2009). Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción. *INVENTUM*, 4(6), 74–78. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.4.6.2009.74-78>
- Medición de resistencia a tempranas edades del hormigón: método que mejor se ajusta para la determinación de tiempos mínimos de desencofrado de elementos verticales de hormigón. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132017000200006
- Minambiente reglamenta manejo y disposición de residuos de construcción y escombros | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros>
- Ricardo, J., & Pardo, R. (n.d.). *ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN A PARTIR DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN BOGOTÁ UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL ALTERNATIVA INVESTIGACIÓN BOGOTÁ 2020*.
- Rudeli, N., & Santilli, A. (2017). Medición de resistencia a tempranas edades del hormigón: método que mejor se ajusta para la determinación de tiempos mínimos de desencofrado de elementos verticales de hormigón. *Obras y Proyectos*, 22, 6–16. <https://doi.org/10.4067/s0718-28132017000200006>
- Ruiz, A. F., Peñaranda, C. J., Fuentes, G., & Semprun, M. D. (2020). Análisis comparativo de resultados en el uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como material sustituyente del cemento portland en el concreto. *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 11(2), 8–17. <https://doi.org/10.25213/2216-1872.51>
- Sector Agroindustrial de la Caña. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from <https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>
- Vidal, D. v., Torres, J., & González, L. O. (2014). CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA PARA ELABORACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: ESTUDIO PRELIMINAR. *MOMENTO*, 0(48E), 14–23. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/momento/article/view/45539>
- Zhou, Y. fan, Li, J. shan, Lu, J. xin, Cheeseman, C., & Poon, C. S. (2020). Recycling incinerated sewage sludge ash (ISSA) as a cementitious binder by lime activation. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118856. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118856>

9.ANEXOS

ANEXO 1 lluvia de ideas, posibles propuestas de proyectos de investigación

Idea	Aspectos importantes identificados	Aspectos de mejora
1.Desarrollar un cemento a partir de materiales reciclados	Se conoce que gran parte de los materiales contienen elementos químicos que pueden ser usado como materia prima.	Determinar la viabilidad del proyecto. Determinar la materia prima Determinar costos
2.Uso de frutas típicas de Colombia para la creación de bebidas alcohólicas	El continente americano posee el 60% de frutos y granos el mundo, posee las condiciones para producir diferentes azúcares que pueden ser usado para producir alcohol	Determinar el o los frutos/granos óptimos para el proceso. Determinar la cantidad de alcohol producido -. Determinar costos.
3. Materiales de construcción desarrollados a partir del reciclaje de vertederos, construcciones y residuos de distinto origen	En la última década se ha venido popularizando el termino de minas urbanas, haciendo alusión al material o productos que se creía tenían una vida útil determinada y que llegado este punto no eran más que desechos. Cosa que ha cambiado en función de que se les ha dado un nuevo aprovechamiento a los pequeños componentes y partes de este tipo de "residuos", como bien sería losmetales de diferentes tipos de chatarra, los chips-microchips de dispositivos electrónicos y el cartón y papel de distinto tipo de celulosa.	Se aliviará un poco el sobrecupo en los vertederos y basureros locales, así como la contaminación visual y de fuentes de tierra, aire y agua por asentamiento prolongado de cierto tipo de materiales
4. Implementación de un aplicativo para realizar transacciones directamente con los campesinos y demás productores nacionales	Los intermediarios en los mercados nacionales de gran rubro, se llevan la mayor parte de las ganancias al hacer de puentes de comunicación entre el campesino/productor nacional y el consumidor final. Abusando la mayoría de las veces del primero quien es que se encarga de realizar la mayor parte del trabajo en la obtención del producto y que a su vez obtiene la menor ganancia	Sistematización de un mercado que lleva años realizándose al contando y tratos hechos bajo palabra Evitar que se desperdicie la producción por no haber compradores o que por razones económicas el producto final este muy desvalorizado en el mercado.
5. Puestos de captación de CO ₂ ubicadas estratégicamente en la ciudad y posterior conversión de este material	Solventar uno de los principales problemas en las megaciudades, las emisiones de gases de efecto invernadero que no solo deterioran progresivamente la capa de ozono, sino que en función del material particulado afecta la salud de la población a tal grado de provocar complicaciones sanitarias y en casos extremos causar la muerte.	En función de la captación lograda se pueden emplear varios proyectos sostenibles sobre el nuevo uso de la materia prima (CO ₂) Se abren las puertas a un mercado circular e inclusivo poco explorado en el país y región.

ANEXO 2 matriz MET, cemento.

producto 1: Ladrillo			
1. Etapa de producción			
Compra de los materiales, molienda, tamizado, dosificación, formación del molde, Fraguado			
material o proceso	cantidad	indicador	análisis grupal
cenizas de bagazo	2 kilos	Extraído de la quema de la caña de azúcar	Pueden ser ceniza también de la quema de celulosa
Cemento	300 gramos	Genérico	Portland de tipo 1
Bentonita	100 gramos	genérico	
Arena	1 kilo	Con un porcentaje de agua	
cal	1kilo	genérico	
arena			
2. Uso			
material o proceso	cantidad	indicador	análisis grupal
Molino	2	Tamaño de partícula	Debe permitir partículas en del orden micrones
Tamizador	2	Malla de tamaño	Que permita separar partículas de tamaño 200 micras
Bloque de enclavamiento que machineQMR2-40	1	Numero de molde	Que permita separar partículas de tamaño 200 micras
3. Energía			
material o proceso	cantidad	indicador	análisis grupal
agua	x	litros	depende del Usado para la mezcla y para el fraguado
desechos	cantidad	indicador	en la formación de este ladrillo no se genera ningún tipo de residuo
energía	desconocido	watts	Depende si la maquina es manual o automática

ANEXO 3 matriz MET, materiales de construcción.

producto 1: Materiales de construcción			
1. Etapa de producción			
Material o proceso	Cantidad	Indicador	Análisis grupal
Reutilización de vidrio	100%	Material solido inorgánico duro y quebradizo. Densidad 2.500kg/m3 punto de ablandamiento 730C Conductividad térmica 1.05 w/m2	
Reutilización de acero	100%	densidad media 7850 kg /m punto de ebullición 3.000c Maleable	
Escombros	100%	El tamaño de los escombros es muy heterogéneo y depende del tipo de técnica de demolición	
Yeso	100%	Densidad 2.32g/cm3 dureza 2	
2. uso			
Material o proceso	Cantidad	Indicador	Análisis grupal
Convertir el vidrio en fibra de vidrio reincorporándolo al asfalto.	60% cemento 40% Vidrio	Densidad 2,58 dilatación térmica 5,4 Tasa de ablandamiento 846c	
usando el vidrio quebrado con concreto para la creación de pisos y encimeras de granito	70% cemento 30% vidrio	densidad 2.63 y 2,75 resistencia a la presion entre 1.000 y 1.400 k por cm2	
Acero Fabricado a partir del reciclaje de chatarra utilizando hornos eléctricos cuando se recicla el consumo de electricidad es 80 % menor.	100% acero	densidad media de 7850kg/m3 punto de fusión 1.375 c punto de ebullición 3.000c	
reutilización de escombros para la creación de cemento	100%cemento	densidad 3.15g/cm3 resistencia a la compresión 220 en cubos con aristas de 5.08 cm	
3.Residuos			
Material o proceso	Cantidad	Indicador	Análisis grupal
Ácido sulfhídrico al reciclar de manera incorrecta el yeso es inflamable y altamente toxico	100%		

ANEXO 4. Relaciones de puntos de viabilidad cemento.

producto 1: cemento			
correspondencia con La gestión ambiental	si	x	no
critérios por considerar	nota	ponderación	
capacidad productiva:	95	60,0%	
1: adquisición, transporte y recepción de la materia prima necesaria, para llevar a cabo el proceso	50		
2: maquinaria, capacitación - técnicas y lugar de elaboración, para llevar a cabo la producción	45		
viabilidad del proyecto(sostenibilidad)	100	30%	30
1. realizar el proceso a modo de que se obtenga una ganancia, se logre solventar y solucionar un problema ambiental o de desechos que afectan al campo laboral que se a bordo de la mano de la comunidad afectada, buscando un beneficio mutuo	70		
2. limitaciones impuestas bajo la normativa colombiana, licencias de operación, costos del proceso (nómina de la empresa, capacitaciones, imprevistos, auditorias para mejora y/o corregimiento del proceso	30		
marketing	90	10%	9
1.medios de difusión para hacer conocer nuestro proyecto (ferias, congresos, charlas)	45		
2. adquisición de inversionistas, empresas interesadas apoyo de la universidad	45		
ecodiseño			
7			
8			
evaluación final:	96		

ANEXO 5. Relaciones de puntos de viabilidad materiales de construcción.

producto 2: materiales de construcción			
correspondencia con La gestión ambiental	si	x	no
criterios por considerar	nota	ponderación	resultado
capacidad productiva:	15	60,0%	9
1: adquisición, transporte y recepción de la materia prima necesaria, para llevar a cabo el proceso	10		
2: maquinaria, capacitación - técnicas y lugar de elaboración, para llevar a cabo la producción	5		
viabilidad del proyecto(sostenibilidad)	20	30%	6
1. realizar el proceso a modo de que se obtenga una ganancia, se logre solventar y solucionar un problema ambiental o de desechos que afectan al campo laboral que se a bordo de la mano de la comunidad afectada, buscando un beneficio mutuo	15		
2. limitaciones impuestas bajo la normativa colombiana, licencias de operación, costos del proceso (nómina de la empresa, capacitaciones, imprevistos, auditorias para mejora y/o corregimiento del proceso	5		
marketing	70	10%	7
1.medios de difusión para hacer conocer nuestro proyecto (ferias, congresos, charlas)	35		
2. adquisición de inversionistas, empresas interesadas apoyo de la universidad	35		
Evaluación final			22