

**OBTENCIÓN DE UN LADRILLO DE CONSTRUCCIÓN A PARTIR DE MEZCLAS
DE RESIDUOS MINEROS Y BASURAS DOMÉSTICAS**

PATRICIA PEÑALOZA PULIDO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES
BUCARAMANGA**

2017

**OBTENCIÓN DE UN LADRILLO DE CONSTRUCCIÓN A PARTIR DE MEZCLAS
DE RESIDUOS MINEROS Y BASURAS DOMÉSTICAS**

PATRICIA PEÑALOZA PULIDO

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Metalúrgico**

DIRECTOR:

**WALTER PARDAVÉ LIVIA
INGENIERO METALÚRGICO, MSc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES
BUCARAMANGA**

2017

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme y bendecirme a lo largo de la carrera, por darme las fuerzas para alcanzar mis objetivos.

A mi madre Susana Pulido, quien con gran esfuerzo contribuyó en la realización de este gran sueño.

A mi padre Álvaro Peñaloza (Q.E.P.D), quien no tuvo la oportunidad de verme triunfar, pero que desde el cielo comparte mi alegría.

A mis hermanos Álvaro, Ramiro y Javier, por darme lo mejor de ellos.

A mi hermana Rosalía, mi apoyo incondicional, mi compañera de lucha, este éxito es para ti, gracias por estar en los buenos y en los malos momentos.

A mis sobrinos Álvaro José, Jonathan Ramiro y Mayra Alejandra, que ven en mí un ejemplo a seguir, gracias por alegrar cada instante de mi vida y por ser mi motor.

A mis maestros por brindarme los conocimientos necesarios para el desarrollo profesional, en especial al profesor Walter Pardavé quien dirigió este logro.

A mis compañeros Robinson Velázquez, Jairo Vergel y Edwin Villamizar, excelentes personas con quienes compartí alegrías y tristezas, gracias por brindarme su amistad y su apoyo.

A mis familiares y amigos por compartir este triunfo, en especial a Johana González y Jesica López.

Patricia Peñaloza Pulido

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander por brindarnos el conocimiento necesario para el desarrollo profesional y personal.

Al ingeniero Walter Pardavé Livia, director del presente proyecto de investigación y docente de la escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales, por su colaboración y apoyo en el desarrollo de este proyecto.

A la Minera Reina de Oro por suministrar el mineral para llevar a cabo este proyecto de investigación.

A los Laboratorios del Parque Tecnológico Guatiguará por su colaboración en las pruebas de caracterización de la materia prima.

Al técnico Javier Gaitán, por su asesoría y colaboración en el manejo de los equipos del Laboratorio de Beneficio de Minerales.

Al técnico Ambrosio Carrillo Carrillo, por su colaboración en el manejo de los equipos del Laboratorio de Pirometalurgia.

Al Laboratorio de Materiales de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al docente Diego Fernando Villegas y a su auxiliar Nicolás López por su colaboración en el manejo de los equipos para realizar los diferentes ensayos mecánicos.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. ANTECEDENTES	16
2. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. RESIDUOS MINEROS	18
2.2. RESIDUOS DOMÉSTICOS	18
2.3. LADRILLOS ECOLÓGICOS	19
2.4. OBTENCIÓN DEL LADRILLO	20
3. OBJETIVOS	21
3.1. OBJETIVO GENERAL	21
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	22
4.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES	23
4.2. RECOLECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA	23
4.3. CARACTERIZACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	24
4.4. SELECCIÓN DE MEZCLAS	27
4.5. COMPACTACIÓN EN EL MOLDE	28
4.6. TRATAMIENTO AL CALOR	29
4.7. PRUEBAS AL LADRILLO OBTENIDO	29
5. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	33
5.1. CARACTERIZACIÓN DEL MINERAL DE ORO.....	33
5.2. CARACTERIZACIÓN DEL VIDRIO, PLÁSTICO, CHAMOTA Y CEMENTO	34
5.3. ENSAYO DE COMPRESIÓN	35
5.4. ENSAYO DE FLEXIÓN.....	37

5.5.	PRUEBA DE ABSORCIÓN DE AGUA.....	40
5.6.	PRUEBA DE CHOQUE TÉRMICO.....	41
6.	CONCLUSIONES.....	42
7.	RECOMENDACIONES.....	43
	BIBLIOGRAFÍA.....	44
	ANEXOS.....	45

LISTA DE FIGURAS

	pág.
FIGURA 1: PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UN LADRILLO CONVENCIONAL	20
FIGURA 2 : METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	22
FIGURA 3 : MATERIA PRIMA EMPLEADA EN LA FABRICACIÓN DE LOS LADRILLOS (RESIDUOS MINEROS Y COMPONENTES DE BASURA DOMÉSTICA).....	23
FIGURA 4 : PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DEL RESIDUO DE PLÁSTICO	24
FIGURA 5 : PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DEL RESIDUO DE VIDRIO	25
FIGURA 6 : PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DEL MINERAL AURÍFERO Y OBTENCIÓN DEL RESIDUO MINERO	26
FIGURA 7 : PROCESO DE COMPACTACIÓN DE LA MEZCLA EN EL MOLDE	28
FIGURA 8 : PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN REALIZADO A LOS LADRILLOS	30
FIGURA 9 : PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE FLEXIÓN REALIZADO A LOS LADRILLOS.....	31
FIGURA 10 : PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA REALIZADO A LOS LADRILLOS.....	32
FIGURA 11 : PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE CHOQUE TÉRMICO REALIZADO A LOS LADRILLOS.....	32
FIGURA 12 : IMAGEN DEL SEM REALIZADO AL RESIDUO MINERO.....	34
FIGURA 13 : ESQUEMA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA MEZCLAS CON TEMPERATURA MÍNIMA	35
FIGURA 14 : ESQUEMA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA MEZCLAS CON TEMPERATURA MÁXIMA	36
FIGURA 15 : ESQUEMA DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN PARA MEZCLAS CON TEMPERATURA MÍNIMA	38
FIGURA 16 : ESQUEMA DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN PARA MEZCLAS CON TEMPERATURA MÁXIMA	39
FIGURA 17 : CANTIDAD DE MATERIAL RECICLABLE RECOLECTADO POR BELLO RENACER	45

FIGURA 18 : RESULTADOS DE LA PRUEBA DE DRX PARA EL RESIDUO DE VIDRIO PULVERIZADO	46
FIGURA 19 : RESULTADOS DE LA PRUEBA DE DRX PARA EL RESIDUO DE PLÁSTICO (PET)	46
FIGURA 20 ; PRUEBA DE DRX PARA EL RESIDUO DE LADRILLO.....	47
FIGURA 21 : RESULTADOS DEL ENSAYO DE DRX PARA LOS RESIDUOS DE LADRILLO	47
FIGURA 22 : PRUEBA DE DRX PARA EL CEMENTO.....	48
FIGURA 23 : RESULTADOS DE LA PRUEBA DE DRX PARA EL CEMENTO.....	48

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1: COMPOSICIÓN DE LAS MEZCLAS	27
TABLA 2: FASES CRISTALINAS PRESENTES EN LAS COLAS DEL MINERAL AURÍFERO.....	33
TABLA 3: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA MEZCLAS CON TEMPERATURA MÍNIMA....	36
TABLA 4: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA MEZCLAS CON TEMPERATURA MÁXIMA...	37
TABLA 5: RESISTENCIA A LA FLEXIÓN PARA MEZCLAS CON TEMPERATURA MÍNIMA	39
TABLA 6: RESISTENCIA A LA FLEXIÓN PARA MEZCLAS CON TEMPERATURA MÁXIMA	40
TABLA 7: RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CHOQUE TÉRMICO REALIZADA A LOS LADRILLOS	41
TABLA 8 : RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ABSORCIÓN DE AGUA REALIZADA A LOS LADRILLOS.....	49
TABLA 9: RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS Y PRUEBAS REALIZADOS AL LADRILLO.....	50

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A: INFORME SOBRE LA RECOLECCIÓN DE MATERIAL RECICLABLE EN BUCARAMANGA.....	45
ANEXO B: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE DRX PARA EL VIDRIO, PET, CHAMOTA Y CEMENTO.....	46
ANEXO C: TABLA DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ABSORCIÓN DE AGUA	49
ANEXO D: RESUMEN DE LOS RESULTADOS.....	50

RESUMEN

TÍTULO: OBTENCIÓN DE UN LADRILLO DE CONSTRUCCIÓN A PARTIR DE MEZCLAS DE RESIDUOS MINEROS Y BASURAS DOMÉSTICAS*.

AUTOR: Peñaloza Pulido Patricia**

PALABRAS CLAVES: Mineral aurífero, Beneficio de minerales, Mesa Wilfley, Reciclaje, ladrillo de construcción

DESCRIPCIÓN:

En la actualidad la contaminación por parte de las grandes empresas y de los ciudadanos se ha extendido de manera considerable. Muchas personas no tienen claro que hacer con los desechos que se producen a diario en las diferentes actividades, es por esta razón que se fabricaron ladrillos de construcción a partir de mezclas de materiales reciclables (vidrio y plástico) y pasivos ambientales mineros.

En el transcurso del trabajo se realizó la adecuación de la materia prima, el mineral aurífero se sometió a operaciones de conminución (trituration, molienda y clasificación de tamaños), y luego se llevó a un proceso de separación gravimétrica (Mesa Wilfley), en el cual se recolectó las arenas de la Mesa Wilfley. Los desechos domésticos (plástico y vidrio) se sometieron de igual manera a operaciones de reducción de tamaño.

Una vez adecuada la materia prima, se realizaron diferentes mezclas teniendo como variables la temperatura, la cantidad de residuos domésticos y la cantidad de aglomerante. Luego se hizo la compactación de la mezcla en los moldes con el fin de darle la forma adecuada para someterlo a los diferentes ensayos.

Finalmente se obtuvieron los ladrillos de construcción, los cuales se sometieron a pruebas de tipo mecánico (ensayo de compresión y ensayo de flexión), pruebas de absorción de agua y choque térmico, utilizando para tal fin la norma técnica Colombiana NTC-4017 [1], "Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla". Una vez realizadas las pruebas se evaluaron sus propiedades, y se establecieron las diferencias con respecto a los ladrillos convencionales, además estos resultados nos permitieron proponer su posible uso en la industria.

*Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales

Director: Walter Pardavé Livia, Ingeniero Metalúrgico, MSc

ABSTRACT

TITLE: BRICKS PRODUCTION BY MIXING MINING WASTE AND RUBBISH

AUTHOR: Peñaloza Pulido Patricia**

KEYWORDS: gold ore, minerals beneficiation, wilfley table, recycling, brick

DESCRIPTION:

Nowadays, the amount of pollution produced by big fabrics, companies, and populated areas has considerably increased in the past few years; plenty of people are still not sure about what to do or how to dispose of all the rubbish that is daily produced. This idea came from that necessity, the bricks are made of the mixture of recycling materials (plastic and glass), and mining environmental passives. The project was developed in 5 stages; the first one was the adaptation of the raw materials, here the gold ore was subjected to a Comminution process (grinding, mill, and size classification) the next step was a gravity separation of the product (Wilfley table). The rubbish collected (plastic and glass) was also subjected to a size reduction process.

When the raw material was ready, different mortars were done in order to check the different variables like: temperature, and the quantity of waste and binder. After that, the mixture was compacted in molds, to give it the desired shape so it could be tested, the bricks underwent some chemical and mechanic tests (compression, modulus of ruptura), water absorption, and thermal shock, using for this purpose the Colombian technical standard NTC-4017 [1], "Methods for Sampling and Testing of Masonry Units and Other Clay Products". Once the tests were carried out, their properties were evaluated, and the differences were established with respect to conventional bricks, and these results allowed us to propose their possible use in the industry.

*Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales

Director: Walter Pardavé Livia, Ingeniero Metalúrgico, MSc

INTRODUCCIÓN

La cantidad de residuos que el ser humano genera a diario en el desarrollo de sus diversas actividades se ve reflejada en un alto nivel de contaminación, hecho que implica el agotamiento de los recursos naturales, además de poner en peligro su existencia y la de los demás seres vivos. Los residuos que provienen de las industrias mineras y los desechos domésticos pueden aprovecharse en la fabricación de productos que sean amigables con el medio ambiente, de esta manera se puede mitigar el impacto que tienen en el medio. Además cabe resaltar que la reutilización de estos desechos puede generar beneficios a nivel económico a las diversas empresas, puesto que el costo de las materias primas sería menor. La disposición de los residuos mineros y los desechos domésticos debe estar controlada, para evitar que la comunidad aledaña o no al punto de generación se vea afectada; sin embargo existe un desconocimiento de las alternativas de aprovechamiento de los residuos.

Ante esta problemática, se fabricaron productos de construcción combinando pasivos ambientales mineros, material reciclable (PET y vidrio), chamota, cemento y agua. Los ladrillos se fabricaron experimentalmente con diferentes proporciones de materia prima, para establecer diferencias entre ellos. Los ladrillos obtenidos se sometieron a pruebas basadas en normas técnicas Colombianas NTC ICONTEC (Resistencia a la compresión, Resistencia a la Flexión, Absorción de agua y Choque térmico), con el objetivo de establecer sus propiedades y poder comparar los valores obtenidos con los valores aceptados para un ladrillo convencional. Posteriormente se estableció su posible aplicación.

1. ANTECEDENTES

Por la gran importancia que tiene en la actualidad la implementación de una política de reciclaje, ha sido constante el desarrollo de proyectos basados en la fabricación de productos de construcción con materiales reciclables amigables con el medio ambiente.

En este trabajo de grado se propone utilizar residuos de pasivos mineros y materiales reciclables domésticos (vidrio y plástico) en la fabricación de ladrillos ecológicos que posean propiedades iguales o superiores a las de un ladrillo convencional. Por tal razón es importante seleccionar y procesar la materia prima de una manera cuidadosa, siguiendo la normatividad en cuanto al proceso de obtención, ya que la composición de las mezclas son las que nos determinan mediante pruebas físicas y mecánicas las propiedades y características del producto.

Por otra parte, el nivel de contaminación que generan las grandes industrias y los hogares se ve reflejado en el agotamiento de los recursos naturales. Por esta razón se deben buscar alternativas para aprovechar estos residuos que se generan día a día. Gracias a los trabajos de recolección de materiales reciclables realizados por los puntos limpios asociados al Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), se crea conciencia acerca de la disposición y aprovechamiento de estos residuos. (Ver Anexo A).

Nuestro país en la actualidad no ha implementado totalmente el uso de los ladrillos ecológicos en el sector de la construcción, los escasos proyectos realizados con estos residuos se llevan a cabo con el fin de beneficiar a la población más vulnerable con viviendas de interés social. Este tipo de ladrillos presentan ventajas de tipo económico, pues al aprovechar este tipo de materiales se disminuye el costo de la fabricación de las viviendas.

El ladrillo es el principal elemento en el área de la construcción y sus orígenes se remontan a las antiguas civilizaciones de Mesopotamia y palestina. Numerosos materiales y procesos de fabricación han surgido con el pasar del tiempo, y los usos que han tenido van desde la construcción de grandes estructuras, hasta ser usados como elementos decorativos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. RESIDUOS MINEROS

Proceden fundamentalmente de la actividad extractiva minera y son residuos inertes, es decir, sin actividad química o biológica. Producen generalmente fuertes impactos paisajísticos y, a veces, su concentración en metales pesados produce contaminación importante de las aguas superficiales y subterráneas.¹

2.2. RESIDUOS DOMÉSTICOS

Los residuos domésticos que se generan en el hogar, suelen ser de tipo sólido, de tipo líquido (pinturas y similares) y de tipo gaseoso (como el humo de la chimenea). En el ámbito doméstico los residuos que más se suelen ver son los sólidos. Estos residuos sólidos están conformados por distintos materiales que no han sido separados y enviados para ser reciclados. Pueden ser organizados dentro de 5 categorías según su composición:

- ✓ Residuos biodegradables: como su nombre lo indica, son aquellos derivados de la alimentación y de la cocina, tales como sobras de alimentos y similares. No son un residuo contaminante.
- ✓ Materiales reciclables: aquí incluimos todo lo que puede ser reciclado, papel, vidrios, botellas plásticas, latas, metales, etc.
- ✓ Residuos inertes: refiere a todos aquellos residuos que proceden de una construcción, tales como el caso de suciedad, escombros, piedras, bloques rotos, ladrillos, etc.

¹ Clasificación de los residuos-reciclame,(actualizado 2016) tomado de <http://www.reciclame.info/clasificacion-de-los-residuos/>

- ✓ Residuos compuestos: principalmente son las prendas de vestir y algunos juguetes plásticos.
- ✓ Residuos peligrosos: los residuos domésticos peligrosos son más que nada desechos tóxicos, como es el caso de medicamentos, aparatos electrónicos, pinturas, bombillas y tubos de luz, aerosoles, fertilizantes y plaguicidas, pilas y baterías, etc.²

2.3. LADRILLOS ECOLÓGICOS

Son aquellos ladrillos contruidos con materiales que no degradan el medio ambiente y cuya fabricación también es respetuosa con este, frente a los ladrillos habituales cuya fabricación y materiales no es tan inocua. Los ladrillos ecológicos tienen cualidades similares a los tradicionalmente utilizados para la construcción de las casas. Por tanto, su uso no se deriva en pérdida de calidad puesto que, como la mayoría de productos ecológicos, sufren más pruebas de su viabilidad que los tradicionales.³

La idea de fabricar ladrillos amigables con el medio ambiente surge del ingeniero civil Henry Liu en 1999, quien baso sus investigaciones en darle un uso adecuado a aquellos desechos que produce el hombre en las diferentes actividades de su vida. Con esta idea se disminuye el impacto de la contaminación a nivel mundial, pues su uso se ha extendido por el mundo (España, Argentina, Ecuador, Colombia entre otros). Este tipo de ladrillos trae numerosas ventajas para el hombre y para el medio en el cual vive, entre las cuales se destaca un menor perjuicio para la naturaleza, menor gasto de energía en el proceso de fabricación, reciclaje,

² Residuos domésticos, (actualizado 2016) tomado de <http://www.ecologiahoj.com/residuos-domesticos>

³ Ladrillo ecológico-Ecured, (2016) tomado de https://www.ecured.cu/Ladrillo_ecol%C3%B3gico

economía, mejor manipulación por parte de los obreros y por ende un ahorro de tiempo en la construcción.

2.4. OBTENCIÓN DEL LADRILLO

La principal materia prima utilizada en la elaboración del ladrillo es la arcilla, que es un material plástico natural, con gran contenido de agua, lo cual le permite ser moldeada.

Figura 1: Proceso de producción de un ladrillo convencional



3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- ✓ Fabricar ladrillos de construcción a partir de mezclas de residuos gravimétricos auríferos y residuos domésticos reciclables, que cumplan con la norma ICONTEC NTC 4205.

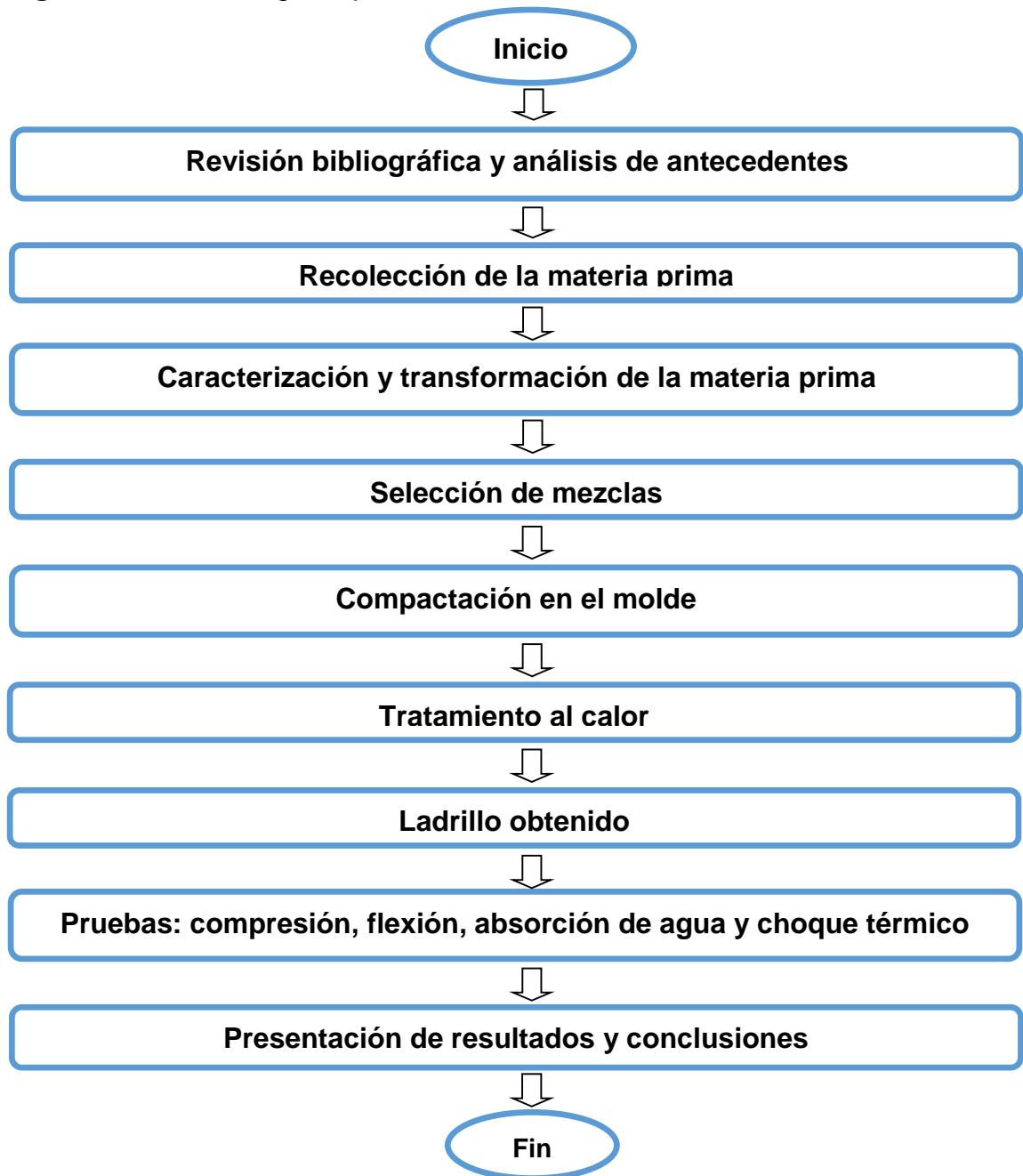
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Seleccionar y caracterizar física, química y granulométricamente los residuos mineros y los residuos domésticos.
- ✓ Obtener ladrillos de construcción con diferentes mezclas de residuos, arena y cemento.
- ✓ Realizar pruebas de resistencia a la compresión, módulo de rotura, absorción de agua y choque térmico, basadas en la norma ICONTEC NTC 4205 al ladrillo obtenido para establecer sus propiedades.

4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

A continuación se presenta un diagrama de la metodología empleada para la obtención de los ladrillos de construcción a partir de mezclas de residuos mineros y basuras domésticas:

Figura 2 : Metodología experimental



4.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

Durante el desarrollo del proyecto se realizó la respectiva revisión de las diferentes fuentes bibliográficas tales como libros, artículos científicos, tesis de grado y recursos electrónicos referentes a la fabricación de ladrillos a partir de materiales reciclables y mineros.

4.2. RECOLECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Los residuos domésticos reciclables (plástico y vidrio) se recolectaron de la Cooperativa de Recicladores Bello Renacer que está asociada al Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB). El mineral aurífero fue suministrado por la Empresa Reina de Oro del municipio de Vetas (Santander).

Figura 3 : Materia prima empleada en la fabricación de los ladrillos (residuos mineros y componentes de basura doméstica)



4.3. CARACTERIZACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La transformación de la materia prima se llevó a cabo mediante operaciones de reducción de tamaño como son la trituración y la molienda. Las botellas de plástico se sometieron a un proceso de limpieza, en primer lugar se retiraron las etiquetas y las tapas, posteriormente se lavaron con agua y jabón y se sometieron a un secado bajo sol con el fin de dejar el material apto para un posterior proceso. Luego de la limpieza se hizo la reducción de tamaño de forma manual con ayuda de implementos de corte (tijeras). Posteriormente se trituró el material para reducir su tamaño de manera considerable, para esto se hizo uso de la Trituradora de Cuchillas que se encuentra en el Laboratorio de Beneficio de Minerales de la Planta de Aceros, UIS.

Figura 4 : Proceso de transformación del residuo de plástico



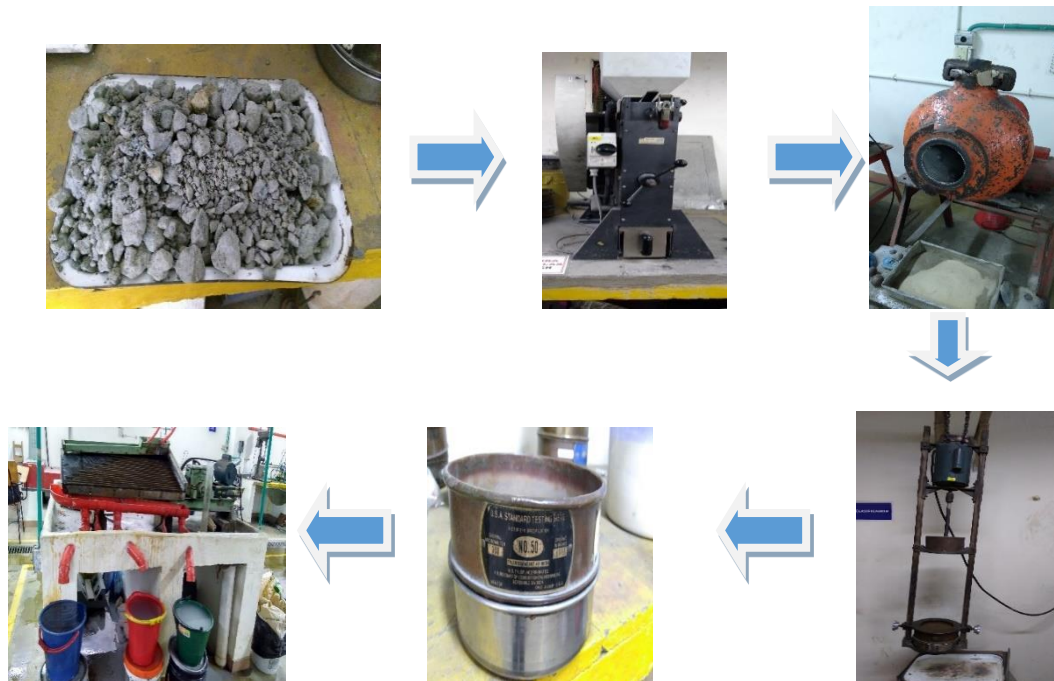
Las botellas de vidrio también se sometieron a un proceso de limpieza, en primer lugar se retiraron las etiquetas y las tapas, posteriormente se lavaron con agua y jabón y se sometieron a un secado bajo sol con el fin de dejar el material apto para un posterior proceso. La reducción de tamaño de las botellas se hizo de forma manual con ayuda de un martillo. Posteriormente se trituró el material para reducir su tamaño, para esto se hizo uso de la Trituradora de Mandíbulas BB 200 RETSCH que se encuentra en el Laboratorio de Beneficio de Minerales de la Planta de Aceros. Luego de la trituración, el material se sometió a un proceso de molienda con el fin de reducir de forma considerable su tamaño. La molienda se llevó a cabo en el molino de bolas que se encuentra disponible en el Laboratorio de Beneficio de Minerales de la Planta de Aceros. Se utilizaron 22 bolas para una carga de 3 Kilos por un tiempo de 1 hora.

Figura 5 : Proceso de transformación del residuo de vidrio



El mineral aurífero suministrado por la empresa Reina de Oro se sometió a un proceso de reducción de tamaños, se trituró el mineral con la Trituradora de Mandíbulas BB 200 RETSCH. Luego el material se sometió a un proceso de molienda con el fin de reducir de forma considerable su tamaño. La molienda se llevó a cabo en el molino de bolas disponible en el Laboratorio de Beneficio de Minerales de la Planta de Aceros. Se utilizaron 22 bolas para una carga de 3 Kilos por un tiempo de 1 hora. Posteriormente se llevó a un proceso de clasificación, para esto se utilizó el clasificador que se encuentra disponible en el Laboratorio de Beneficio de Minerales de la Planta de Aceros. Del proceso anterior se tomó el mineral pasante de la malla 50 y se realizó la operación de selección de las arenas del beneficio gravimétrico limpio del oro en la Mesa Wilfley que se encuentra disponible en el Laboratorio de Beneficio de Minerales de la Planta de Aceros. Finalmente se tomaron las colas y se sometieron a un proceso de decantación y secado con ayuda de la estufa.

Figura 6 : Proceso de transformación del mineral aurífero y obtención del residuo minero



4.4. SELECCIÓN DE MEZCLAS

A continuación se presenta la composición de cada una de las mezclas empleadas para la obtención de los ladrillos, en las cuales la cantidad de residuos mineros permaneció constante. Las variables en la selección de las mezclas fueron la cantidad de material reciclable, la cantidad de aglomerante, la cantidad de chamota, la cantidad de agua y la temperatura.

Tabla 1: Composición de las mezclas

Mezcla	Cantidad de residuos mineros (gr)	Cantidad de material reciclable (gr)	Cantidad de chamota (gr)	Cantidad de aglomerante (Cemento) (gr)	Cantidad de agua (mL)	Temperatura (°C)
2A	16,7	16,7	66,6	10	100	40
2B	16,7	16,7	66,6	10	100	80
3A	16,7	16,7	66,6	20	120	40
3B	16,7	16,7	66,6	20	120	80
4A	16,7	33,3	50	10	100	40
4B	16,7	33,3	50	10	100	80
5A	16,7	33,3	50	20	120	40
5B	16,7	33,3	50	20	120	80

Para la fabricación de los ladrillos se utilizó residuos mineros, material reciclable (50% plástico y 50% vidrio, mezclados de manera uniforme para homogeneizarlo), chamota, cemento y agua. La elección de la cantidad de agua, la cantidad de aglomerante y la temperatura utilizada en cada una de las mezclas se hizo de forma experimental.

4.5. COMPACTACIÓN EN EL MOLDE

Una vez seleccionadas las mezclas, se procedió a compactarlas en los moldes. Se utilizó como molde una formaleta de bronce con las siguientes dimensiones 8 cm x 2cm x 4cm, con capacidad para 2 probetas. El molde fue engrasado con una mezcla de aceite quemado y aceite de cocina, esto se hizo con el fin de evitar que la mezcla se pegara a las paredes del molde, facilitando así el desmoldeo. La compactación de la mezcla se hizo de forma manual con ayuda de un pisón. Una vez compactada la mezcla se retiró del molde y se dejó secando el ladrillo bajo sombra por un lapso de 7 días.

Figura 7 : Proceso de compactación de la mezcla en el molde



4.6. TRATAMIENTO AL CALOR

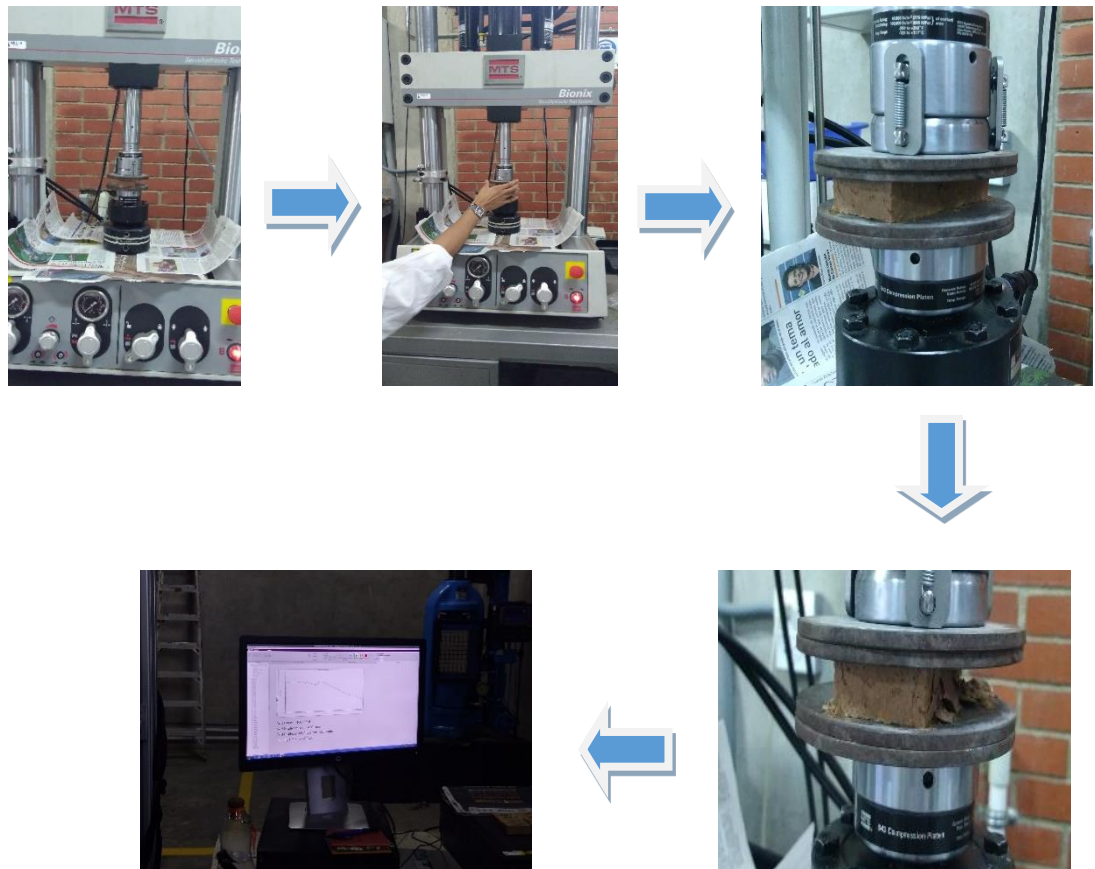
Luego de secar los ladrillos bajo sombra, estos fueron sometidos a una temperatura con el fin de aumentar la adhesión entre los componentes de la mezcla. Se tomó una temperatura mínima de 40 °C y una temperatura máxima de 80 ° C, estas temperaturas fueron determinadas experimentalmente.

4.7. PRUEBAS AL LADRILLO OBTENIDO

Con el fin de determinar las propiedades del ladrillo obtenido, se le hicieron pruebas de tipo mecánico: Ensayo de compresión y Ensayo de flexión. Se le practicó además pruebas de Absorción de agua y de Choque térmico.

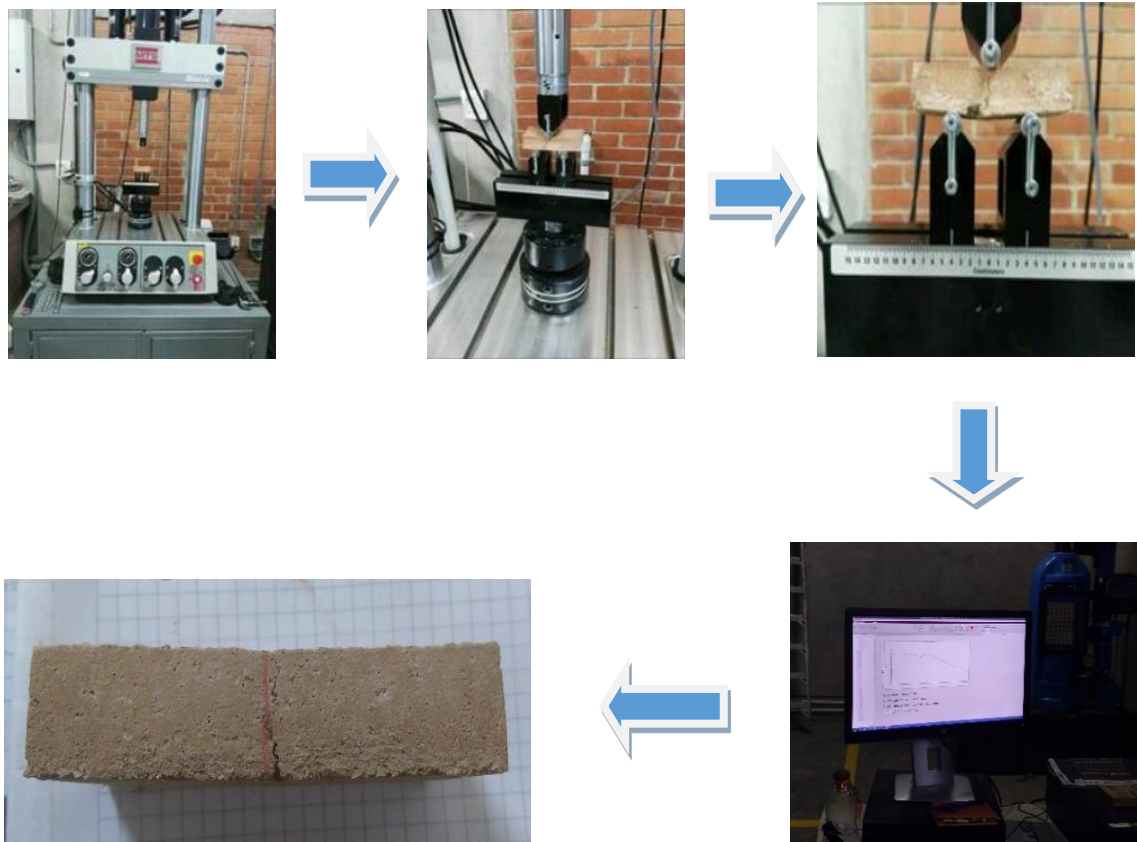
El ensayo de compresión se basó en la norma NTC 4017 “Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla”. Para el desarrollo de las pruebas se empleó la máquina de ensayos mecánicos Bionix MTS 370 de propiedad de la Escuela de Ingeniería Mecánica que se encuentra en el Laboratorio de Materiales de Ingeniería civil. El procedimiento que se hizo fue el siguiente: se colocó el espécimen con una de sus caras mayores sobre una placa de metal centrada con respecto al apoyo de la máquina. Se cargó lentamente la maquina hasta obtener un contacto perfecto sobre la placa de metal ubicada en la cara superior del espécimen, asegurando que el eje de la misma coincidiera con el eje longitudinal del espécimen, para esto las caras del espécimen estaban planas y paralelas. Se aplicó la carga con una velocidad adecuada hasta la mitad (12500 N) de la máxima esperada de acuerdo con el estimativo previsto para el producto (25000 N). Luego de aplicada esta carga inicial se aplicó la carga faltante a una velocidad uniforme en un tiempo no menor a 60 segundos (seg) ni mayor a 120 segundos (seg).

Figura 8 : Procedimiento del ensayo de compresión realizado a los ladrillos



El ensayo de flexión se basó en la norma NTC 4017 “Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla”. Para el desarrollo de las pruebas se empleó la máquina de ensayos mecánicos MTS 370 de propiedad de la Escuela de Ingeniería Mecánica que se encuentra en el Laboratorio de Materiales de Ingeniería civil. El procedimiento que se hizo fue el siguiente: se colocó el espécimen sobre los soportes (separación entre los soportes: 40 mm), luego se aplicó la carga a la cara superior del espécimen, de este modo la dirección de la carga es perpendicular a la superficie cargada. Se aplicó la carga cuidando que la velocidad del cabezal de la maquina no fuera mayor a 1,3 mm/min. Se registró la carga máxima.

Figura 9 : Procedimiento del ensayo de flexión realizado a los ladrillos



La prueba de absorción de agua se basó en la norma NTC 4017 “Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla”. Esta prueba nos proporciona la cantidad de agua que absorben los poros de una unidad de ladrillo. El procedimiento que se hizo fue el siguiente: se pesó el espécimen (peso de muestra seca). Posteriormente se sumergió el espécimen seco y frío, sin inmersión parcial preliminar, en agua limpia (a temperatura ambiente) durante 24 horas. Una vez transcurrido el tiempo, se retiró el espécimen, se secó con un paño húmedo (para quitar el exceso de agua) y se pesó (peso de muestra sumergida). El pesaje de cada espécimen se hizo antes de que pasaran los 300 segundos (seg).

Figura 10 : Procedimiento del ensayo de absorción de agua realizado a los ladrillos



La prueba de choque térmico se basó en la norma NTC 4017 “Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla”. El procedimiento que se hizo fue el siguiente: se precalentó el horno a la temperatura deseada, posteriormente se introdujeron los especímenes de cada una de las mezclas en el horno y se mantuvieron dentro por un tiempo de 10 minutos. Una vez transcurrido los 10 minutos se sacaban las probetas del horno y se inspeccionaban cuidadosamente con el fin de notar algún cambio en las probetas. Si la probeta no presentaba cambios, se volvía a introducir dentro del horno y se seguía el mismo procedimiento hasta que se notara algún cambio.

Figura 11 : Procedimiento del ensayo de choque térmico realizado a los ladrillos



5. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

5.1. CARACTERIZACIÓN DEL MINERAL DE ORO

Las colas del mineral aurífero (producto de la Mesa Wilfley), se caracterizaron por medio de una prueba de Difracción de rayos X (DRX), mediante la comparación de los perfiles observados con los perfiles de difracción reportados en la base de datos PDF-2 (2014) del International Centre for Diffraction Data (ICDD), esto se hizo con el fin de conocer las fases cristalinas presentes en ella.

Tabla 2: Fases cristalinas presentes en las colas del mineral aurífero

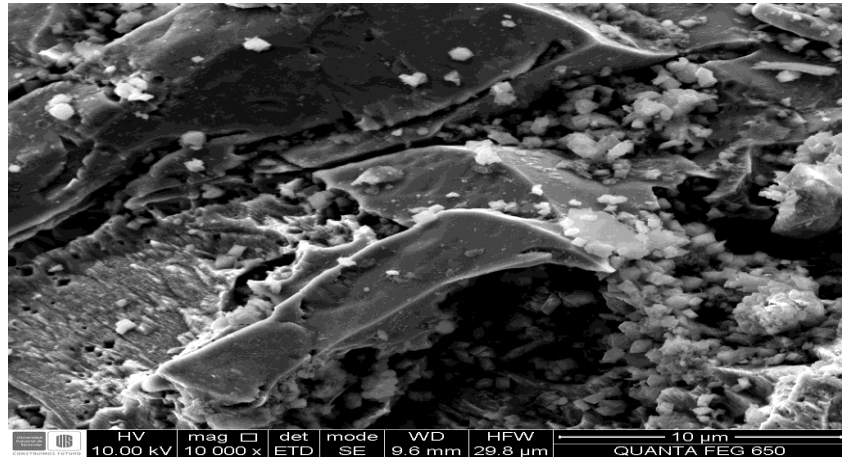
Fases cristalinas	Cantidad en la muestra %
Moscovita	32,5
Ortoclasa	13,3
Cuarzo	9,7
Microclina	7,2
Pirita	2,9
Hidrojarosita	1,6
Marcasita	1,0

Fuente: Laboratorio de Rayos X DRX, Parque Tecnológico Guatimar. UIS

En la tabla 2 se indican las siete fases cristalinas presentes en las colas del mineral de oro, las cuales representan un 68,2% de la muestra. Se puede observar que la Moscovita es la especie predominante con un 32,5 % de la muestra. El 31,8% restante corresponde a elementos amorfos y otros.

Las colas del mineral aurífero (producto de la Mesa Wilfley), se sometieron además a una prueba de microscopía electrónica de barrido (SEM) con el fin de definir el tipo de morfología.

Figura 12 : Imagen del SEM realizado al residuo minero



Fuente: Laboratorio de Microscopía SEM, Parque Tecnológico Guatiguará. UIS

En la Figura 12, se observa posiblemente la presencia de cuarzo, de acuerdo con las comparaciones hechas con la base de datos existente en el Laboratorio de Microscopía SEM del Parque Tecnológico Guatiguará. Además se nota una semejanza de elementos con el material de pirita que fue identificado en la prueba de DRX.

5.2. CARACTERIZACIÓN DEL VIDRIO, PLÁSTICO, CHAMOTA Y CEMENTO

El vidrio pulverizado, el plástico (PET), la chamota y el cemento se caracterizaron por medio de pruebas de Difracción de rayos X (DRX), mediante la comparación de los perfiles observados con los perfiles de difracción reportados en la base de datos PDF-2 (2014) del International Centre for Diffraction Data (ICDD), esto se hizo con

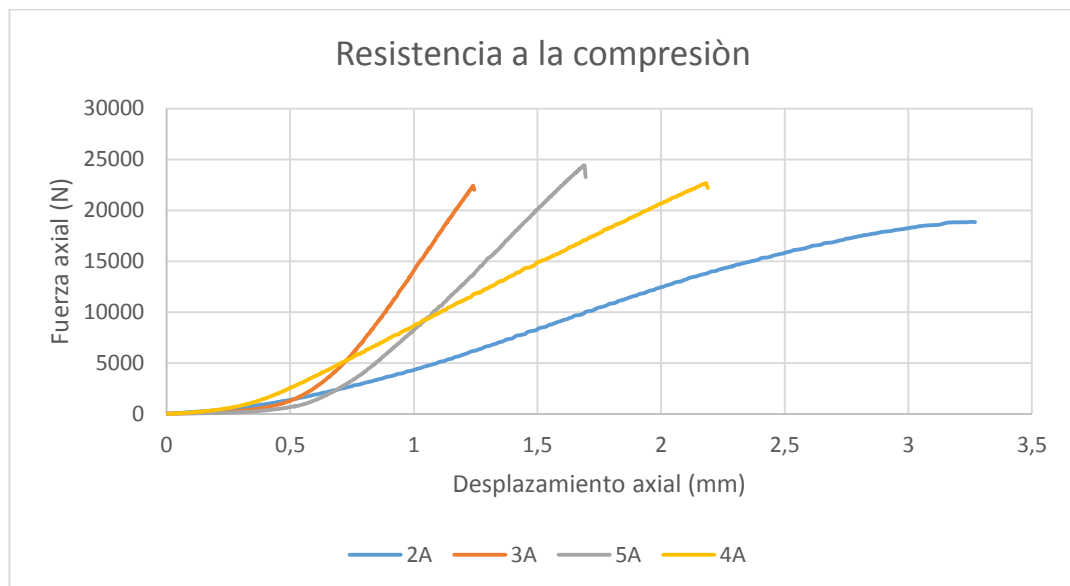
el fin de conocer las fases cristalinas presentes en cada uno de las muestras. (Ver anexo B).

Los resultados de la prueba de DRX para el vidrio pulverizado (Ver figura 18) y para el plástico PET (Ver figura 19) nos indican que estos materiales son amorfos, ya que no se identificaron fases cristalinas presentes.

5.3. ENSAYO DE COMPRESIÓN

Con los datos suministrados en el ensayo de compresión se construyó la gráfica de la Resistencia a la compresión para cada una de las mezclas:

Figura 13 : Esquema de la resistencia a la compresión para mezclas con temperatura mínima



Para calcular la resistencia a la compresión se empleó la siguiente expresión:

Ecuación 1
$$C = \frac{W}{A}$$

Donde:

C= Resistencia a la compresión del ladrillo en Pa x 10⁴

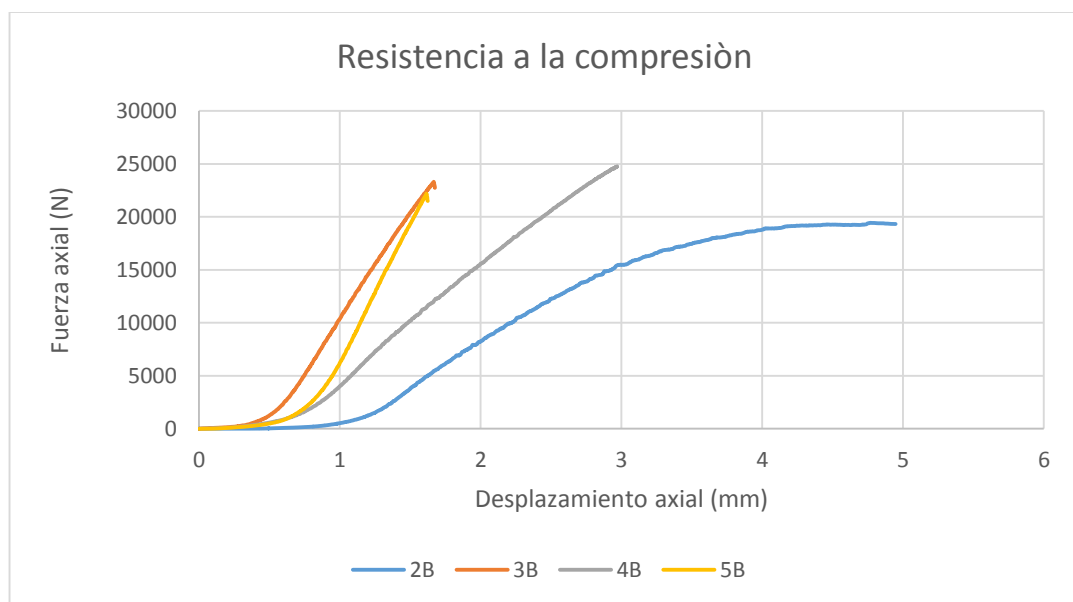
W= Carga máxima (de rotura) en N

A= Promedio áreas brutas de las superficies superior e inferior del espécimen en cm²

Tabla 3: Resistencia a la compresión para mezclas con temperatura mínima

Muestra	W Carga máxima (de rotura) en N	C Resistencia a la compresión del ladrillo en Pa x 10 ⁴	C Resistencia a la compresión del ladrillo en MPa
2A	18860,463	294,69	2,9469
3A	22400,082	350,00	3,5000
4A	22669,315	354,21	3,5421
5A	24337,260	380,27	3,8027

Figura 14 : Esquema de la Resistencia a la compresión para mezclas con temperatura máxima



Para calcular la resistencia a la compresión de las mezclas con temperatura máxima se empleó la ecuación 1.

Tabla 4: Resistencia a la compresión para mezclas con temperatura máxima

Muestra	W Carga máxima (de rotura) en N	C Resistencia a la compresión del ladrillo en Pa x 10 ⁴	C Resistencia a la compresión del ladrillo en MPa
2B	19437,582	303,71	3,0371
3B	23223,707	362,87	3,6287
4B	24772,781	387,07	3,8707
5B	22193,664	346,78	3,4678

De acuerdo con los resultados obtenidos en el ensayo de compresión, representados en las tablas 3 y 4, se observa que el espécimen 4B tiene el valor máximo observado de 3,8707 Mpa y el espécimen 2A tiene el valor mínimo observado de 2,9469 MPa. Teniendo en cuenta que el valor mínimo de la resistencia a la compresión es 10MPa para una unidad y 14 MPa para cinco unidades, se puede concluir que ninguno de los especímenes cumple con esta especificación.

5.4. ENSAYO DE FLEXIÓN

Con los datos suministrados en el ensayo de flexión se construyó la gráfica de la Resistencia a la flexión para cada una de las mezclas.

Figura 15 : Esquema de la Resistencia a la Flexión para mezclas con temperatura mínima



Para calcular la resistencia a la flexión o módulo de rotura se empleó la siguiente expresión:

Ecuación 2

$$MR = 3W \frac{\left(\frac{L}{2} - x\right)}{bd^2}$$

Donde:

MR= Módulo de rotura en MPa

W=Carga máxima de rotura en N

L= Distancia entre los soportes en mm

x= Distancia promedio del plano de falla al centro de la pieza, medida en la Dirección de la línea central de la superficie sometida a tensión en mm

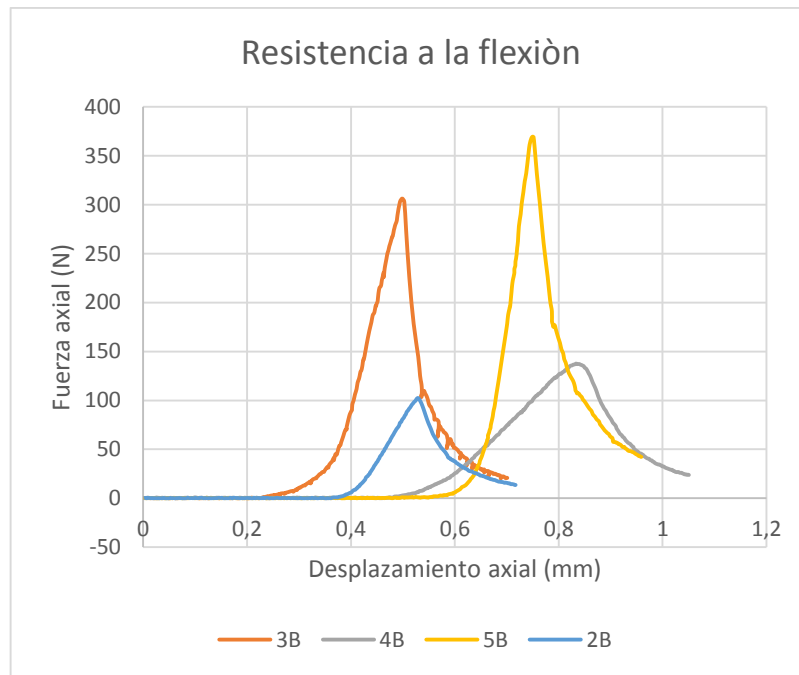
b= Ancho neto de la muestra en el plano de falla en mm

d= Profundidad de la muestra en el plano de falla en mm

Tabla 5: Resistencia a la Flexión para mezclas con temperatura mínima

Muestra	W Carga máxima de rotura en N	x Distancia promedio del plano de falla al centro de la pieza, en mm	MR Módulo de rotura MPa
2A	396,465	3,0833	1,25
3A	348,057	2,5133	1,14
4A	239,870	3,1767	0,76
5A	376,967	3,7300	1,15

Figura 16 : Esquema de la Resistencia a la Flexión para mezclas con temperatura máxima



Para calcular la resistencia a la flexión de las mezclas con temperatura máxima se empleó la ecuación 2.

Tabla 6: Resistencia a la flexión para mezclas con temperatura máxima

Muestra	W Carga máxima de rotura en N	X Distancia promedio del plano de falla al centro de la pieza, en mm	MR Módulo de rotura MPa
2B	102,363	2,9900	0,33
3B	306,316	2,9667	0,98
4B	137,718	1,8967	0,47
5B	369,520	1,8767	1,26

De acuerdo con los resultados obtenidos en el ensayo de Flexión, representados en las tablas 5 y 6, se observa que el espécimen 5B tiene el valor máximo observado de 1,26 MPa y el espécimen 2B tiene el valor mínimo observado de 0,33 MPa. Teniendo en cuenta que la resistencia a la flexión varía entre el 10 y 30% de la resistencia a la compresión según [2] y que el valor mínimo de la resistencia a la compresión es 10MPa para una unidad y 14 MPa para cinco unidades de ladrillo, establecemos un intervalo mínimo de resistencia a la flexión de 1,0 a 1,4 MPa. De acuerdo a esta información, los especímenes 2A, 3A, 5A y 5B cumplen con esta especificación.

5.5. PRUEBA DE ABSORCIÓN DE AGUA

La absorción de agua se calculó con ayuda de la siguiente expresión:

Ecuación 3

$$\% \text{ absorción} = \left(\frac{\text{peso muestra sumergida (gr)} - \text{peso muestra seca (gr)}}{\text{peso muestra seca (gr)}} \right) \times 100 \%$$

En la tabla 8 encontramos los resultados de la prueba de Absorción de agua, observamos que el porcentaje de absorción de agua para los especímenes ensayados aumenta cuando la temperatura aumenta, es decir los especímenes 2A,

3A, 4A Y 5A presentan menos porcentaje de absorción que los especímenes 2B, 3B, 4B Y 5B. La NTC 4017 “Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla”, establece que los porcentajes de absorción de agua para los ladrillos son un máximo de 13,5 % para paredes exteriores y un máximo de 17 % para paredes interiores, de acuerdo a esta información podemos concluir que los especímenes 2A y 2B no podrían utilizarse en ninguna de las dos circunstancias, ya que presentan valores superiores, 19,348% y 19,544% (Ver anexo C)

5.6. PRUEBA DE CHOQUE TÉRMICO

Tabla 7: Resultados de la prueba de choque térmico realizada a los ladrillos

Muestra	Temperatura (°C)	Numero de choques
2A	200	2
2B	200	2
3A	200	5
3B	200	5
4A	200	3
4B	200	4
5A	200	6
5B	200	4

En la tabla 7 se observa que el número de choques térmicos que resisten los especímenes es mayor para aquellos que tienen un porcentaje de aglomerante mayor (3A, 3B, 5A y 5B). Los especímenes 5A y 5B presentan el mejor resultado para esta prueba, es decir que tienen un mejor comportamiento a los cambios bruscos de temperatura.

Finalmente se consolidaron los resultados de todas las pruebas y ensayos realizados. (Ver anexo D).

6. CONCLUSIONES

- ✓ Se obtuvieron ladrillos de construcción a partir de mezclas de residuos mineros y basuras domésticas reciclables (vidrio y plástico), mediante un proceso de fabricación similar al de los ladrillos convencionales, variando la cantidad de material reciclable, la cantidad de aglomerante, La cantidad de chamota y la temperatura. Como resultado de la caracterización por prueba de DRX realizada a los diferentes componentes de la mezcla, tenemos que el residuo de ladrillo (chamota), presenta en su composición un alto porcentaje de sílice SiO_2 (71,9 %), caso contrario al cemento, que contiene solo el 3,3 % y a las colas del mineral aurífero con 9,7 %.
- ✓ En las pruebas mecánicas de flexión, los especímenes 2A, 3A, 5A y 5B cumplieron con las especificaciones requeridas. En las pruebas mecánicas de compresión, ninguno de los especímenes cumplió con las especificaciones requeridas. Podemos concluir que estos ladrillos no son aptos para usar en estructuras que deban soportar grandes cargas axiales.
- ✓ En la prueba de absorción de agua, los especímenes 3A, 3B, 4A, 4B, 5A y 5B cumplen con la especificación que señala que podrían utilizarse solo para la construcción de paredes interiores.
- ✓ El espécimen 5B con exposición a una temperatura de 80°C y con una adición máxima de residuos reciclables y aglomerante, nos brinda la mejor respuesta en cuanto a los resultados de las pruebas y ensayos realizados. Cumple con la resistencia a la flexión y el porcentaje de absorción de agua, pero no cumple con la resistencia a la compresión. Sin embargo con estos resultados podemos concluir que es viable técnicamente para usos decorativos, donde sus requerimientos mecánicos no soporten grandes cargas axiales.

7. RECOMENDACIONES

- ✓ Establecer nuevas mezclas de residuos mineros y residuos domésticos, con elementos del ladrillo convencional, siguiendo siempre la respectiva normatividad, con el fin de mejorar las características y propiedades del producto.

- ✓ Realizar prueba de toxicidad al ladrillo obtenido, con el fin de evaluar el impacto de su fabricación y uso en el medio.

- ✓ Se recomienda fabricar un ladrillo convencional a escala de las probetas utilizadas para el ladrillo ecológico, con el fin de realizar comparaciones.

BIBLIOGRAFÍA

BARRANZUELA, J. (2014). Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región piura. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil , Universidad de Piura, Perú.

CASTELLS, X. E. 2000. Reciclaje de Residuos Industriales: Aplicación a la fabricación de materiales para la construcción. Ediciones Díaz de Santos Hernández.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS (NTC). (2005). Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla (NTC 4017). 1ra actualización. Bogotá

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS (NTC). (2000). Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos (NTC 4205). 1ra actualización. Bogotá.

MOLINA, Ramírez y Vizcaíno, (2007). Estudio de las características físico – mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado en el municipio de Acacias (Meta). (Tesis de grado).Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.

RODRÍGUEZ, Sara C., (2011). “Residuos sólidos en Colombia: su manejo es un compromiso de todos”. L'esprit Ingénieur 2 (Universidad Santo Tomas). Volumen 2 (Numero 1)

SUÁREZ, S., & TARAZONA, R. (2013). Obtención de un mortero de construcción a partir de colas de beneficio gravimétrico del oro. Universidad Industrial de Santander, Santander, Bucaramanga.

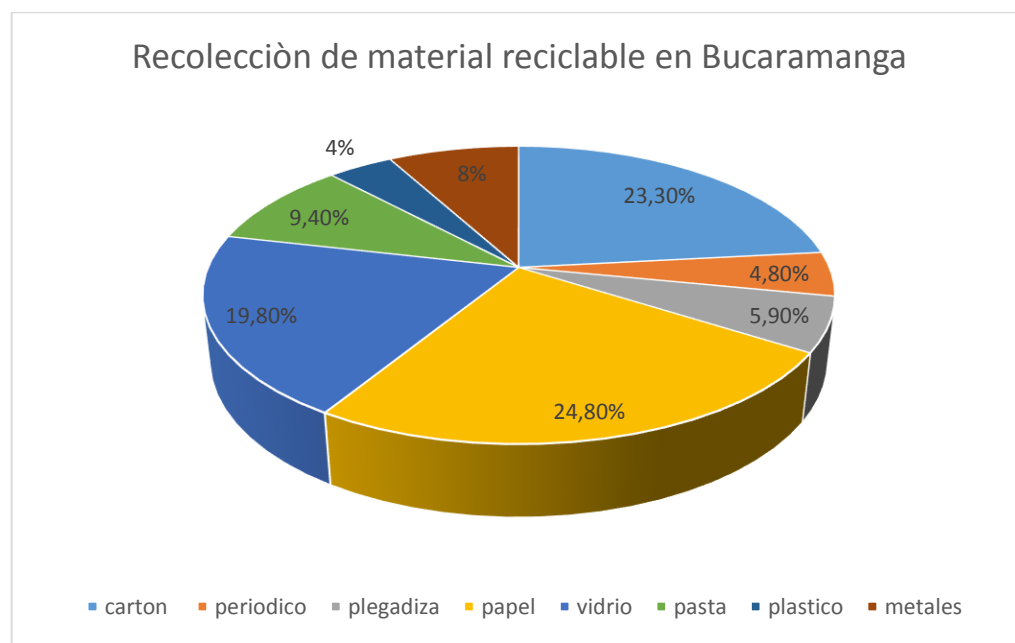
ANEXOS

ANEXO A: INFORME SOBRE LA RECOLECCIÓN DE MATERIAL RECICLABLE EN BUCARAMANGA

La cooperativa de recicladores BELLO RENACER asociada al Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), es uno de los puntos limpios de la ciudad que se encarga de la recolección y manejo de material reciclable aprovechable. El material que se recolecta se clasifica y se separa adecuadamente para su posterior uso, los operarios que realizan estas labores suministran los datos de los residuos recuperados al Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), quien se encarga de hacer un balance de la cantidad recolectada.

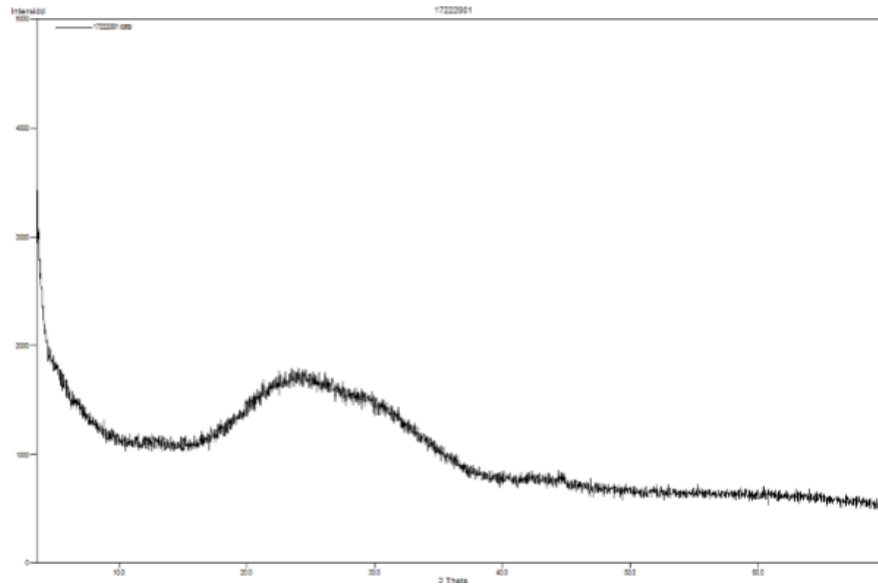
A continuación se presenta un informe de la cantidad de residuos que se recolectaron en este punto limpio en el mes de marzo del presente año, fecha en la que se realizó el muestreo de las basuras domésticas (vidrio y plástico) para el desarrollo del proyecto:

Figura 17 : Cantidad de material reciclable recolectado por Bello Renacer



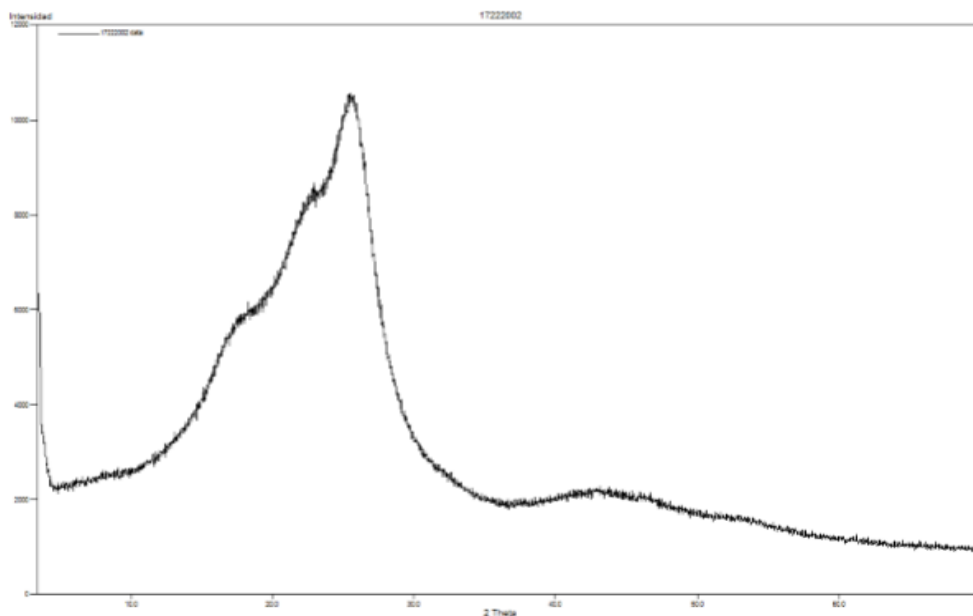
ANEXO B: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE DRX PARA EL VIDRIO, PET, CHAMOTA Y CEMENTO

Figura 18 : Resultados de la prueba de DRX para el residuo de vidrio pulverizado



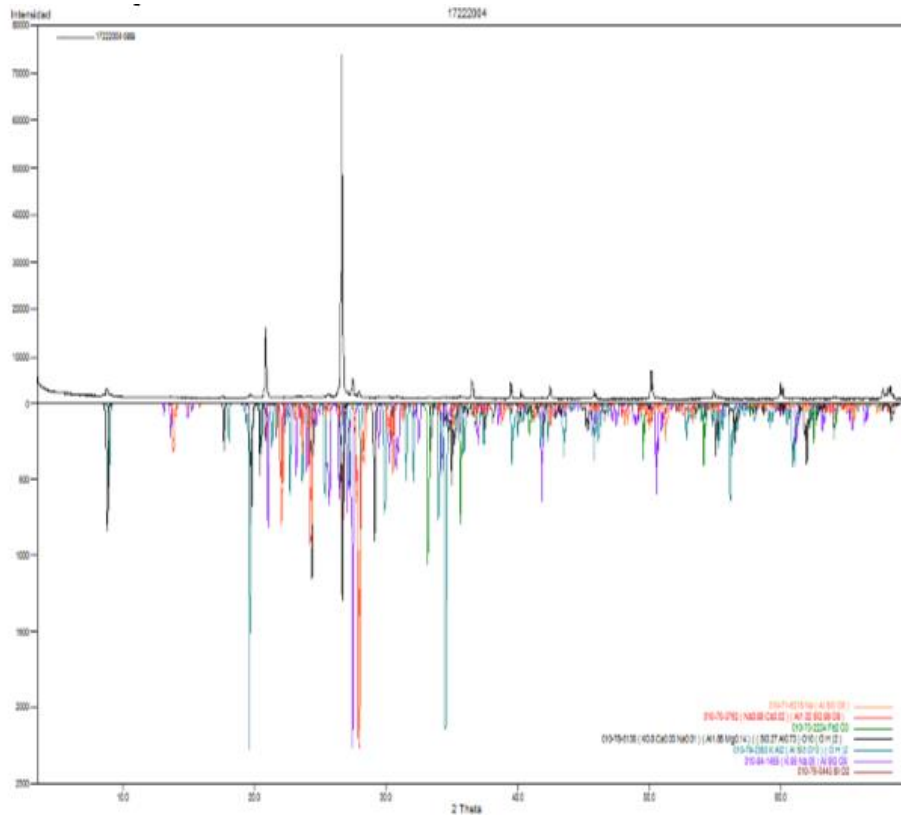
Fuente: Laboratorio de Rayos X DRX, Parque Tecnológico Guatimar. UIS

Figura 19 : Resultados de la prueba de DRX para el residuo de plástico (PET)



Fuente: Laboratorio de Rayos X DRX, Parque Tecnológico Guatimar. UIS

Figura 20 : Prueba de DRX para el residuo de ladrillo



Fuente: Laboratorio de Rayos X DRX, Parque Tecnológico Guatiguará. UIS

Figura 21 : Resultados del ensayo de DRX para los residuos de ladrillo

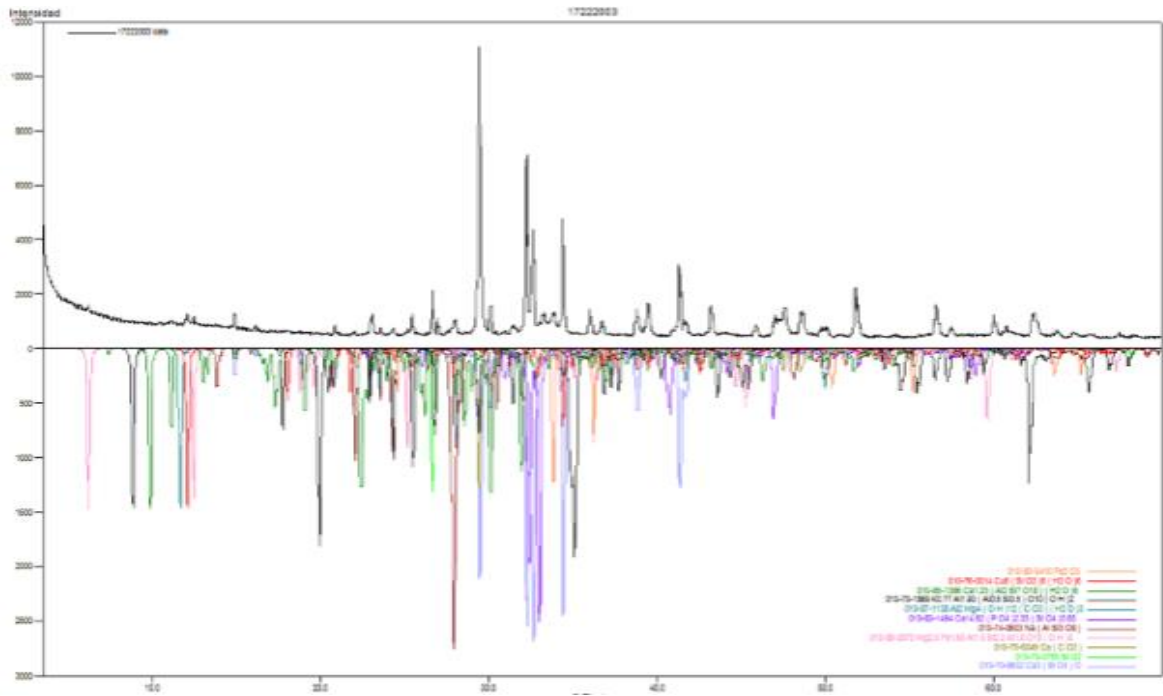
	FASE	PDF No.	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalino	Si O ₂	010-75-0443	Cuarzo	71,9%
	(K _{0.95} Na _{0.05}) Al Si ₃ O ₈	010-84-1455	Microclina	11,7%
	K Al ₂ (Al Si ₃ O ₁₀) (OH) ₂	010-79-2363	Moscovita-2M1	4,9%
	(K _{0.8} Ca _{0.03} Na _{0.01}) (Al _{1.86} Mg _{0.14}) ((Si _{3.27} Al _{0.73}) O ₁₀ (OH) ₂)	010-78-5136	Illita-1M	6,1%
	Fe ₂ O ₃	010-73-2234	α-Hematita	1,1%
	(Na _{0.98} Ca _{0.02}) (Al _{1.02} Si _{2.98} O ₈)	010-70-3752	Albita	4,3%
	Na (Al Si ₃ O ₈)	010-71-6218	Albita baja HP	N.C

Nota:

- **N.C = No Cuantificable** (La(s) fase(s) es (son) identificada(s) pero debido a su baja proporción no es posible realizar su respectiva cuantificación).

Fuente: Laboratorio de Rayos X DRX, Parque Tecnológico Guatiguará. UIS

Figura 22 : Prueba de DRX para el cemento



Fuente: Laboratorio de Rayos X DRX, Parque Tecnológico Guatiguará. UIS

Figura 23 : Resultados de la prueba de DRX para el cemento

	FASE	PDF No.	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalino	$\text{Ca}_3 (\text{SiO}_4) \text{O}$	010-70-8632	Hatrurita	63,1%
	SiO_2	010-70-3755	Cuarzo	3,3%
	$\text{Ca} (\text{CO}_3)$	010-75-6049	Calcita	23,7%
	$\text{Mg}_{2.5} \text{Fe}_{1.65} \text{Al}_{1.5} \text{Si}_{2.2} \text{Al}_{1.8} \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	010-89-2972	Clinocloro 1M1a	1,7%
	$\text{Na} (\text{AlSi}_3 \text{O}_8)$	010-74-0603	Albita	4,6%
	$\text{Ca}_{14.92} (\text{PO}_4)_{2.35} (\text{SiO}_4)_{5.65}$	010-83-1494	Fosfato silicato de calcio	2,2%
	$\text{Al}_2 \text{Mg}_4 (\text{OH})_{12} (\text{CO}_3) (\text{H}_2\text{O})_3$	010-87-1138	Quintinita-2H	N.C
	$\text{K}_{0.77} \text{Al}_{1.93} (\text{Al}_{0.5} \text{Si}_{3.5}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	010-70-1869	Moscovita-2M2	N.C
	$\text{Ca}_{1.23} (\text{Al}_2 \text{Si}_7 \text{O}_{18}) (\text{H}_2\text{O})_6$	010-85-1386	Heulandita-Cálcica	N.C
	$\text{Cu}_6 (\text{SiO}_3)_6 (\text{H}_2\text{O})_6$	010-76-3014	Dioptasa	0,4%
	$\text{Fe}_2 \text{O}_3$	010-80-5410	α -Hematita	1,0%

Nota:

- **N.C = No Cuantificable** (La(s) fase(s) es (son) identificada(s) pero debido a su baja proporción no es posible realizar su respectiva cuantificación).

Fuente: Laboratorio de Rayos X DRX, Parque Tecnológico Guatiguará. UIS

ANEXO C: TABLA DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ABSORCIÓN DE AGUA

Tabla 8 : Resultados de la prueba de absorción de agua realizada a los ladrillos

Muestra	Peso muestra seca (gr)	Peso muestra sumergida (gr)	% absorción de agua	% absorción de agua promedio
2A1	91,44	108,96	19,160	19,348
2A2	89,39	107,26	19,991	
2A3	92,57	110,06	18,894	
2B1	90,82	109,04	20,062	19,544
2B2	92,61	109,96	18,734	
2B3	89,99	107,84	19,836	
3A1	99,51	115,24	15,807	15,58
3A2	99,55	114,98	15,500	
3A3	99,31	114,65	15,447	
3B1	96,81	112,72	16,434	16,136
3B2	94,83	110,39	16,408	
3B3	100,73	116,41	15,566	
4A1	92,81	106,16	14,384	15,522
4A2	91,44	107,10	17,126	
4A3	91,73	105,54	15,055	
4B1	87,38	100,24	14,717	16,546
4B2	91,30	106,39	16,528	
4B3	91,94	108,85	18,392	
5A1	92,28	105,69	14,532	14,320
5A2	101,17	115,45	14,115	
5A3	98,09	112,13	14,313	
5B1	95,96	109,99	14,621	14,548
5B2	96,32	109,98	14,182	
5B3	98,17	112,74	14,841	

ANEXO D: RESUMEN DE LOS RESULTADOS

A continuación se presenta una tabla con el resumen de los ensayos y pruebas practicadas al ladrillo, además se especifica si cumple o no con la norma NTC 4017 “Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla”, en la cual se indican los valores de aceptación para los ladrillos de la siguiente manera:

- Ensayo de compresión
[10 – 14 MPa]
- Ensayo de flexión
[1,0 – 1,4 MPa]
- Prueba de absorción de agua
[13,5 % paredes exteriores – 17 % paredes interiores]

Tabla 9: Resumen de resultados de los ensayos y pruebas realizados al ladrillo

Muestra	Ensayos y pruebas realizadas al ladrillo obtenido						
	Resistencia a la compresión MPa	Cumple con la norma	Resistencia a la flexión Mpa	Cumple con la norma	% Absorción de agua	Cumple con la norma	Choque térmico
2A	2,9469	NO	1,25	SI	19,348	NO	2
2B	3,0371	NO	0,33	NO	19,544	NO	2
3A	3,5000	NO	1,14	SI	15,580	SI	5
3B	3,6287	NO	0,98	NO	16,136	SI	5
4A	3,5421	NO	0,76	NO	15,522	SI	3
4B	3,8707	NO	0,47	NO	16,546	SI	4
5A	3,8027	NO	1,15	SI	14,320	SI	6
5B	3,4678	NO	1,26	SI	14,548	SI	4