



Utilización de los residuos de la extracción de carbón y del proceso de coquización junto con desechos plásticos, como alternativa de obtención de materiales.

Use of Waste From the Extraction of Coal and Coking Process With Plastic Waste as Alternative Materials Extraction.

María Del Pilar Triviño-Restrepo^{a*}, Eduardo Gil-Lancheros^a.

Recibido: Julio 15 de 2015
Recibido con revisión: Septiembre 14 de 2015
Aceptado: Diciembre 01 de 2015

^{a*}Universidad Pedagógica y Tecnológica
de Colombia
Facultad de ingeniería-ingeniería metalurgia
Tunja, Boyacá
Colombia
Avenida Central del Norte 39-115
Tel.: (57+8) 7405626
eduardogillancheros@hotmail.com

Energética 46, diciembre(2015), pp.85-95

ISSN 0120-9833 (impreso)
ISSN 2357 - 612X (en línea)
www.revistas.unal.edu.co/energetica
© Derechos Patrimoniales
Universidad Nacional de Colombia



RESUMEN

En la industria de extracción y procesamiento del carbón existen diversos materiales y subproductos de desecho que acarrear serios problemas de contaminación en aire, suelos y en fuentes hídricas que afectan la región del municipio de Samacá (Boyacá, Colombia) y especialmente a sus habitantes. Este proyecto tuvo como foco de atención la obtención de un material compuesto a partir de los residuos de la minería del carbón y residuos poliméricos, con el fin de contribuir a la solución del problema ambiental. Se buscó obtener un material compuesto con un aglomerante (polímero) y un aglomerado (residuos de la minería) que unidos pudieran ser utilizados en el sector de la construcción; para ello se realizó una serie de actividades para identificar los residuos a usar, caracterizar sus propiedades físico-químicas, establecer las composiciones de las mezclas de los materiales, conformar el material compuesto, analizar las características físico-mecánicas, comparar con materiales existentes y finalmente con los resultados se formuló su posible uso dentro del sector de la construcción.

PALABRAS CLAVE

Residuos, Minería, Materiales.

ABSTRACT

In the industry of coal extraction and prosecution, there are different waste materials and subproducts causing serious pollution problems in land and water sources that affect the town of Samacá, Boyacá Colombia and especially to its population This Project had an attention's focus the obtaining of a composite material from the mining's coal wastes and the plastic wastes in order to help to solve the problem of environmental pollution. It seeks to obtain a composite material with a binder (polymer) and a pellet (mining waste), together can be used in the construction industry. There were performed different activities that defined the elements of the investigation; as is, the determination of residues used, defined its physicochemical properties, the proportions of each material, the methods of shaping the material, the physical and mechanical characteristics, the comparison with existing materials and finally with the outcomes it was determinate the possible use of it in the construction industry.

KEYWORDS

Wastes, Mining, , Materials.

1. INTRODUCCIÓN

La industria de la minería es parte importante del desarrollo de un país, pero esta actividad trae consigo problemas ambientales pues se generan diferentes residuos que afectan a los habitantes la región donde se desarrolla la extracción minera. Es el caso de las empresas carboneras del municipio de Samacá (Boyacá, Colombia), catalogado como uno de los municipios de mayor producción de coque en el país, cuyas actividades económicas generan altos índices de contaminación del suelo, aire y agua; siendo este municipio uno de los más contaminados del departamento; es emitido dióxido de carbono por más de 600 hornos y aguas ácidas con PH entre 2,7 y 7,8 son vertidas a fuentes hidrográficas, [Bachmann & Zachmann 2001] además toneladas de residuos de mina y hornos son acumulados diariamente. Esta situación se ha dado por que al explotarse el carbón en minas bajo tierra es necesario extraer junto con el carbón residuos como roca, tierra, agua y madera, a los cuales actualmente no se les da uso adecuado fuera de la mina, por otra parte, en los procesos de coquización del carbón se generan cenizas que tienen poco mercado y se les acumulan en los patios de las empresas.

Varios experimentos se han llevado a cabo mediante el uso de los residuos de carbón para aplicarlos en la industria de la construcción. Residuos de carbón como las cenizas volantes generados en termoeléctricas fueron utilizadas para desarrollar cementos especiales y para la fabricación de ladrillos [Minichelli et al., 2008] a partir de estudios en varios países como China se ha podido aprovechar 600 millones de toneladas de cenizas y rezagos de calderas que se generan anualmente, para ser usadas como material de aporte en construcciones y como agregado para la fabricación de ladrillos, con un alto grado de calidad y resistencia, factores importantes en el campo de la construcción [Vinai et al., 2013] con el aprovechamiento de los residuos del carbón es posible la obtención de componentes básicos para la producción de yeso y cemento portland materiales fundamentales para el desarrollo de elementos prefabricados para la construcción de edificaciones [Deg, 2008; Telesca et al., 2013] de antemano se ha demostrado que la producción de materiales de construcción a partir de residuos del carbón es económica [Caponetto & De Francisci, 2013] y técnicamente sostenible pues se logra obtener materiales de calidad y a bajo costo [Reijnders, 2007] el uso de materiales de residuo está potenciando la eco arquitectura moderna [Cao, 2001].

Otros estudios han logrado determinar la posibilidad de usar los residuos del carbón para la obtención de asfaltos en caliente demostrando resultados positivos para la pavimentación de vías mediante pruebas físicas y mecánicas [Modarres & Rahmanzadeh, 2014], asfaltos obtenidos mediante la mezcla con emulsiones asfálticas [Modarres & Ayar, 2014] además se han podido

desarrollar otros elementos cerámicos útiles con los residuos del carbón [Little, et al., 2008] creando materiales de construcción sostenibles [Reva, et al., 2012] materiales creados industrialmente y que podrían llegar a una comercialización en masa, como son los llamados ecobricks (ladrillos ecológicos) [Ahmari & Zhang, 2012] son cuerpos sólidos creados ya sea a partir de ceniza de carbón llevada a cocción [Marabini, et al., 1998], mezclada con concreto o usada como material de relleno en botellas de PET [Taaffe, et al., 2014] son muchas las posibilidades para el aprovechamiento de estos materiales.

Teniendo en cuenta lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo el desarrollo de un material compuesto a través de la exploración y uso de residuos de minería y los residuos plásticos de la región, conformando un material compuesto con características físico-mecánicas adecuadas para ser utilizadas en la industria de la construcción sostenible. [Carlos, et al., 2012] planteando una alternativa para la solución de los problemas de contaminación de las regiones mineras.

2 MATERIAL Y METODOS

2.1. Metodología

2.1.1 Exploración

En esta fase se caracterizó los residuos generados durante la extracción de carbón y la producción de coque, también se identificó los residuos plásticos que pudieran ser usados en el estudio, también en esta fase se pudo desarrollar análisis a los residuos de la minería para determinar sus propiedades.

2.1.2. Experimentación

En esta fase se determinó los materiales y proporciones de cada uno de los residuos además se estableció el método de conformado del material compuesto.

2.1.3. Diseño experimental

En esta fase se conformó el material y se realizaron las probetas para posteriormente ser sometidas a pruebas físicas y mecánicas.

2.1.4. Pruebas físicas y mecánicas

En esta etapa se le hicieron pruebas al material como flexión, compresión y microscopía, para determinar las características del material compuesto y su posible uso.

2.2. Materiales

2.2.1. Residuos de minería

Para el desarrollo de la investigación se adelantó una fase previa en la cual se identificaron los diferentes residuos que se producen durante la explotación y transformación del carbón. En las minas se pudieron identificar residuos como estériles, agua ácida y residuos de madera, por otra parte en los hornos de coquización se identificó la ceniza de coquización, residuos de ladrillo y CO₂. Como materiales del proyecto se seleccionaron los estériles y la ceniza de coquización por ser los materiales que se desechan en un

gran porcentaje durante la extracción y transformación del carbón; por ejemplo, por cada 900 toneladas de carbón extraído se produce en promedio 100 toneladas de estériles y 24 hornos de coquización producen aproximadamente 10 toneladas de ceniza al mes.

Para este proyecto se caracterizaron los estériles de minería de tres diferentes minas, a los cuales se le hicieron análisis, pruebas que también se le hicieron a la ceniza de coque de tres diferentes plantas de coquización del municipio de Samacá. Las pruebas fueron desarrolladas en el laboratorio de carbones de la Universidad Pedagógica de Colombia.

2.2.2. Análisis próximos

Con estas pruebas se pudo caracterizar los materiales de residuo de la minería, pudiéndose obtener los porcentajes de volátiles, humedad y carbono fijo de estériles de mina y de ceniza de coquización.

| Análisis estériles | | | | |
|--------------------|---------|---------|-----------|--------------|
| Muestra mina | Humedad | Cenizas | Volátiles | Carbono fijo |
| MD | 1,25% | 90,16% | 8,50% | 0,35% |
| MP | 1,10% | 93% | 7,40% | 0,12% |
| MB | 3,32% | 91,53% | 3,10% | 2,20% |

Tabla 1: Análisis Estériles
Fuente. Elaboración propia

| Análisis Ceniza de Coque | | | | |
|--------------------------|---------|---------|-----------|--------------|
| Muestra Planta | Humedad | Cenizas | Volátiles | Carbono fijo |
| PD | 9,91% | 54,85% | 8,55% | 26,60% |
| PP | 9,60% | 33,54% | 7,30% | 49,50% |
| PN | 4,68% | 28,8% | 7,53% | 56,86% |

Tabla 2: Análisis Ceniza de Coquización
Fuente. Elaboración propia

2.2.3. Análisis TGA

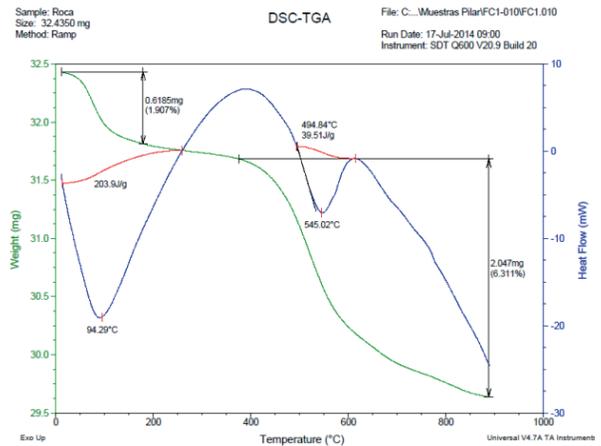


Ilustración 1: TGA Roca
Fuente. Elaboración propia

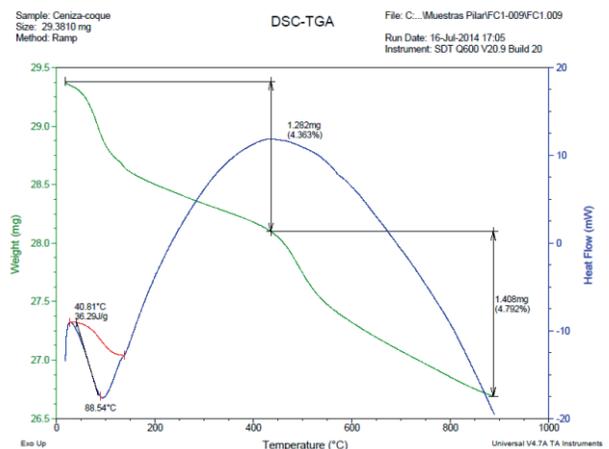


Ilustración 2 TGA Ceniza
Fuente. Elaboración propia

Podemos observar el comportamiento de los residuos a las pruebas de termo gravimetría.

2.3. Residuos plásticos (Material aglomerante)

El estudio también se centra en el uso de un polímero de desecho para poder unirlos a los residuos de minería y poder conformar el material. Se identificaron diferentes residuos plásticos como el Polietileno Tereftalato PET, polietileno de alta densidad HDPE, Polipropileno PP, Poli estireno expandido PS, Polietileno de baja densidad LDPE y otros. Se seleccionaron como materiales a usar dentro de la investigación el PP y el PS por ser residuos abundantes y por sus propiedades termoplásticas que permiten diferentes alternativas de manejo y moldeo del material. Los dos polímeros se trabajaron en diferentes procesos uno térmico (PP) y uno físico (PS).

2.4. Mezcla de materiales

La siguiente fase en la investigación consistió en determinar el procedimiento de conformado del material; para ello se establecieron tres tipos de conformación del material:

- Material sometido a temperatura de fusión de polipropileno y posterior prensado a presión.
- Material sometido a altas temperaturas
- Material obtenido mediante proceso físico de disolución con solventes y evaporación

2.5. Conformado del material

Material sometido a temperatura de fusión y prensado a presión.

Por una parte se estableció un proceso en el cual el plástico se somete a su temperatura de fusión (PP 180 0C) y donde se agregan diferentes proporciones de cada material de mina, esto permite al polímero actuar como aglomerante y a los residuos de la minería actuar como aglomerado. Para poder conformar el material es necesario mezclar los componentes previamente en frío, llevarlo a temperatura por 15 minutos y hacer un mezclado constantemente para posteriormente someterlo a presión.



Ilustración 3: PP y residuos de minería

Fuente. Elaboración propia



Ilustración 4: PP sometido a temperatura

Fuente. Elaboración propia

La conformación del material va determinada por el porcentaje de aglomerado (residuos de minería) y aglomerante (polímero) por ello se realizan varias probetas con diferentes porcentajes de cada uno.

| Probeta | % residuos minería | % PP |
|---------|--------------------|------|
| 1 | 50 | 50 |
| 2 | 40 | 60 |
| 3 | 60 | 40 |
| 4 | 35 | 65 |
| 5 | 30 | 70 |
| 6 | 20 | 80 |
| 7 | 15 | 85 |

Tabla 3: Proporciones residuos de minería y PP

Fuente. Elaboración propia

Es necesario mencionar que en estas mezclas los residuos de minería están compuestos por 50% de estériles y 50% de ceniza de coquización.

2.5.1. Material sometido a altas temperaturas

En este procedimiento el material se mezcla previamente y se lleva a una mufla para quemarlo a altas temperaturas, el polímero PP se mezcla con los residuos de minería tamizados en diferentes granulometrías, tanto ceniza como roca se llevaron a malla 30, 16 y 8 y posteriormente son aglomerados simulando el proceso de fabricación de los ladrillos.

| Probeta | Proporciones de mezclas de polipropileno y residuos de mina | | | | | | | H2O% sobre total mezcla |
|---------|---|----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|
| | % PP | % Roca Malla 8 | % Roca Malla 16 | % Roca Malla 30 | % Ceniza Malla 8 | % Ceniza Malla 16 | % Ceniza Malla 30 | |
| | 1 | 10 | 28 | 14 | 28 | 0 | 0 | |
| 2 | 5 | 0 | 30 | 55 | 0 | 0 | 10 | 22% |
| 3 | 0 | 0 | 30 | 60 | 0 | 0 | 10 | 22% |
| 4 | 5 | 0 | 60 | 25 | 0 | 0 | 10 | 22% |

Tabla 4: Mezclas de Polipropileno y residuos de minería

Fuente. Elaboración propia

Las probetas del material se llevaron a una mufla a 10000C por aproximadamente 6 horas, tiempo del ciclo que hace la mufla para llegar a esta temperatura.

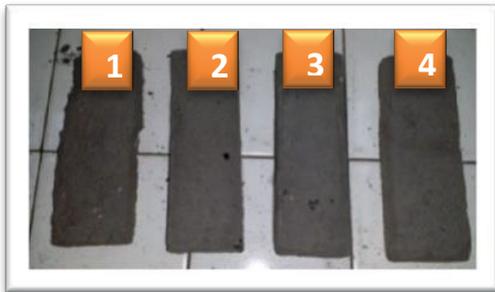


Ilustración 5: Cuerpos de material para someter a temperatura.
Fuente. Elaboración propia



Ilustración 6: Material en mufla
Fuente. Elaboración propia



Ilustración 7: Material cocido
Fuente. Elaboración propia

2.5.2. Material obtenido mediante proceso físico

En este procedimiento se trabajó con Poli estireno de fácil disolución y adquisición pues es un residuo común en la región, para disolverlo se ensayó con diferentes solventes compatibles: como gasolina, thinner, acetona, estireno entre otros, dando mejores resultados con el uso de acetona. El Poli estireno, al disolverse en la acetona, actúa como aglomerante y los residuos de minería llevados a malla 60 y 80 son el aglomerado.

Es posible diluir 75g de PS en 100g de acetona resultando un líquido viscoso de color blanco translúcido, que posteriormente se puede mezclar fácilmente con los residuos del carbón.



Ilustración 8: Acetona y poli estireno
Fuente. Elaboración propia



Ilustración 9: Acetona poli estireno y residuos de carbón
Fuente. Elaboración propia



Ilustración 10: Vertido de mezcla
Fuente. Elaboración propia



Ilustración 11: Material obtenido
Fuente. Elaboración propia

2.6. Selección de proceso de conformación de material

El procedimiento que arrojó mejores resultados para obtener el material fue el realizado químicamente, usando acetona como disolvente y poli estireno como matriz polimérica para la mezcla.

2.7. Elaboración de proporciones del material

La acetona actúa como disolvente del Poli estireno, así que para determinar las proporciones se indica una disolución constante que es: de 60% de acetona y 40% de poli estireno para todas las mezclas.

2.8. Elaboración de probetas para ensayos mecánicos

2.8.1. Elaboración de probetas para pruebas de dureza



Ilustración 13 Probetas dureza

Fuente. Elaboración propia

Se elaboraron probetas planas en forma de disco con un diámetro de 80mm y espesor de 5mm para las 8 proporciones propuestas.

2.8.2. Prueba de dureza Rockwell



Ilustración 14: Durómetro Time del Laboratorio Metalurgia UPTC

Fuente. Elaboración propia

La prueba de dureza se realizó en el laboratorio de metalurgia de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. La carga fue de 980.7N

Proporciones de mezcla para la fabricación de probetas para pruebas mecánicas Tamiz 60

| Probeta | Disolución poli estireno en acetona | | Porcentaje ceniza coque | Porcentaje estériles | Peso Total |
|---------|-------------------------------------|--------|-------------------------|----------------------|------------|
| | Acetona 60% | PP 40% | | | |
| 1 | 50% | | 50% | 0% | 200g |
| 2 | 70% | | 15% | 15% | 200g |
| 3 | 60% | | 20% | 20% | 200g |
| 4 | 50% | | 0% | 50% | 200g |

Tabla 5: Proporción mezcla tamiz 60

Fuente. Elaboración propia

Proporciones de mezcla para la fabricación de probetas para pruebas mecánicas Tamiz 80

| Probeta | Disolución poli estireno en acetona | | Porcentaje ceniza coque | Porcentaje estériles | Peso Total |
|---------|-------------------------------------|--------|-------------------------|----------------------|------------|
| | Acetona 60% | PP 40% | | | |
| 5 | 50% | | 50% | 0% | 200g |
| 6 | 70% | | 15% | 15% | 200g |
| 7 | 60% | | 20% | 20% | 200g |
| 8 | 50% | | 0% | 50% | 200g |

Ilustración 12: Proporción mezcla tamiz 80

Fuente. Elaboración propia

Se tomaron 3 medidas en diferentes zonas de la probeta en escala Rockwell B, posteriormente se promedian estos valores y resultan los datos que se muestran en la siguiente tabla 6.

| Orden valores de dureza de mezclas | |
|------------------------------------|--------------------|
| | Promedio dureza Rb |
| 7 | 78 |
| 4 | 68.5 |
| 8 | 58.6 |
| 2 | 41.8 |
| 5 | 31.5 |
| 1 | 29.3 |
| 3 | 25.3 |
| 6 | 14.5 |

Tabla 6 Orden prueba de dureza
Fuente. Elaboración propia

La prueba de dureza realizada mostró que la mezcla más dura es la 7 conformada por 60% de la mezcla de acetona y poli estireno, 20% de ceniza de coquización y 20% de estériles de mina.

2.8.3. Elaboración de probetas para pruebas de flexión



Ilustración 15 Probetas flexión
Fuente. Elaboración propia

Las pruebas de flexión se realizaron en el laboratorio de materiales de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

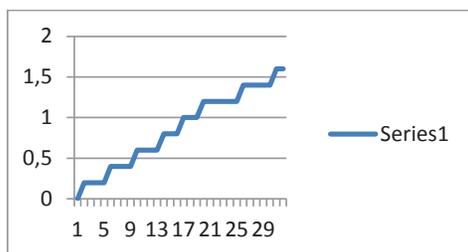


Ilustración 16: Gráfica de pruebas de flexión
Fuente. Elaboración propia

| Orden valores de flexión de mezclas | | | |
|-------------------------------------|--------|-------------|----------|
| Posición | Mezcla | Promedio kg | Periodos |
| 1 | 2 | 1.3 | 28 |
| 2 | 3 | 1.3 | 22 |
| 3 | 1 | 1.2 | 29 |
| 4 | 5 | 1.1 | 21 |
| 5 | 6 | 1.1 | 20 |
| 6 | 8 | 1 | 17.5 |
| 7 | 7 | 0.9 | 18.5 |
| 8 | 4 | 0.4 | 10 |

Ilustración 17: Orden prueba de flexión
Fuente. Elaboración propia

La prueba de flexión no mostró diferencias significativas en cuanto a los valores de resistencia, la probeta que más resistió fue la 2 que contenía 70% de la mezcla de acetona y poli estireno y 15% de estériles más 15% de ceniza de coquización.

2.8.4. Elaboración de probetas para pruebas de compresión



Ilustración 18: Probeta compresión
Fuente. Elaboración propia

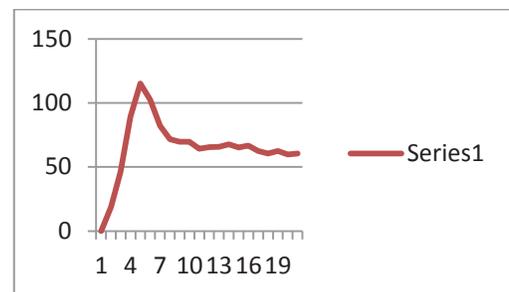


Ilustración 19 Grafica prueba compresión
Fuente. Elaboración propia

Grafica de resistencia a la compresión de una de las probetas, numero 4 presentando valores superiores a 100 kg

| Orden valores compresión de mezclas | | |
|-------------------------------------|--------|-------------|
| Posición | Mezcla | Promedio kg |
| 1 | 4 | 97 |
| 2 | 5 | 92.3 |
| 3 | 8 | 70.8 |
| 4 | 1 | 64.6 |
| 5 | 6 | 43.1 |
| 6 | 7 | 24.8 |
| 7 | 2 | 21.8 |
| 8 | 3 | 5.8 |

Tabla 7: Orden ensayo de compresión

Fuente. Elaboración propia

La prueba de compresión permitió evidenciar valores significativos, mostrando que el material posee mejor resistencia a compresión que a flexión, siendo la mezcla que más resistió, la número 4 que posee un 50% de la mezcla de acetona y poli estireno y 50% de estéril de mina

2.9. Selección de la mezcla más resistente a los ensayos

Para cada mezcla se elaboraron 3 probetas y se promedió sus valores máximos, valores que podemos observar en cada una de las tablas anteriores, donde se puede ver que en cada prueba hubo una mezcla diferente que predominó, lo que lleva a determinar la mezcla mediante análisis estadístico descriptivo, el cual presentó el siguiente orden según su comportamiento en cada ensayo mecánico.

| Orden descendente según posición en cada prueba | |
|---|--------|
| Posición | Mezcla |
| 1 | 4 |
| 2 | 5 |
| 3 | 2 |
| 4 | 8 |
| 5 | 7 |
| 6 | 1 |
| 7 | 3 |
| 8 | 6 |

Tabla 8 Orden de cada mezcla según pruebas realizadas

Fuente. Elaboración propia

El análisis estadístico, mostró que la mezcla 4 fue mejor promedio en todas las pruebas y si tenemos en cuenta la prueba de compresión como la más relevante por sus resultados cuantitativos, la mezcla 4 sobresalió de las demás mezclas. A la par, la mezcla 5 posee valores similares lo que también haría posible su selección, pero esta, no destacó sobre las demás en ningún ensayo.

2.10. Descripción del material obtenido

De todas las mezclas se obtuvo un material sólido de color negro y con superficie brillante, también se puede notar en su superficie poros.

- El material no presenta olor, es suave al tacto y tiene una estructura liviana. Es un material compuesto con características de cerámica y plástico.
- El material puede ser triturado y recalado en varias ocasiones utilizando disolvente.
- El material al no ser compactado en su secado, tiende a expandirse y a generar cavidades en su interior.

2.10.1. Micrografías del material compuesto

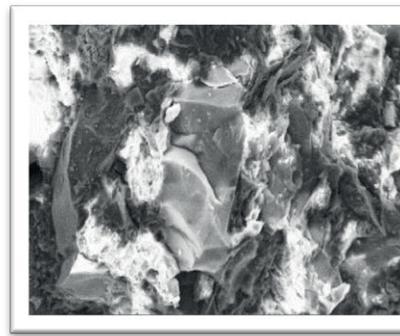


Ilustración 21 Micrografía Mezcla 4 entera

Fuente. Elaboración propia

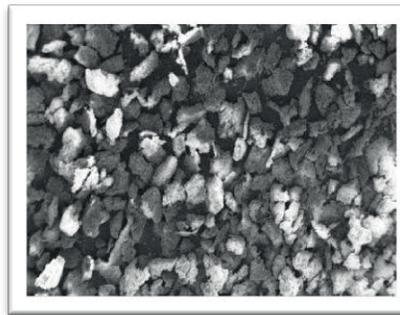


Ilustración 20 Micrografía Mezcla 5 en polvo.

Fuente. Elaboración propia

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

- En las diferentes pruebas realizadas mezclando PP residuos de minería en caliente se pudo observar que el material se conformaba mejor a mayor cantidad de polímero agregado, y que en porcentaje de PP inferiores al 50% del total de la

mezcla el material no se conforma, además el material no se fusiona uniformemente siendo un material rustico e irregular, por esto el material presenta fallas en algunas zonas de su superficie, También se puede notar que hay desprendimiento de material al simple tacto lo que hace frágil el material. En algunas áreas se puede observar espacios donde se acumula el polímero y no se mezcla con los residuos de la minería por lo anterior es necesario controlar la temperatura de fusión del material para que se aprovechen al máximo sus propiedades.



Ilustración 22: Mezcla de PP y residuos de minería
Fuente. Elaboración propia



Ilustración 23 Material obtenido
Fuente. Elaboración propia

- En el experimento realizado con los residuos de minería sometidos a alta temperatura se pudo observar que al conformar las probetas, los materiales gruesos (malla 8), estos no permitieron conformar bloques rígidos, pues las probetas se deshacen antes de su secado, además se puede ver que la mezcla de residuos de minería y el polímero aglomerado en agua no son lo suficientemente consistentes, pues les falta plasticidad para poder obtener cuerpos solidos rígidos. Para mejorar las características del material se recomienda agregar arcillas apropiadas para fabricar cerámicos a los residuos y así conformar cuerpos más rígidos.
- En el proceso de obtención del material mediante proceso químico material se fabrica fácilmente sin la aplicación de energía externa, solamente con el trabajo del disolvente (acetona), además el material resultante es homogéneo, con superficie brillante y color negro también es necesario decir

que el material no presenta desprendimientos ni grietas causadas por su conformación a diferencia de los anteriores procedimientos.

- En las mezclas para determinar los porcentajes se pudo observar que las mezclas con mayores porcentajes de estériles poseen una mayor dureza y las mezclas con mayor cantidad de polímero y acetona muestran menos dureza, además el material por sus características porosas muestra variabilidad en el ensayo dependiendo de la zona donde se tome la medición también se puede observar que no se evidencia una mezcla sobresaliente por la granulometría pues hay un intervalo entre las dos granos usados malla 80 y 60.
- Durante las pruebas de flexión se percibió que el material es muy sensible a la flexión por lo que no presenta valores significativos y presenta ruptura con facilidad, además las mezclas que poseen como aglomerado estéril son menos resistentes a la flexión, mientras que las que contienen ceniza muestran un mejor comportamiento.
- Las probetas que contienen estériles mostraron mayor resistencia a la compresión, esto parece ser debido a que presentan menos porosidades, además nuevamente la granulometría del material no influye en su resistencia pues muestra intervalos entre las probetas de malla 80 y 60. También se pudo observar que las mezclas que poseen porcentajes similares entre el aglomerado y el aglomerante mostraron mayor resistencia, y que los estériles y la ceniza tienen mejor comportamiento por separado.
- Analizando estadísticamente los datos arrojados durante las pruebas físicas y mecánicas se pudo determinar que la primera mezcla es la numero (4) que posee 50% de acetona y poli estireno y 50% de estériles y la segunda es la numero (5) posee 50% de acetona y poli estireno y 50% de ceniza de coquización, lo anterior permite concluir que estériles y ceniza tienen mejor comportamiento por separado.
- El material usado como disolvente del poli estireno expandido fue la Acetona un químico no toxico, pero con restricciones de compra, se recomienda por lo tanto explorar otros disolventes de origen natural y de libre adquisición o experimentar con productos derivados.
- Es recomendable indagar sobre otros materiales poliméricos que puedan ser usados dentro del material compuesto, al igual que identificar diferentes métodos de conformado del material.

- También se recomienda probar diferentes granulometrías de los residuos dentro de la mezcla, simulando el conformado del concreto.
- Es necesario realizar ensayos más específicos al material para poder determinar aplicaciones y ventajas del material frente a otros ya existentes.
- Es importante crear vínculos inter institucionales para buscar soluciones y aplicaciones para los diferentes agentes contaminantes que se generan durante la explotación y transformación del carbón, y así poder incentivar el uso de tecnologías limpias con el aprovechamiento al máximo de los recursos de la región.
- La obtención de materiales a partir de residuos de minería es factible y es apropiado buscar nuevos procesos para aprovechar al máximo estos recursos y disminuir la contaminación.

3.1. Posibles aplicaciones del material en la construcción



Ilustración 24: Teja y cubiertas
Fuente. Elaboración propia



Ilustración 25 Enchapes
Fuente. Elaboración propia

Para poder realizar estos productos, es necesario hacer varias pruebas al material como son: permeabilidad, impacto, resistencia a temperatura y otras que sean necesarias según norma técnica para estos elementos constructivos.

4. CONCLUSIONES

- La minería del carbón ofrece muchos subproductos que la industria de hoy no está aprovechando, al contrario, están generando contaminación. Esto puede cambiar si se indaga acerca de aplicaciones alternativas para estos residuos.
- Es posible mejorar las características del material obtenido, manejando las variables en cuanto aditivos proporciones y proceso de obtención.
- Para un mejor rendimiento del material resulto apropiado mezclar los residuos de minería por separado, estéril y ceniza de coquización así el material es más resistente.
- En el proceso de fabricación del material es posible la recuperación del 17.7% de acetona lo que permite un mejor aprovechamiento de los materiales.
- Las características del material permiten su reciclaje en un 100% con solo agregar disolvente, esto facilita la obtención de un material sostenible y que no genera material contaminante.
- El material tiene un bajo índice de flexibilidad por lo que se recomienda ser usado en aplicaciones donde no esté sometido a este esfuerzo.
- El proceso de obtención de material mediante el sometimiento a altas temperaturas, no resultó eficiente por el consumo de energía y por el resultado obtenido; por lo anterior el proceso se debe enfocar a la reducir la energía usada y el agregar material que mejore las propiedades finales del material.
- El uso del polipropileno como aglomerante del material compuesto es viable pero bajo ambientes controlados y permitiendo una mezcla homogénea del material mediante mecanismos automatizados.
- La disolución del poli estireno permite un mezclado homogéneo de los residuos de minería lo que permite obtener un material compacto y superficialmente homogéneo.
- El proceso de fabricación del material más viable es el químico, puesto que no demanda el uso energía y no genera agentes contaminantes, además de ser un procedimiento sencillo y práctico.

REFERENCIAS

- Ahmari, S., & Zhang, L. (2012). Production of eco-friendly bricks from copper mine tailings through geopolymerization. *Construction and Building Materials*, 29, 323–331. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.10.048

- Bachmann, T. , Friese, K., & Zachmann, D. . (2001). Redox and pH conditions in the water column and in the sediments of an acidic mining lake. *Journal of Geochemical Exploration*, 73(2), 75–86. doi:10.1016/S0375-6742(01)00189-3
- Cao, W. (2001). Ecological building materials, eco-architecture, development strategy. *Xinjianzhu/New Architecture*, (78), 74–77. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0034771221&partnerID=40&md5=245063774cdc98ebbc7cfa1eafb7dcd8>
- Caponetto, R., & De Francisci, G. (2013). Ecological materials and technologies in low cost building systems - New techniques for clay applied to the types of buildings for housing. *International Journal for Housing Science and Its Applications*, 37(4), 229–238. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84888311605&partnerID=40&md5=069cf2743d8675f9a5f5631f85249585>
- Carlos, M., Delgado, L., Gerardo, M., & Flores, V. (2012). Materiales de Construcción Sustentables en México : políticas públicas y desempeño ambiental.
- Deg, N. (2008). Utilization of phosphogypsum as raw and calcined material in manufacturing of building products, 22, 1857–1862. doi:10.1016/j.conbuildmat.2007.04.024
- Little, M. R., Adell, V., Boccaccini, A. R., & Cheeseman, C. R. (2008). Resources , Conservation and Recycling Production of novel ceramic materials from coal fly ash and metal finishing wastes, 52, 1329–1335. doi:10.1016/j.resconrec.2008.07.017
- Marabini, A. M., Plescia, P., Maccari, D., Burrigato, F., & Pelino, M. (1998). New materials from industrial and mining wastes : glass-ceramics and glass- and rock-wool fibre, 53, 121–134.
- Minichelli, D., Maschio, S., Furlani, E., & Bru, S. (2008). Synthesis and characterization of ceramics from coal fly ash and incinerated paper mill sludge, 34, 2137–2142. doi:10.1016/j.ceramint.2007.08.002
- Modarres, A., & Ayar, P. (2014). Coal waste application in recycled asphalt mixtures with bitumen emulsion. *Journal of Cleaner Production*, 83, 263–272. doi:10.1016/j.jclepro.2014.07.082
- Modarres, A., & Rahmanzadeh, M. (2014). Application of coal waste powder as filler in hot mix asphalt. *Construction and Building Materials*, 66, 476–483. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.06.002
- Reijnders, L. A. (2007). Cleaner phosphogypsum , coal combustion ashes and waste incineration ashes for application in building materials : A review, 42, 1036–1042. doi:10.1016/j.buildenv.2005.09.016
- Reva, S. M., Usyk, I. I., Mandrikevych, O. V., & Reva, V. S. (2012). Study of high pressure influence on durability of building materials made of industrial wastes. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 1, 103–106. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84864197764&partnerID=40&md5=cfb878d40693e751dc6db450ff9b14b>
- Taaffe, J., O'Sullivan, S., Rahman, M. E., & Pakrashi, V. (2014). Experimental characterisation of Polyethylene Terephthalate (PET) bottle Eco-bricks. *Materials & Design*, 60, 50–56. doi:10.1016/j.matdes.2014.03.045
- Telesca, A., Marroccoli, M., Calabrese, D., Lorenzo, G., & Montagnaro, F. (2013). Flue gas desulfurization gypsum and coal fly ash as basic components of prefabricated building materials. *Waste Management*, 33(3), 628–633. doi:10.1016/j.wasman.2012.10.022
- Vinai, R., Lawane, A., Minane, J. R., & Amadou, A. (2013). Coal combustion residues valorisation : Research and development on compressed brick production. *Construction and Building Materials*, 40, 1088–1096. doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.11.096