



ISMM

Instituto Superior Minero
Metalúrgico

Dr. Antonio Núñez Jiménez

**Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento Metalurgia - Química**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE
GABROS Y VIDRIO RECICLADO EN LA PRODUCCIÓN DE
LADRILLOS MACIZOS**

**Tesis En opción al Título de Ingeniero en
Metalurgia y Materiales**

Yudenia Montes Borrote

Moa 2017



Instituto Superior Minero
Metalúrgico
Dr. Antonio Núñez Jiménez

**Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento Metalurgia - Química**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE
GABROS Y VIDRIO RECICLADO EN LA PRODUCCIÓN DE
LADRILLOS MACIZOS**

**Tesis En opción al Título de Ingeniero en Metalurgia
y Materiales**

Autor: Yudenia Montes Borrote

Firma: _____

Tutor: Prof. Inst. Ing. Sergio R. Cabo de Villa Figueiral

Firma: _____

Moa 2017

Dedicatoria

Este trabajo de diploma se lo dedico a Dios y todos los seres por darme fuerza y escuchar mis plegarias.

A mis padres incluyendo a mi padrastro por estar siempre a mi lado y brindarme su apoyo incondicional en todo momento.

A la persona que ha vivido en mis pensamientos durante todo este tiempo.

A mis compañeros de aula.

AGRADECIMIENTOS

Por ayudarme a cumplir uno de mis mayores deseos dedico este trabajo, en primer lugar, a mi madre Anaisa Isabel Borrote y mi padre José Montes Griñan, incluyendo a mi padrastro Carlos Manuel Sanches Chi. Porque ellos son mi vida y mi razón de ser.

A mi hermana Yaxenia Ojeda Borrote por demostrarme lo mucho que me quiere.

A mi novio Elías Domingos Laurencó Branco, por tener tanta paciencia en los momentos estresantes y estar junto a mí cada segundo durante todo este tiempo y nunca dejarme sola.

A mi tutor que me apoyo indiscutiblemente a cada momento el Ing. Sergio Cabo de Villa.

A mis profesores por todo el conocimiento que me aportaron para mi vida futura.

A mi tía Albita y mi prima Taymi por creer en mí y apoyarme en todo este tiempo.

A mi mejor amiga Isieris León Aguilar por siempre estar conmigo y ser mi confidente en los buenos y malos capítulos de mi vida.

A mis amigas las Pink Enid Carrión, Leidy Laura, Suelly y Fina que las quiero mucho.

A los que me apoyaron de una forma u otra para que este sueño se hiciera realidad.

A TODOS MIS MÁS SINCEROS AGRADECIMIENTOS.

MUCHAS GRACIAS

RESUMEN

La investigación tiene como objetivo establecer el conocimiento de la mezcla de gabros de Cayo Guam con vidrio reciclado para evaluar su posible utilización en la producción de ladrillos macizos, con vista a su empleo en los centros productores de elementos constructivos. Se analizó la mezcla con diferentes dosificaciones de vidrio y gabros a una temperatura de cocción de 900 °C. Se evaluó mediante métodos de ensayo los siguientes parámetros tecnológicos: porcentaje de absorción de agua, pérdida de peso y resistencia a la compresión; además del comportamiento de la misma durante el proceso de secado y cocción. Se demostró que mediante la adición de este material (vidrio reciclado) se obtienen ladrillos más ligeros con un 10,00 % de pérdida de peso, una absorción de agua de 27,23 % y resistencia a la compresión de 46,52 %, demostrando que las muestras con un 50 % de adición de vidrio fueron las que alcanzaron obtener los mejores resultados.

ABSTRACT

The research aims to establish the knowledge of the Guam Cayo gabbro mixture with recycled glass to evaluate its possible use in the production of solid bricks, with a view to their use in the centers producing construction elements. The mixture was analyzed with different dosages of glass and gabbro with a cooking temperature of 900 °C. The following technological parameters were evaluated by means of test methods: water absorption percentage, weight loss and compressive strength; In addition to the behavior of the same during the drying and cooking process. It was shown that by adding this material (recycled glass) lighter bricks with 10,00 % of weight loss, with a water absorption of 27,23 % and resistance of 46,52 % were obtained, which determined That samples with a 50 % glass addition achieved the best results.

ÍNDICE	PÁG.
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	5
1.1 Conceptualización del tema.....	5
1.1.1 Generalidades del vidrio y sus propiedades	5
1.1.2 Tipos de vidrios según su composición química	7
1.1.3 Tipos de vidrios sodo-calcicos según su uso	10
1.1.4 Propiedades físicas	12
1.1.5 Propiedades Químicas	13
1.1.6 Propiedades Mecánicas	13
1.1.7 Propiedades Térmicas.....	14
1.1.8 Tipos de Vidrio.....	14
1.1.8 Reciclaje de vidrio	15
1.2 Generalidades de los gabros.....	17
1.3 Ladrillo, Definición y Tipos.....	19
1.3.1 El ladrillo como elemento constructivo	19
1.3.1.1 La arcilla	19
1.3.2 Geometría	20
1.3.3 Tipos de ladrillo	21
1.3.4 Fabricación de ladrillos.....	22
1.3.4.1 Proceso de elaboración.....	22
1.4 Antecedentes de la investigación	25

Conclusiones parciales	28
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
2.1 Materiales a utilizar	29
2.1.1 Descripción de la materia prima	29
2.1.1.1 Gabros de Yacimiento Cayo Guam	29
2.1.1.2 Desechos de Vidrio Reciclado.....	30
2.2 Metodología aplicada para la confección de los ladrillos.....	31
2.3 Métodos empleados en la experimentación	32
2.4 Diseño de experimentos.....	33
2.4.1 Preparación de los materiales en cuanto a su dosificación	34
2.5 Preparación de las mezclas para la conformación de las piezas	35
2.5.1 Toma y preparación de la muestra	35
2.5.2 Moldeado.....	37
2.5.3 Secado	37
2.5.4 Cocción	38
2.5.5 Producto final	39
2.6 Metodología para la realización de los ensayos.....	39
2.6.1 Parámetros a ensayar	39
2.6.2 Ensayo de pérdida de peso.....	39
2.6.3 Ensayo de absorción de agua de la arcilla cocida.....	40
2.6.4 Ensayo de resistencia a la compresión	41
Conclusiones del capítulo	42
3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	43
3.1 Proceso de secado de los ladrillos	43

3.2 Análisis de los resultados de pérdida de peso	44
3.3 Análisis del resultado de absorción de agua	47
3.4 Análisis de los resultados de resistencia a la compresión	48
3.5 Impacto Medioambiental.....	50
3.5.1 Problemas ambientales en las diferentes etapas del proceso	51
Conclusiones Parciales	52
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	55

INTRODUCCIÓN

El vidrio es un material comúnmente usado en múltiples industrias, formando parte de nuestra vida diaria. Toneladas de vidrio suelen ir a parar a la basura diariamente, permaneciendo ahí sin ser aprovechados por el hombre para generar nuevos productos, representa aproximadamente el 7 % de los residuos que desechamos a la basura. El mismo nos ha acompañado desde hace más de 9,000 años, la primera botella de vidrio apareció hace 3,500 años. Sin embargo el uso de vidrio reciclado en diversas actividades tiene pocos años.

Es el único material 100 % reciclable, por lo que se puede aprovechar completamente y de forma indefinida. Estas propiedades lo convierten en un material con amplias posibilidades de reutilización que generen menor impacto sobre el medio ambiente.



Figura 1. Desechos de embaces de vidrio

Actualmente, al reciclar los productos que consumimos, se ha convertido en una fuerte necesidad de poder optimizar el consumo de los recursos naturales y al mismo tiempo no contaminamos con los desechos que se producen con dichos residuos y salvaguardamos el medioambiente. Así, tenemos que aprender a reciclar y a saber

fabricar con la introducción de los residuos en el proceso industrial (García-Ten, MALIOL et al. 2003, Raimondo, Zanelli et al. 2007).

Según la Organización Mundial de Reciclaje, el reciclaje es un proceso físico-químico y/o mecánico que consiste en someter a una materia o un producto ya utilizado, a un ciclo de tratamiento total o parcial para obtener una materia prima o un nuevo producto. También se podría definir como la obtención de materias primas a partir de desechos, introduciéndolos de nuevo en el ciclo de vida. Se produce ante la perspectiva del agotamiento de recursos naturales y para eliminar de forma eficaz los residuos urbanos que no se utilizan. El reciclaje se inscribe en la estrategia de tratamiento de residuos de las tres erres: reducir, reutilizar, reciclar. Además es una acción noble con el medio ambiente que permite la reducción del volumen de residuos, se plantea disminuir el 80 % del espacio que ocupan los desperdicios en vertederos y con ello la contaminación que causan algunas materias que tardan en degradarse años e incluso siglos. Preservación los recursos naturales ya que la materia reciclada se reutiliza y disminuye la extracción de recursos minerales no renovables (Alavedra, Domínguez et al. 1998).

Durante el año 2011 se reciclaron en Cuba más de 385 042 toneladas de desechos distribuidos en: chatarra ferrosa (hierro fundido y acero), chatarra no ferrosa (aluminio, cobre, bronce, plomo) y desperdicios no metálicos (plástico y papel y cartón) lo que le ahorró al país más de 200 millones de dólares por concepto de sustitución de importaciones y exportaciones. Esta cifra aumentó más de un 3 % durante el 2012.

El reciclaje de los desechos de vidrio no solo se suscribe a la recogida para su reutilización o fabricación de nuevos envases, ya que esto conlleva a una clasificación correcta por colores, sino que se recuperan mezclados de todo tipo para su utilización como áridos para hormigón, baldosas antideslizantes, drenajes, fibra de vidrio, losetas, material abrasivo, materiales de aislamiento, pintura reflectante para señalización viaria y muchos otros.

La construcción es un sector idóneo para fomentar el uso racional de residuos y subproductos industriales. Consume grandes volúmenes de materias primas y genera escombros procedentes de la demolición de edificios o de desperdicios de materiales provenientes de la construcción de una nueva obra o reforma. Poco a poco se expande el interés por utilizar residuos de construcción y demolición en las nuevas edificaciones, aliviándose así el problema ambiental que origina la eliminación de los mismos.

En la actualidad el ladrillo es un material muy presente en el ámbito doméstico. A lo largo del siglo XX reconocidos diseñadores y arquitectos han demostrado en forma fehaciente el papel contemporáneo que puede asumir el ladrillo.

Actualmente se puede observar un déficit de material de construcción debido al aumento considerable de su utilización, elevado costo y otros factores que se presentan localmente. Desde finales del siglo pasado e inicios de este Cuba se ha visto azotada por fuertes fenómenos meteorológicos que han desbastado zonas completas a lo largo del país, también se debe mencionar que la geodinámica endógena de la zona oriental del país condiciona la ocurrencia de actividad sísmica. Esto obliga a fomentar el estudio de materiales alternativos en la producción de materiales de construcción, motivando así el estudio de los desechos de vidrio reciclados.

En Cuba se desarrolla un programa de producción de materiales a nivel local como alternativa al consumo de materiales tradicionales muy demandados. (Ministerio de la Construcción, 2011). El vidrio pudiera ser una de estas alternativas para sustituir la arena en cantidades determinadas, por lo que se plantea **como situación problemática**: La necesidad de evaluar el comportamiento de las mezclas de gabros de Cayo Guam con desechos de vidrio como aditivo en la producción de ladrillos macizos. Estos son generados en todas las provincias del país por empresas cerveceras, fábricas de ron, refrescos y conservas, empresas productoras de medicamentos, así como por la población. Encontrar un destino útil a estos desechos así como ser partícipe de los cambios económicos que se están llevando a cabo en estos momentos en Cuba es parte fundamental de este trabajo.

El **problema** lo constituye: El insuficiente conocimiento acerca del comportamiento de las mezclas de gabros con vidrio reciclado como aditivo para ser empleados en la producción de ladrillos macizos. .

Objeto de estudio

Mezcla de gabros de Cayo Guam con vidrio reciclado.

Objeto general

Determinar el comportamiento de la mezcla de gabros de Cayo Guam con vidrio reciclado, para evaluar su posible utilización en la producción de ladrillos macizos.

Objetivos específicos

1. Caracterizar la materia prima.
2. Evaluar el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos macizos al utilizar desechos de vidrio como aditivo.

Para dar cumplimiento a los objetivos se trazaron las siguientes **Tareas:**

1. Búsqueda y análisis de los trabajos relacionados con la utilización de los desechos de vidrio reciclado en los materiales de construcción a nivel internacional y nacional.
2. Preparación de la materia prima (Trituración, molienda y tamizado de los desechos de vidrio reciclado).
3. Confección de ladrillos macizos con dosificaciones de 30, 40 y 50 % de vidrio reciclado.
4. Evaluación de las propiedades físico- mecánicas de los ladrillos elaborados con desechos de vidrio.
5. Análisis de las perspectivas de utilización del vidrio como aditivo en la producción de ladrillos macizos.

Como posible solución al problema se establece la siguiente **hipótesis:**

Si se evalúa el comportamiento de las mezclas, es posible entonces, determinar su perspectiva de utilización en la producción de ladrillos macizos.

El **Campo de acción:** comportamiento de las propiedades físico – Mecánicas de los ladrillos macizos al adicionar vidrio reciclado.

1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Este capítulo tiene como finalidad realizar un análisis crítico de los temas abordados en la bibliografía consultada, con el objetivo de obtener la información necesaria que permita establecer los fundamentos teóricos necesarios para la utilización de desechos de vidrio reciclado como aditivo en ladrillos en mezclas de cerámica roja para materiales de construcción.

Conceptualización del tema

1.1.1 Generalidades del vidrio y sus propiedades

El vidrio es un material homogéneo, isótropo que presenta en tracción un comportamiento elástico lineal casi perfecto dentro de su rango de resistencia a tracción. Presenta una alta resistencia a la compresión y en teoría, una elevada resistencia a la tracción, pero su superficie tiene numerosas irregularidades que actúan como en tallas cuando se somete a un esfuerzo de tracción. Estas irregularidades son provocadas por el ataque de la humedad y por el contacto con materiales duros (por ejemplo, partículas de polvo abrasivas), y son modificadas continuamente por la humedad del ambiente.

Con base en su estructura molecular, la resistencia a la tracción previsible es alrededor de 10000 N/mm^2 , pero el vidrio falla generalmente con tensiones netamente inferiores, del orden de 100 N/mm^2 .

La presencia de irregularidades y su modificación por la humedad influyen en las propiedades del vidrio y deben ser tomadas en consideración durante los ensayos de resistencia. Debido a su elevada resistencia a la compresión, el vidrio se rompe siempre bajo esfuerzos de tracción. Puesto que, en edificación el vidrio raramente es

solicitado a tracción, la propiedad mecánica más importante es la resistencia a la flexión. Tienen por finalidad evaluar la resistencia a la flexión del vidrio (Navarro, 2003).

La resistencia a la flexión está influenciada por los siguientes factores:

- a) estado de superficie.
- b) nivel y la duración de la carga.
- c) área de la superficie sometida a tracción.
- d) medio ambiente, que provoca roturas por corrosión bajo tensión así como la cicatrización de los daños superficiales.
- e) la edad, es decir, el tiempo pasado desde el último tratamiento mecánico de superficie o la última modificación destinada a simular un deterioro.
- f) temperatura (Villegas Romero, 2017).

El vidrio es un material que ha sido usado por el hombre desde hace milenios. Posiblemente sea el material más viejo fabricado por el hombre y que aún continúa afectando la vida presente. Está presente en diversas formas como: ventanas, vasos, envases de todo tipo, telescopios, en la industria nuclear como escudo de radiación, en electrónica como sustrato sólido para circuitos, en la industria del transporte y de la construcción etc.

Por sus características intrínsecas (brillantez, resistencia al uso, transparencia, etc), el vidrio es un material difícilmente sustituible (y a veces, realmente insustituible) en la mayoría de sus aplicaciones. Igualmente remarcable es la disponibilidad y bajo costo de las materias primas usadas para producirlo, especialmente su componente más importante: la sílice (que se encuentra en la arena). El vidrio es un material amorfo producido por la fusión de sílice y aditivos a elevadas temperaturas. Al enfriarlo se convierte en un material duro y brillante sin estructura de grano (lo cual determina muchas de sus propiedades, como veremos más adelante).

Este producto, es una sustancia dura, normalmente brillante y transparente, compuesta principalmente de silicatos y álcalis fusionados a alta temperatura. Considerándose un sólido amorfo, sino que existe en un estado vítreo (Pearson 2005).

Según el Manual del vidrio (Glass, 2000), es un material inorgánico duro, frágil, transparente y amorfo. Es una materia inerte compuesta fundamentalmente de silicatos. Es resistente al desgaste, a la corrosión y a la compresión. La composición básica es de tres óxidos inorgánicos: Arena Sílice (SiO_2) 73 %, Carbonato de Sodio (Na_2CO_3) 14 % y caliza (CaCO_3) 11 %; además intervienen en menor proporción otros óxidos metálicos como: colorantes, oxidantes, reductores, estabilizadores, etc.

El vidrio es un silicato que se funde a 1200 grados; está formado principalmente por sílice, caliza y otros materiales para dar la coloración. Por su aplicación se clasifica como industrial y doméstico. Si se analiza desde el punto de vista de su aplicación se clasifica como industrial y doméstico.

En su producción se utilizan en promedio 1,240 kg de materias primas por tonelada, consumiendo enormes cantidades de energía para elevar la temperatura del horno en el que se fundirá a 1600°C ; este último aspecto es el que revela la importancia de reutilizar este material. En la construcción sobre todo en los acabados tiene un alto valor estético, además puede ser reciclado en su totalidad tantas veces como se quiera y no pierde calidad.

Los principales componentes del vidrio, no, son productos que se encuentran fácilmente en la naturaleza: sílice, cal y carbonato de sodio. Los materiales secundarios son usados para dar propiedades especiales o para facilitar el proceso de fabricación. De la mezcla de los materiales secundarios con las materias primas básicas en el porcentaje correcto se pueden obtener diferentes tipos de vidrio, los cuales pueden ser clasificados de acuerdo a su composición química. Dentro de cada tipo, a su vez, hay numerosas composiciones distintas (Castaño, 2013).

Clasificación de los vidrios según su composición química:

Vidrio sodo- cálcico

Vidrio Plomado

Vidrio Borosilicato

Vidrio Especiales

1.1.2 Tipos de vidrios según su composición química

Según su composición química, los vidrios pueden clasificarse de la siguiente manera:

➤ **Vidrio sodo-cálcico**

Este vidrio es comercial más común y el menos costoso. El amplio uso de este tipo de vidrio es debido a sus importantes propiedades químicas y físicas. El vidrio sodo-cálcico es primariamente usado para:

- envases (botellas, jarros, vasos de uso diario, etc.)
- vidrio para ventanas (en la industria de la construcción y en la industria automotriz).

Para fabricarlo es necesario fundir la sílice, la cual se utiliza a una temperatura elevada (1700 °C). Para disminuir esa temperatura de fusión y hacer a la masa más manejable, se le agrega soda. Donde el vidrio que se obtiene es suave y no muy durable, por lo que se le agrega cal para aumentar su dureza y durabilidad química. Otros óxidos se agregan por ser impurezas naturales de las materias primas. Por ejemplo, el aluminio aumenta la duración química y aumenta la viscosidad en los rangos de temperaturas más bajos. Otros componentes adicionales son el óxido de plomo y compuestos de boro. El óxido de plomo en cantidades moderadas aumenta la durabilidad, y en altas cantidades baja el punto de fusión y disminuye la dureza. También incrementa el índice de refracción y es por lo tanto el aditivo más usado para vidrios de decoración con alto brillo. Los vidrios con boro tienen alta resistencia a la corrosión química y los cambios de temperatura.

La propiedad más importante del vidrio sodo-cálcico es su elevada capacidad de transmisión de la luz, lo que lo hace adecuado para usar como vidrio en ventanas. Además su superficie suave y no porosa lo hace especialmente apto para ser usado como envases pues resulta fácil de limpiar, y debido a la inercia química del vidrio sodo-cálcico, éste no contaminará el contenido ni afectará el sabor de los elementos guardados allí.

Un típico vidrio sodo-cálcico está compuesto de 71 a 75% en peso de arena (SiO_2), 12-16% de soda (óxido de sodio de la materia prima carbonato de sodio), 10-15% de

cal (óxido de calcio de la materia prima carbonato de calcio) y un bajo porcentaje de otros materiales para propiedades específicas tales como el color.

Una de las mayores desventajas del vidrio sodo-cálcico es su alta expansión térmica, por lo que posee una resistencia pobre a cambios súbitos de temperatura. Esta limitación debe ser tomada en cuenta al instalar un vidrio en una ventana.

Además el vidrio sodo-cálcico no es resistente a ataques químicos corrosivos.

➤ **Vidrio Plomado**

Si se utiliza óxido de plomo en lugar de óxido de calcio, y óxido de potasio de óxido de sodio, tendremos el tipo de vidrio comúnmente llamado cristal plomado. El óxido de plomo se agrega para disminuir la temperatura de fusión y la dureza y por ende elevar el índice de refracción del vidrio.

Un típico vidrio plomado está compuesto de 54-65 % de sílice (SiO_2), 18-38 % de óxido de plomo (PbO), 13-15 % de soda (Na_2O) o potasio (K_2O), y varios otros óxidos. Se pueden usar dos tipos de óxido de plomo: el PbO y el Pb_3O_4 , éste último preferido por su mayor porcentaje de oxígeno presente. Vidrios del mismo tipo pero con conteniendo menos a 18 % de PbO son conocidos como cristal.

Por su alto índice de refracción y su superficie relativamente suave, el vidrio plomado es usado especialmente para decoración a través del pulido, corte y/o tallado de su superficie (vasos para beber, jarrones, baldosa); también es ampliamente usado en vidrios modernos particularmente en cristales y ópticas. Suele usar para aplicaciones eléctricas por su excelente aislamiento eléctrica. Así mismo es utilizado para fabricar los tubos de termómetros, como todo tipo de vidrio artístico.

El vidrio plomado no es resistente a altas temperaturas o cambios súbitos de temperatura y su resistencia a químicos corrosivos no es buena.

El vidrio con un contenido elevado de plomo (típicamente 35 %) puede ser usado como pantalla de radiación, y que es bien conocida la habilidad del plomo de absorber los rayos gamma y otras formas de radiación peligrosa.

Este tipo de vidrio es más caro que el vidrio sodo-cálcico.

➤ **Vidrio Borosilicato**

El vidrio borosilicato es cualquier vidrio silicato que contenga al menos 5% de óxido bórico en su composición. Este vidrio tiene mayor resistencia a los cambios térmicos y a la corrosión química.

Gracias a estas propiedades, el vidrio borosilicato es adecuado para uso en la industria química de procesos, en laboratorios, ampollas y frascos en la industria farmacéutica, en bulbos para lámparas de alto poder, como fibra de vidrio para refuerzos textiles y plásticos, en vidrios fotocromáticos, artículos de laboratorios, elementos de uso en las cocinas (planchas eléctricas, fuentes para el horno) y otros productos resistentes al calor, vidrios para unidades selladas de vehículos, etc.

Un típico vidrio borosilicato está compuesto de un 70 a 80% de sílice (SiO_2), un 7 a 13% de ácido bórico (B_2O_3), de un 4-8% de óxido de sodio (Na_2O) y óxido de potasio (K_2O), y de un 2 a 7% de óxido de aluminio (Al_2O_3).

4. Vidrios Especiales

Se pueden fabricar vidrios con propiedades específicas para cualquier requerimiento que se pueda imaginar. Sus composiciones son diversas e involucran numerosos elementos químicos. Así pueden obtenerse vidrios especiales para su uso en diversos campos tales como en química, farmacia, electro-tecnología, electrónica, óptica, aparatos e instrumentos, etc. Podemos citar como ejemplos:

- Vidrio alúmino-silicato: posee óxido de aluminio en su composición. Es similar al vidrio borosilicato. Pero presenta una mayor durabilidad química y puede resistir temperaturas de operación más altas. Comparado con el borosilicato, el vidrio alúmino-silicato es más difícil de fabricar.
- Vidrio de silicio 96%: se obtiene a partir de un vidrio borosilicato fundido, al que se le remueven casi todos los elementos no silicatos. Este vidrio es resistente a choques térmicos superiores a 900°C .
- Vidrio de sílice fundida: es dióxido de silicio puro en un estado no cristalino. Es muy difícil de fabricar, por lo que es el más caro de los vidrios. Pueden resistir temperaturas de operaciones superiores a 1200°C por períodos (Navarro, 2003).

1.1.3 Tipos de vidrios sodo-calcicos según su uso:

➤ **Vidrio plano** (fabricado en líneas automáticas)

1. Para uso en la Construcción: ventanas, curtain wall, fachadas templadas, etc.
2. Para uso en Automotores: parabrisas, lunetas traseras, vidrios laterales, espejos retrovisores, tanto en automóviles como en el transporte de pasajeros (terrestre y ferrocarril), maquinarias agrícolas, etc.
3. Para uso en Artículos Electrodomésticos: la llamada línea blanca (hornos de cocina, heladeras, calefones, etc.).
4. Para uso en Refrigeración: puertas de heladeras exhibidoras, etc.

➤ **Vidrio hueco** (fabricado por soplado automático o manual)

1. Para uso en Envases: botellas, frascos, etc.

➤ **Vidrio para decoración** (elaborado por el método conocido como fusing)

1. Muebles de Vidrio: bachas para baños, mesas pequeñas, etc.
2. Objetos para decoración (producidos normalmente en forma artesanal): platos, floreros, collares, ceniceros, vasos, etc.

➤ **Vidrio artístico** (elaborado por fusing y/o soplado manual)

Es importante mencionar que el reciclaje de vidrio demanda un 26 % menos energía que la producción original, se reduce un 20% la contaminación atmosférica y un 40% la contaminación de agua (Elizondo Alanís, 2014).

Conviene separar el vidrio en contenedores de color verde, ya que de la clasificación de desechos depende en gran medida que sea fácil reciclar este y otros materiales, ya que no habrá mezclas que afecten el proceso transformador ni la calidad del producto final. Actualmente solo se reciclan 10,8 kg de vidrio por persona al año (MATA and GÁLVEZ 2014).

El vidrio reciclado puede proceder de diversas fuentes, como puede ser vidrio plano, vidrio de botella, procedente de lámparas, de pantallas de televisión, etc. De cara a su introducción en el campo de la fabricación de baldosas cerámicas y ladrillos se requiere que presente unas determinadas características, es decir que sea abundante y que tenga una constancia y homogeneidad en su composición (Lázaro, Ramón Trilles et al. 2012).

Desde este punto de vista de su aplicación, el vidrio se clasifica en industrial (1) y doméstico (2).

1) Se entiende como vidrio industrial el vidrio que es utilizado para (almacenamiento de productos químicos, biológicos, vidrio plano: ventanas, cristales blindados, fibra óptica, bombillas, etc.)

(2) Se entiende como vidrio doméstico el que se emplea para almacenar productos alimenticios (conservas, vinos, yogures, etc.); aunque de una manera más generalizada, es el vidrio que el ciudadano deposita en los contenedores.

Desde el punto de vista del color los más empleados son:

El verde (60%). Utilizado masivamente en botellas de vino, cava, licores y cerveza, aunque en menor cantidad.

El claro (25 %). Usado en bebidas gaseosas, cervezas, medicinales, perfumería y alimentación en general.

1.1.4 Propiedades físicas

Color: el color natural del vidrio es un tono verdoso, al cual se le aplican decolorantes para hacerlo cristalino y se le agregan colorantes para el vidrio de color.

En la tabla 1.1 se muestran los principales elementos que dan color al vidrio.

Tabla 1.1 Elementos que dan color al vidrio

ELEMENTO	COLOR
Óxido de cobalto	Rojo azulado
Óxido ferroso	Azul
Óxido férrico	Amarillo
Óxido de cromo	Verde grisáceo
Trióxido de cromo	Amarillo
Óxido de cobre	Verde azulado
Óxido de uranio	Verde amarillento fosforescente
Selenio elemental	Rosa

Sulfuro de cadmio coloidal	Amarillo
----------------------------	----------

1.1.5 Propiedades Químicas

Densidad: debido a los distintos tipos de vidrios que pueden ser fabricados, las densidades varían de acuerdo a la sustancia con la que sean complementados; normalmente un vidrio puede tener densidades relativas (con respecto al agua) de 2 a 8 t/m^3 , lo cual significa que hay vidrios que pueden ser más ligeros que el aluminio y vidrios que puedan ser más pesados que el acero. La densidad del vidrio aumenta al incrementar la concentración de óxido de calcio y óxido de titanio. En cambio si se eleva la cantidad de alúmina (Al_2O_3) o de magnesia (MgO) la densidad disminuye.

Corrosión: en el medio ambiente son muy resistentes y no desisten ante el desgaste solo atacado por el ácido fluorídrico en sus diferentes formas (gaseosa o disolución). A temperaturas superiores a 800 °C reacciona a velocidades apreciables con sales alcalinas o alcalinotérreas, en particular con sales sódicas, tales como el carbonato o el sulfato sódicos. En altas concentraciones es atacado por el ácido fosfórico (Askeland, 1998).

1.1.6 Propiedades Mecánicas

Torsión: la resistencia a la torsión se define como la capacidad para oponerse a la aplicación de una fuerza que provoque un giro o doblez en la sección transversal. Los vidrios en su estado sólido no tienen resistencia a la torsión, en cambio en su estado fundido son como una pasta que acepta un grado de torsión que depende de los elementos que le sean adicionados.

Compresión: la resistencia a la compresión muy alta, su resistencia promedio a la compresión es de 1000 MPa; lo que quiere decir que para romper un cubo de vidrio de 1 cm^3 es necesaria una carga de aproximadamente 10 toneladas.

Tensión: varía según la duración de la carga y generalmente oscila entre 3000 y 5500 N/cm^2 , aunque pueden llegar a sobrepasar los 70000 N/cm^2 si el vidrio ha sido especialmente tratado. Para cargas permanentes, la resistencia a la tracción del vidrio disminuye en un 40 %. A mayor temperatura menor resistencia a la tracción.

Flexión: es distinta para cada composición del vidrio. El vidrio sometido a flexión presenta en una de sus caras esfuerzos de compresión, y en la otra cara presenta esfuerzos de tensión. La resistencia a la ruptura de flexión es casi de 40 MPa (N/mm^2) para un vidrio pulido y recocido de 120 a 200 MPa (N/mm^2) para un vidrio templado (según el espesor, forma de los bordes y tipos de esfuerzo aplicado).

1.1.7 Propiedades Térmicas

Calor específico: es de 0,150 cal/g °C aproximadamente

Conductividad Térmica: aproximadamente 0,002 cal/cm seg. °C.

1.1.8 Tipos de Vidrio

Vidrios Borosilicato, tipo pirex (Pyrex): vidrio que contiene Boro, lo cual lo convierte en vidrio neutro. Está compuesto por: arena, borax (tetraborato de sodio), que cuando se descompone en caliente se obtiene trióxido de boro, un óxido que se comporta como el dióxido de silicio. Aluminio (óxido de aluminio), que actúa como óxido básico. Se utiliza normalmente para envases farmacéuticos, tales como productos de laboratorio, frascos para inyectables, ampulas, etc y en vajilla por su elevada temperatura de ablandamiento: aproximadamente 800° C, su insuperable resistencia les permite soportar enfriamientos bruscos sin ruptura.

Vidrios al Plomo: El óxido de plomo es normalmente un modificador de la red de la sílice, pero además puede actuar como un formador de la red. Los vidrios al plomo con altos contenidos de óxido de plomo son de baja fusión y se utilizan para soldar vidrios de cierre herméticos. Los vidrios de alto contenido en plomo son usados para proteger de la radiación de alta energía y encuentra aplicación para ventanas de radiación, carcasas de lámparas fluorescentes y lámparas de televisión. Por sus altos índices de refracción, los vidrios al plomo se emplean para algunos vidrios ópticos y para algunos vidrios decorativos.

Vidrios de Botella: de composición parecida a la del vidrio común, pero con cierto porcentaje de óxido de hierro.

Vidrio Común o sílico-sódico-cálcicos: su composición química se suele representar en forma de porcentajes en peso de los óxidos más estables a

temperatura ambiente de cada uno de los elementos químicos que lo forman. Las composiciones de los vidrios silicatos sódicos más utilizados se sitúan dentro de los límites que se establecen en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Intervalos de composición en vidrios comunes

Componente	Intervalo %	
	Desde	Hasta
SiO ₂	68,0	74,5
Al ₂ O ₃	0,0	4,0
Fe ₂ O ₃	0,0	14,0
CaO	9,0	0,45
MgO	0,0	4,0
Na ₂ O	10,0	16,0
K ₂ O	0,0	4,0
SO ₃	0,0	0,3

Vidrio de cristal: con adición de plomo o bario, que le confiere elevado brillo, mucho peso y sonido metálico, y el óptico, de transparencia, inalterabilidad, homogeneidad e isotropía tales que permiten su uso en la fabricación de lentes, prismas y espejos.

Vidrios de sílice fundido: es el vidrio de composición simple más importante, presenta una alta transmisión espectral y no está sujeto a daño de radiación que origina la coloración en otros vidrios. Es casi siempre el vidrio ideal para las lunas de vehículos espaciales y túneles aerodinámicos y para sistemas ópticos en dispositivos espectrofotométricos. Estos pueden llegar a ser caros y difíciles de procesar.

1.1.8 Reciclaje de vidrio

En la actualidad el vidrio es utilizado para envasar todo tipo de productos, desde alimentos hasta perfumes. Teniendo en cuenta su durabilidad puede ser reutilizada en innumerables ocasiones sin perder sus propiedades.

El vidrio reciclado es un material muy valioso, consistente en una mezcla de diferentes partículas de vidrio coloreado, el cual está a menudo incluido con un

amplio rango de despojos tales como papel, suelo, metales y desechos de comida. El vidrio es fácilmente recuperable, concretamente el envase de vidrio es 100 % reciclable, es decir, que a partir de un envase utilizado puede fabricarse uno nuevo que puede tener las mismas características del primero. De acuerdo con (MATA, 2014), la facilidad de reutilización del vidrio abre un amplio abanico de posibilidades para que la sociedad y las administraciones afectadas puedan autogestionarse de una manera fácil en su medio ambiente.

Aunque la presencia de diferentes partículas vítreas coloreadas y diferentes tipos de despojos en el vidrio, tales como etiquetas de papel, pegamentos, restos de alimentos, etcétera, es el principal obstáculo para volver a usar vidrio reciclado, esto no ha sido impedimento para que las industrias traten de aprovechar el mismo. Por otra parte, el proceso de producción y el procedimiento de molienda juegan el papel más importante en el tamaño máximo de la partícula así como su forma, el nivel de despojos, lo cual influye consecuentemente en otras características geotécnicas que le permitan usarlo como material de relleno en terraplenes, carpetas de drenaje, medio para filtrar y material para pavimento de caminos (Disfani, 2011).

Según la organización mundial del reciclaje los estadounidenses generaron 1,5 millones de toneladas de vidrio de residuos sólidos urbanos en 2010. Alrededor del 27 % del vidrio fue recuperado para su reciclaje. El reciclado de vidrio aumentó de 750.000 toneladas en 1980 a más de tres millones de toneladas en 2010.

De acuerdo a los datos de la empresa que se encarga de controlar el reciclado del vidrio, (Ecovidrio), en 2007, España superó la media europea fijada en 50%. Más de 900,000 toneladas de este material ha podido ser recuperados. Suiza, es uno de los países con comportamiento ejemplar en esta materia, ya que teniendo en cuenta la situación del vidrio, se recicla hasta el 95 % de este material (Vidro, 2009).

En Colombia se reincorporan al sector productivo unas 125,000 toneladas de vidrio reciclado al año (MATA, 2014).

El reciclaje ha sido practicado por industrias estadounidenses, alemanas, japonesas, canadienses, danesas, francesas y de muchos otros países desde hace más de 20 años, en gran medida debido a que reciclar y reusar los materiales de desecho

puede reducir la demanda de recursos naturales y conducir a un medioambiente más sustentable (Lozano, 2014).

En Cuba el reciclaje se realiza por la Unión de Empresas de Recuperación de Materias Primas a través de una red de Casas de Compra diseminadas a todo lo largo y ancho de la isla. Los organismos y demás dependencias del estado vienen obligados por ley 1288/1975 a recolectar los desechos de materias primas, productos y materiales reutilizables que no son aprovechados por los mismos; en el caso que puedan ser aprovechados por los propios organismos o sus dependencias, están obligados a utilizarlos. Otras vías mediante las cuales se realiza el reciclaje son: el Movimiento Recuperadores del Futuro, que abarca los estudiantes de las enseñanzas primaria y secundaria; las JARMA, con los jóvenes del Nivel Medio Superior y los Comité de Defensa de la Revolución. Actualmente el desecho de vidrio que se recupera en Cuba es el proveniente de los envases de vidrio y en menor parte de los equipos electrodomésticos. Los envases de vidrio son reutilizados; de los desperdicios de vidrio que se generan y que pueden ser retornados al proceso productivo para la confección de nuevos envases solo se utilizan 20 toneladas de vidrio blanco, semi blanco o verde demandadas por la Fábrica Vidrio La Lisa y alrededor de 5 toneladas de vidrio ámbar para la fabricación de las lijas de las cajas de fósforos, demandadas por la base de proceso "Paquito Rosales".

Según la declaración de potenciales para el 2013, los organismos en la provincia Granma generarán más de 34 toneladas de desechos de vidrio, sin incluir los envases reutilizables que tienen un mercado seguro, de las cuales solo se comercializarán 20 toneladas; el resto podría incluso ir a parar a los vertederos municipales.

1.2 Generalidades de los gabros

El gabro es una roca plutónica oscura de grano grueso (con índice de color en el rango 35-65 %) compuesta esencialmente de plagioclasa cálcica (Anortita > 50), clinopiroxeno y/o ortopiroxeno, óxidos de Fe (opacos) y muy corrientemente, olivino,

en proporciones considerables. En un sentido más amplio se refiere a las rocas gabroicas del diagrama QAPF aquellas en el campo anortosita-gabro-diorita que tienen más de 10 % de minerales oscuros y plagioclasa cálcica (An50-An100). Además, tanto el olivino magnésico (rico en molécula de forsterita) como el cuarzo (en baja proporción) pueden estar presentes. Un gabro en sentido estricto tiene como máfico principal el clinopiroxeno, en la norita el máfico principal es ortopiroxeno, mientras que la gabronorita contiene los dos piroxenos. La hornblenda, la biotita y el cuarzo pueden aparecer como accesorios. La magnetita, la ilmenita, son accesorios comunes. Con el aumento de minerales ferromagnesianos los gabros pasan a picritas y otros tipos ultrabásicos; pueden convertirse en anortositas con el aumento de feldespato; y con la introducción de feldespatos alcalinos y/o feldespatoides, los gabros pueden derivar a monzonitas olivínicas y en gabros alcalinos. (Para el límite diorita - gabro, Diorita) (Herve, 2010).

Los gabros son los equivalentes de grano grueso de los basaltos volcánicos y de las doleritas, son texturalmente equigranulares, siendo raros los tipos porfídicos. Se conocen variedades de textura ofítica de tipo grueso. (Para microgabro, Dolerita). También pueden utilizarse los siguientes términos: bojita – gabro que contiene principalmente anfíbol – barkevicitita u hornblenda -, en oposición a muchos llamados gabros hornbléndicos en los que el anfíbol es secundario. Hiperita es un término en decadencia para un gabro con hiperstena y augita; leucogabro y leuconorita son variedades ricas en feldespato; melagabro y melanorita son variedades ricas en piroxeno y/o olivino. La beerhachita (berbaquita) es una aplita gabroide (Chincarini, 1998).

En la figura 1.2 se evidencia una muestra de gabro de Cayo Guam. Se hace notable su coloración gris oscura.



Figura 1.2 Muestra de gabro de Cayo Guam

Los gabros se encuentran, bien en forma de grandes lopolitos, como el de Bushveld, África del Sur; Stillwater, Montana; y Duluth, Minnesota, como complejos anulares o circulares por ejemplo Ardnamurchan, Escocia; o como complejos estratigráficos en Skaergaard, Groenlandia (Nivia, 2005).

1.3 Ladrillo, Definición y Tipos

El Ladrillo es un componente cerámico artificial de construcción, compuesto básicamente por arcilla cocida. Se emplea en la construcción de diversos elementos constructivos, como muros, tabiques, hornos, etc. Las dimensiones del ladrillo están estandarizadas de modo que cada una sea el doble de la anterior, más 1cm, para el mortero de unión (Martorell, 1910).

1.3.1 El ladrillo como elemento constructivo

1.3.1.1 La arcilla

La arcilla con la que se elabora el ladrillo es un material sedimentario de partículas muy pequeñas de silicatos hidratados de alúmina, además de otros minerales como el caolín, la montmorillonita y la illita. Se considera el adobe como el precursor del ladrillo, puesto que se basa en el concepto de utilización de barro arcilloso para la ejecución de muros, aunque el adobe no experimenta los cambios físico-químicos de la cocción. El ladrillo es la versión irreversible del adobe, producto de la cocción a altas temperaturas (350 °C).

1.3.2 Geometría

Su forma es la de un prisma rectangular, en el que sus diferentes dimensiones reciben el nombre de *soga*, *tizón* y *grueso*, siendo la *soga* su dimensión mayor. Así mismo, las diferentes caras del ladrillo reciben el nombre de *tabla*, *canto* y *testa* (la *tabla* es la mayor). Por lo general, la *soga* es del doble de longitud que el *tizón* o, más exactamente, dos *tizones* más una *junta*, lo que permite combinarlos libremente. El *grueso*, por el contrario, puede no estar modulado.

Existen diferentes formatos de ladrillo, por lo general son de un tamaño que permita su fácil trabajabilidad con una mano. En particular, destacan el formato métrico, en el que las dimensiones son $24 \times 11,5 \times 5,25$ / 7 / $3,5$ cm aproximadamente (cada dimensión es dos veces la inmediatamente menor, más 1 cm de *junta*) y el formato catalán de dimensiones $29 \times 14 \times 5,2$ / $7,5$ / 6 cm, y los más normalizados que miden $25 \times 12 \times 5$ cm.

Actualmente también se utilizan por su gran demanda, dado su reducido coste en obra, medidas de $50 \times 24 \times 5$ cm.

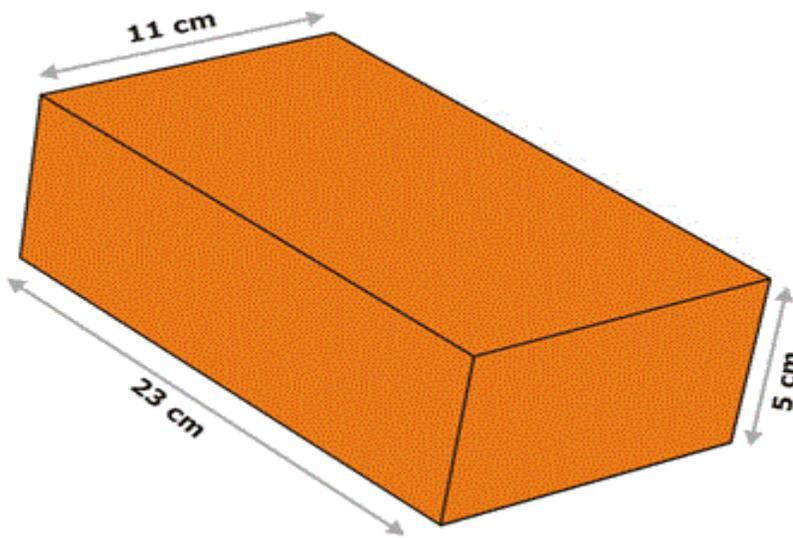


Figura1.1 Dimensiones del ladrillo.

1.3.3 Tipos de ladrillo

Según su forma, los ladrillos se clasifican en:

- Ladrillo perforado, son aquellos que tienen perforaciones en la tabla que ocupen más del 10 % de la superficie de la misma. Se utilizan en la ejecución de fachadas de ladrillo.
- Ladrillo macizo, aquellos con menos de un 10 % de perforaciones en la tabla. Algunos modelos presentan rebajes en dichas tablas y en las testas para ejecución de muros sin llagas.
- Ladrillo tejar o manual, simulan los antiguos ladrillos de fabricación artesanal, con apariencia tosca y caras rugosas. Tienen buenas propiedades ornamentales.
- Ladrillo aplantillado, aquel que tiene un perfil curvo, de forma que al colocar una hilada de ladrillo, generalmente a sardinel, conforman una moldura corrida. El nombre proviene de las plantillas que utilizaban los canteros para labrar las piedras, y que se utilizan para dar la citada forma al ladrillo.
- Ladrillo hueco, son aquellos que poseen perforaciones en el canto o en la testa que reducen el peso y el volumen del material empleado en ellos, facilitando su corte y manejo. Aquellos que poseen orificios horizontales son utilizados para tabiquería que no vaya a soportar grandes cargas. Pueden ser de varios tipos:
 - Rasilla: su soga y tizón son mucho mayores que su grueso. En España, sus dimensiones más habituales son 24 × 11,5 × 2,5 cm respectivamente.
 - ✓ Ladrillo hueco simple: posee una hilera de perforaciones en la testa.
 - ✓ Ladrillo hueco doble: con dos hileras de perforaciones en la testa.
 - ✓ Ladrillo hueco triple: posee tres hileras de perforaciones en la testa.
- Ladrillo caravista: son aquellos que se utilizan en exteriores con un acabado especial.
- Ladrillo refractario: se coloca en lugares donde se trabaja a elevadas temperaturas, como hornos o chimeneas (Abajo, 2000).

1.3.4 Fabricación de ladrillos

1.3.4.1 Proceso de elaboración

Hoy día, en cualquier fábrica de ladrillos se llevan a cabo una serie de procesos, que comprenden desde la elección del material arcilloso al proceso de empaqueo final. La materia prima utilizada para la producción de ladrillos es, fundamentalmente, la arcilla. Este material está compuesto, en esencia por cantidades variables de óxidos de hierro y otros materiales alcalinos, como los óxidos de calcio y los óxidos de magnesio.

Las partículas del material arcilloso son capaces de absorber higroscópicamente hasta un 70 % de su peso en agua. Cuando está hidratada, la arcilla adquiere la plasticidad suficiente para ser moldeada, a diferencia de cuando está seca; estado en el que presenta un aspecto terroso.

Durante la fase de endurecimiento, por secado o cocción, el material arcilloso adquiere características de notable solidez, y experimenta una disminución de masa, por pérdida de agua, de entre un 5 y un 15 %.

Una vez seleccionado el tipo de arcilla el proceso puede resumirse en:

- Maduración
- Tratamiento mecánico previo
- Depósito de materia prima procesada
- Humidificación
- Moldeado
- Secado
- Cocción
- Almacenaje

➤ **Maduración**

Antes de incorporar la arcilla al ciclo de producción hay que someterla a ciertos tratamientos de trituración, homogeneización y reposo al aire libre, con la finalidad de obtener una adecuada consistencia, secado tangente y uniformidad de las características físicas y químicas deseadas.

El reposo a la intemperie tiene la finalidad de facilitar el desmenuzamiento de los terrones y la disolución de los nódulos para impedir las aglomeraciones de partículas arcillosas. La exposición a la acción atmosférica (aire, lluvia, sol, hielo, etc.) favorece además la descomposición de la materia orgánica que pueda estar presente y permite la purificación química y biológica del material. De esta manera se obtiene un material completamente inerte y poco dado a posteriores transformaciones mecánicas o químicas.

➤ **Tratamiento mecánico previo**

Después de la maduración en la zona de acopio, sigue la fase de pre-elaboración, la cual consiste en una serie de operaciones que tienen la finalidad de purificar y refinar la materia prima. Los instrumentos utilizados en la pre-elaboración, para un tratamiento puramente mecánico suelen ser:

- Rompe-terrones: como su propio nombre indica, sirve para reducir las dimensiones de los terrones hasta un diámetro de entre 15 y 30 mm.
- Eliminador de piedras: está constituido generalmente por dos cilindros que giran a diferentes velocidades, capaces de separar la arcilla de las piedras o «chinos».
- Desintegrador: se encarga de triturar los terrones de mayor tamaño, más duros y compactos, por la acción de una serie de cilindros dentados.
- Laminador refinador: está formado por dos cilindros rotatorios lisos montados en ejes paralelos, con separación, entre sí, de 1 a 2 mm, espacio por el cual se hace pasar la arcilla sometiénola a un aplastamiento y un planchado que hacen aún más pequeñas las partículas. En esta última fase se logra la trituración de los últimos nódulos que pudieran estar todavía en el interior del material. justificar

➤ **Depósito de materia prima procesada**

A la fase de pre-elaboración el material arcilloso se deposita en silos especiales en un lugar techado, donde el material se homogeneiza definitivamente tanto en apariencia como en características físico-químicas.

➤ **Humidificación**

Antes de llegar a la operación de moldeo, se saca la arcilla de los silos y se lleva a un laminador y posteriormente a un mezclador humedecedor, donde se agrega agua para obtener la humedad requerida.

➤ **Moldeado**

El moldeado consiste en hacer pasar la mezcla de arcilla a través de una boquilla al final de la estructura. La boquilla es una plancha perforada que tiene la forma del objeto que se quiere obtener.

El moldeado se suele hacer en caliente utilizando vapor saturado aproximadamente a 130 °C y a presión reducida. Procediendo de esta manera se obtiene una humedad más uniforme y una masa más compacta, puesto que el vapor tiene un mayor poder de penetración que el agua.

➤ **Secado**

El secado es una de las fases más delicadas del proceso de producción. De esta etapa depende, en gran parte, el buen resultado y calidad del material, más que nada en lo que respecta a la ausencia de fisuras. El secado tiene la finalidad de eliminar el agua agregada en la fase de moldeado para poder pasar a la fase de cocción.

Esta fase se realiza en secaderos que pueden ser de diferentes tipos. A veces se hace circular aire de un extremo a otro por el interior del secadero, y otras veces es el material el que circula por el interior del secadero sin inducir corrientes de aire. Lo más normal es que la eliminación del agua del material crudo se lleve a cabo insuflando aire caliente con una cantidad de humedad variable. Eso permite evitar golpes termohigrométricos que puedan producir una disminución de la masa de agua a ritmos diferentes en distintas zonas del material y, por lo tanto, a producir fisuras localizadas.

➤ **Cocción**

Se realiza en hornos de túnel, que en algunos casos pueden llegar a medir hasta 120 m de longitud, donde la temperatura en la zona de cocción oscila entre 900 °C y 1000 °C.

En el interior del horno la temperatura varía de forma continua y uniforme. El material secado se coloca en carros especiales, en paquetes estándar y es introducido por una de las extremidades del túnel, saliendo por el extremo opuesto una vez que está cocido.

Durante la cocción se produce la sinterización, resultando una de las instancias cruciales del proceso en lo que a la resistencia del ladrillo respecta.

➤ **Almacenaje**

Antes del embalaje se procede a la formación de paquetes sobre pallets, que permitirán después moverlos fácilmente con carretillas de horquilla. El proceso de embalaje consiste en envolver los paquetes con cintas de plástico o de metal, de modo que puedan ser depositados en lugares de almacenamiento, para posteriormente ser trasladados en camiones (Facincani, 1993).

1.4 Antecedentes de la investigación

La patente sueca (VASCAL, L. 2001), da a conocer el uso de vidrio reciclado como material de relleno, una fracción (vidrio) de 0-0,25 mm en el hormigón. En esta el 95 % en peso del material de relleno de cristal empleado tiene un tamaño inferior a 0,3 mm. Según la patente es objetivo del método proporcionar un hormigón que tenga una buena resistencia a la compresión y buenas propiedades en relación con la docilidad del hormigón fresco. Al emplear un material de relleno de granos muy finos es posible reducir el contenido en agua, lo que generalmente proporciona una mayor resistencia a la compresión al hormigón. Sin embargo, la elección de un tamaño de grano según esta patente implica un riesgo potencial de reactividad alcalina en el hormigón curado, especialmente en aquellos casos en que el hormigón también incluye áridos reactivos con los álcalis.

En 1998 Sugrañes Baena (SUGRAÑES B. F, 1998) desarrolla un procedimiento para la fabricación de aglomerados de cemento introduciendo vidrio reciclado triturado. Se sustituyen las arenas silíceas, calcáreas de mármol y similares por vidrio triturado procedente de la recuperación, el cual le confiere una resistencia muy elevada a la capa de desgaste, que permite mediante un tratamiento complementario de pulido,

diversidad de acabados, de gran utilidad para la utilización de baldosas, adoquines, escalones, zócalos, placas de gran superficie y aglomerado para señalizaciones horizontales.

(Flores Villanueva, M.R, 2005) y (Sánchez. C.LI, 2008) realizaron un estudio preliminar del reemplazo del árido constituyente del hormigón por vidrio en diferentes porcentajes. Durante el mismo se realizaron pruebas granulométricas, cálculos de densidades y ensayos para determinar el comportamiento mecánico de la mezcla cemento-árido-vidrio. En las pruebas realizadas se demostró que el hormigón con vidrio cumple con la resistencia mínima requerida por dosificación, según Norma NC 163: 1979, (LABBÉ, 2013) hasta un 75 % de adición de vidrio; aunque esta disminuye a medida que aumenta el porcentaje de vidrio añadido.

Según (Beissinger, H, 2010) estudia el comportamiento de la permeabilidad y resistencia a la compresión del mortero de cemento con adiciones de vidrio finamente triturado y establece la relación entre ambas propiedades.

(Escardino, 2001), llevó a cabo un proyecto de investigación para potenciar el uso de vidrio reciclado y residuos procedentes del proceso de producción cerámico en la fabricación industrial de baldosas cerámicas. El estudio determinó que el vidrio puede ser tratado e incorporado a las distintas partes que conforman una baldosa cerámica (soporte, engobe y esmalte), después de ser clasificado en función de su composición y su distribución granulométrica, logrando unas prestaciones técnicas idénticas a las del gres porcelánico convencional. Además permite la incorporación de *chamotas* a la composición de la pasta de gres porcelánico después de acondicionar su granulometría; también ha permitido formular composiciones de esmaltes en base a la introducción del vidrio de recuperación, tanto de naturaleza sódico-cálcica como de naturaleza borosilicatada.

(Guayanay Juca, 2016), crearon un nuevo tipo de concreto en el cual aproximadamente el 20 % del cemento utilizado es sustituido por vidrio reciclado molido. Se plantea que el uso del vidrio ayuda a reducir las emisiones de dióxido de carbono que se generan debido a las altas temperaturas necesarias para crear el cemento y además disminuye la cantidad de desechos de vidrio que se deposita en

los vertederos. El vidrio molido proporciona al concreto mayor fortaleza, durabilidad y resistencia al agua ya que el vidrio molido entra en una reacción beneficiosa con los hidratos del cemento.

Según (Marco, 2012), obtiene altos valores de resistencia a la compresión simple de los morteros en los que el conglomerante está compuesto fundamentalmente de polvo de vidrio. Las resistencias aumentan a medida que disminuye la granulometría del polvo de vidrio y mayor sea la cantidad de este. Los morteros fabricados a partir de polvo de vidrio, cemento y cal, en las proporciones adecuadas, constituyen un material idóneo para ser usado como conglomerante en la estabilización de suelos ya que se prolonga el tiempo del proceso de fraguado, lo que minimiza el riesgo de aparición de grietas en el pavimento. En la evaluación de la resistencia a la compresión de los morteros confeccionados, una parte del conglomerante tradicional es sustituido por el polvo de vidrio en diferentes proporciones y granulometrías. Añade además reactivos básicos que permiten la obtención de pH superiores a 12 en las que el vidrio es muy reactivo.

(PONS, 1996), determinaron la composición química de las arcillas ferrocaolínicas gibbsíticas del yacimiento de Centeno, con el objetivo de caracterizarlas para su posible utilización como material refractario, como revestimiento de cazuelas en la Empresa Mecánica del Níquel (EMNi), concluyendo que los depósitos de arcillas estudiadas tuvieron su origen en la meteorización de cuerpos de gabros, los cuales forman parte del complejo ofiolítico de la región y son perfectamente utilizables como material refractario.

En la investigación de (Telles, 2016), realiza una evaluación de mezclas de gabro de la zona de Cayo Guam para su utilización en la industria de la cerámica roja, en ella analiza varios parámetros y como resultado que los gabros se pueden utilizar como materia prima para la fabricación de ladrillos, adicionándole otros materiales.

El trabajo de (Chacón-Moreira, 2016), evaluación de mezclas de materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam y arena sílice residual para su utilización en la industria cerámica, utiliza gabros de Cayo Guam adicionándole arena sílice, en el trabajo

analiza varios parámetros que conllevan a buenos resultados, como es la resistencia a la compresión de los ladrillos.

Conclusiones parciales

1. El uso del vidrio reciclado puede representar una alternativa viable para alcanzar una mejora en las mezclas en la producción de ladrillos macizos.
2. En Cuba se generan anualmente más de 200 toneladas de embace de vidrio que no son utilizadas, las cuales pueden ser encaminadas a la producción de ladrillos macizos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La adecuada selección de los métodos y de los materiales es fundamental en todo trabajo investigativo, para garantizar su desarrollo eficaz y la veracidad de los resultados, de ahí que este haya sido uno de los momentos más cuidadoso, en cuanto a la toma y preparación de las muestras y la completa caracterización química y mineralógica del yacimiento a evaluar.

2.1 Materiales a utilizar

Para realizar el diseño de experimento de la investigación se emplearon los siguientes materiales:

- Gabros del Yacimiento Cayo Guam
- Vidrio reciclado

2.1.1 Descripción de la materia prima

2.1.1.1 Gabros de Yacimiento Cayo Guam

En la figura 2.1 se muestra la cantera de gabro del Yacimiento Cayo Guam, ubicada a 400 m en dirección sur hacia el río Cayo Guam, limita al norte con la carretera central Moa – Baracoa. El material presenta coloración pardo amarillo, de composición areno arcillosa y con alto grado de alteración. El área aproximada es de 10 903 m², afectada por los eventos tectónicos, vegetación predominante en la parte superior de yagruma e hicacos.

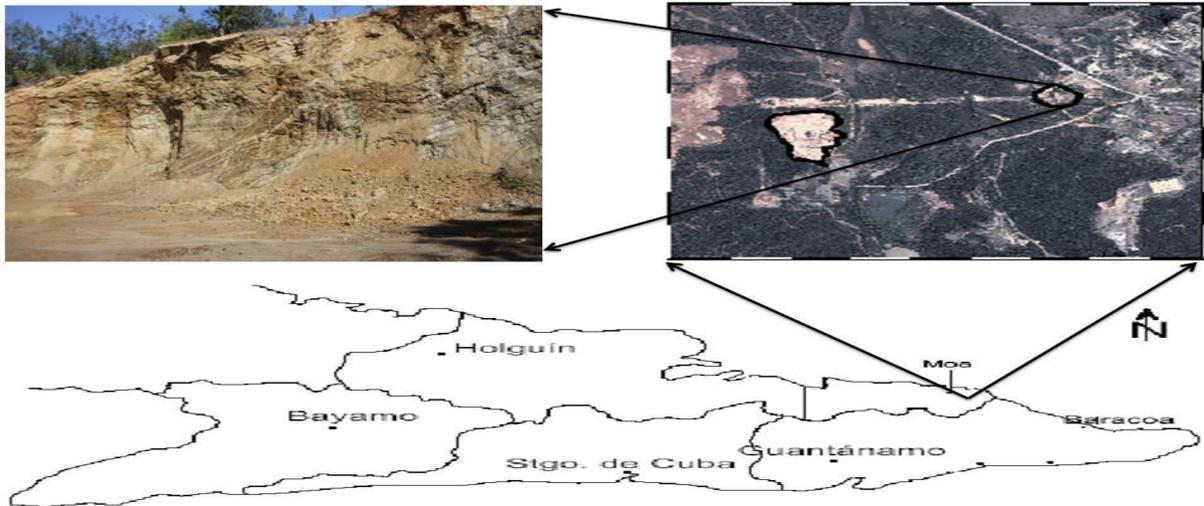


Figura 2.1 Esquema de ubicación geográfica del área de estudio escala 1:10000. (Modificado del Google)

De acuerdo a la composición química que se muestra en la tabla 2.1, los gabros existentes en el yacimiento de Cayo Guam, tienen un alto contenido de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 .

Tabla 2.1 Composición química de gabros intemperizados (%) (Rodríguez, 2013)

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	TiO_2	PPI
44,74	37,95	1,47	0,22	0,07	1,10	0,16	0,66	0,25	2,84

2.1.1.2 Desechos de Vidrio Reciclado

Se utilizó vidrio reciclado de botellas de cervezas, frascos de medicina de color ámbar y verde, recuperados por la Empresa de Materias Primas Municipio de Moa como se observa en la (figura 2.2).



Figura 2.2 Desechos de vidrio molido

2.2 Metodología empleada para la confección de los ladrillos

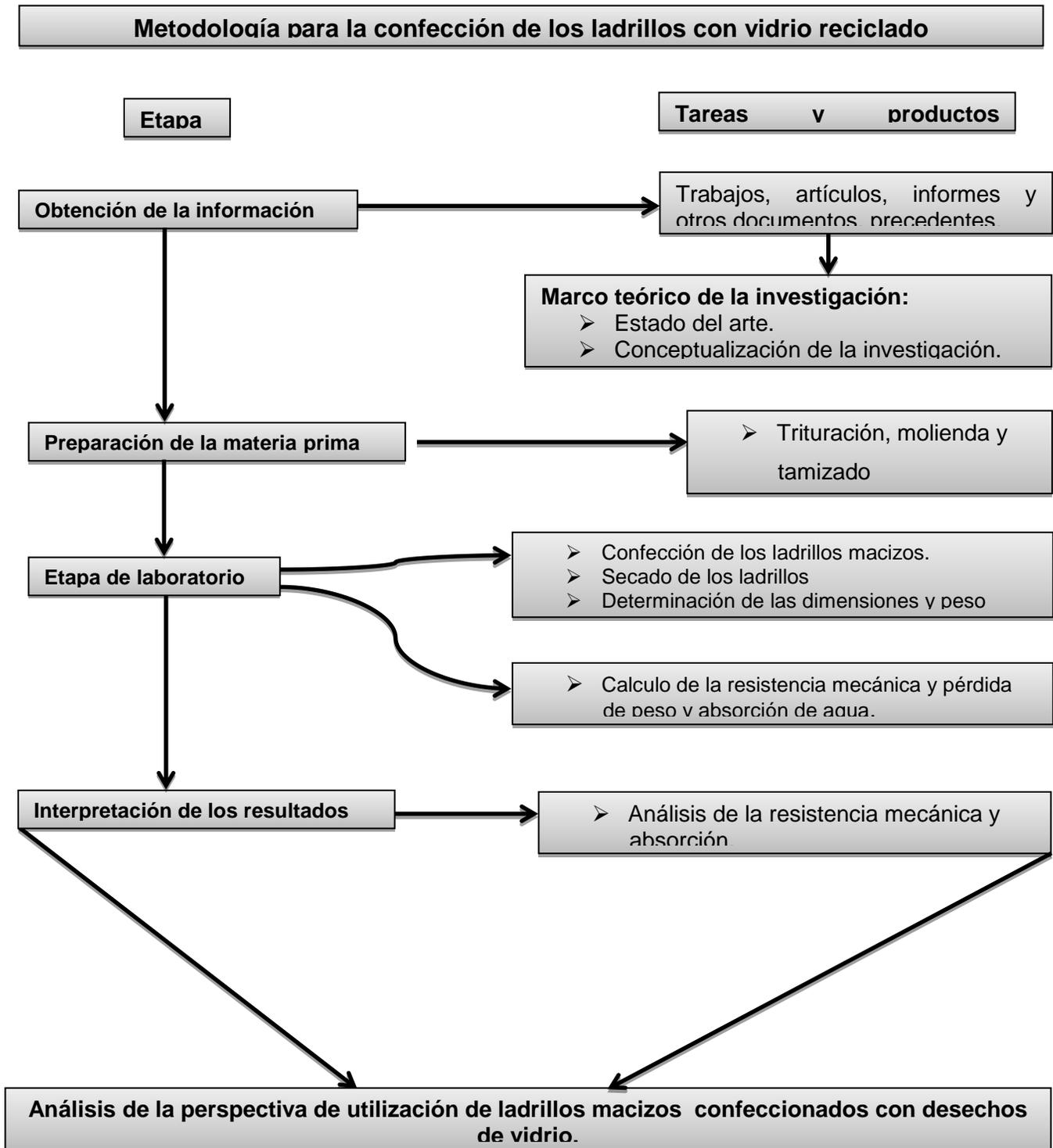


Figura 2.3 Organigrama de la metodología de la investigación

La investigación fue llevada a cabo en cuatro etapas de trabajo que permitieron realizar una mejor valoración de los ladrillos macizos elaborados con desechos de vidrio como aditivo.

Primera Etapa: recopilación de la información donde se obtuvo gran cantidad de trabajos, artículos, informes etc. que permitió realizar un análisis profundo del estado del arte a nivel nacional e internacional y la conceptualización general del tema en cuestión.

Segunda Etapa: los desechos de vidrio a utilizar en la confección de los ladrillos macizos fueron triturados, molidos y tamizados en el laboratorio de Beneficio de minerales perteneciente a ISMM donde se realizaron las mezclas y los moldes de los ladrillos para determinar su utilización.

Tercera Etapa: conocido que los desperdicios de vidrio triturado son conformes según la NC 251:2005 para su utilización como arena se procedió a confeccionar los ladrillos macizos con 30, 40 y 50 % de vidrio como aditivo en la mezcla de gabra. Se sometieron al proceso de secado al sol durante siete días y se determinaron sus dimensiones y peso. Luego se sometieron al proceso de cocción por 6 horas dentro del horno, seguido se sometieron a ensayos de compresión y absorción de agua.

Cuarta Etapa: en esta última etapa se analizaron los resultados del laboratorio, se graficaron los valores y se determinaron las tendencias de las dimensiones, peso, resistencia a la compresión y absorción de agua, teniendo en cuenta su comportamiento para cada una de las adiciones de desechos de vidrio lo que permitió valorar la utilización de estos ladrillos como elementos constructivos

2.3 Métodos empleados en la experimentación

Toda investigación implica la utilización de métodos que propicien el cumplimiento del proceso investigativo, ya que es la forma de estudiar los fenómenos con el propósito de descubrir la esencia de los mismos y sus relaciones.

Método de análisis y síntesis: el análisis es el proceso por el cual se examina un objeto en sus partes dirigido a lo individual, mientras que la síntesis es la unión de lo que se adquiere en el análisis.

En la investigación el método se emplea para analizar los diferentes modos en los que son utilizados los desechos de vidrio reciclado en las mezclas para materiales de construcción a nivel mundial, fundamentalmente en aquellas donde se utiliza como sustituto o como adicción en otras mezclas.

Método histórico-lógico: el método histórico-lógico permite indagar en los referentes teóricos que identifican las relaciones entre el proceso cognoscitivo lógico y el desarrollo histórico de los procesos en su conjunto y del conocimiento en particular.

El mismo es aplicable para estudiar el vidrio desde su creación, propiedades y características, permitiendo su utilización y reutilización, así como conocer los principales procedimientos para su aplicación en las mezclas de construcción y de esta forma sustentar científicamente la investigación.

Método inductivo y deductivo: es un proceso que permite la búsqueda de información y toma como referencia la relación de los aspectos generales a los particulares y viceversa (Taylor & Bogdan 1984).

Permite abordar los referentes teóricos que se utilizan para sustentar la indagación científica, así como las investigaciones precedentes aplicadas a las mezclas de materiales de construcción utilizando desechos de vidrio reciclado.

2.4 Diseño de experimentos

Por la sencillez y la rapidez de la obtención de los resultados, se escogió el método tradicional de experimentación, en las investigaciones exploratorias, lo hacen candidato para ser utilizado en este trabajo. Se escogió para el desarrollo de la investigación un diseño de mezclas, que permite hacer una comparación entre la composición de varias mezclas y seleccionar cuál de ellas ofrece mejores resultados respecto a las variables de salida. Se eligió además, una temperatura de cocción de

900 °C, un tamaño de partículas de -0,25 mm para el grabo de Cayo Guam y para el vidrio reciclado un tamaño de partícula menor de -0,59 mm. Para la selección de las variables se tuvo en cuenta el número de materiales a utilizar y los parámetros físico-mecánicos que se quieren determinar. Las variables se identificaron, como se muestra a continuación. Para el estudio de la actividad de la mezcla se analizará solamente la influencia de la presencia del vidrio reciclado como aditivo en un 30, 40 y 50 % en la mezcla de grabo.

2.4.1 Preparación de los materiales en cuanto a su dosificación

Variables de entrada (X)

Composición de la mezcla.

X₁ – Grabo de Cayo Guam.

X₂ – Vidrio reciclado.

Temperatura de cocción

Tamaño de partículas

Condiciones de secado y cocción.

Variables de salida (Y)

Y₁ – Porcentaje de contracción lineal.

Y₂ – Porcentaje de absorción.

Y₃ - Resistencia a la compresión.

Y₄ - Pérdida de peso.

La tabla 2.2 muestra la dosificación de los materiales para conformar la mezcla con adicción de vidrio.

Tabla 2.2 Dosificación de los materiales para la conformación las mezclas

Mezclas	Dosificación (%)			
	1	2	3	4
X_1	100	70	60	50
X_2	0	30	40	50

En la tabla 2.2 se muestra la dosificación de las variables de entrada compuesta por gabro y vidrio reciclado, variando los por cientos de adicción de vidrio, iniciando con un 100 % de mezcla de gabro como patrón.

2.5 Preparación de las mezclas para la conformación de las piezas

2.5.1 Toma y preparación de la muestra

La muestra de Gabro se tomó mediante el método por puntos. Se abarcó desde la base hasta la superficie. Las muestras de 10 puntos fueron mezcladas para constituir una muestra compuesta homogénea de 100 kg. Las muestras fueron sometidas a un proceso de reducción de tamaño mediante una etapa de trituración, la cual en trituradora de mandíbula (figura 2.4); la misma posee tiene un diámetro de alimentación de 100 y 25 mm de descarga.

Para el vidrio reciclado la muestra se tomó del depósito de la empresa de materia prima, una muestra de diferentes embace de distintos colores, las muestras fueron sometidas a un proceso de reducción de tamaño mediante dos etapa de trituración cada una por separado. Donde en la primera etapa se utilizó la trituración por impacto de forma manual con un mazo hasta lograr obtener fragmentos de 100 mm aproximadamente. Después de la trituración manual en que se obtienen tamaños máximos de 100 mm, se llevan a cabo otra etapa de trituración en trituradora de mandíbula (figura 2.4); la cual tiene un diámetro de alimentación de 100 y 25 mm de descarga.



Figura 2.4 Trituradora de mandíbulas TQ (150x75)

En la descarga de la segunda etapa del proceso de trituración se usó la operación de cribado de control con un tamiz de 0,59 mm.



Figura 2.5 Molino de bolas

El material retenido en el tamiz fue sometido a un proceso de molienda en un molino de bolas (figura 2.4) de 19,5 cm de diámetro interior y 24 cm de longitud para la obtención de la clase $-0,59$ mm, luego este material molido se utilizó en la elaboración de los ladrillos macizos, a los cuales se les realizó ensayos para determinar de la resistencia mecánica.

2.5.2 Moldeado

El moldeado consistió en obtener una masa compacta con una humedad uniforme, el mismo se realizó en moldes de madera con las siguientes dimensiones de 25 X 12 X 6 cm (figura 2.6), se moldeó manualmente, compactando lo máximo posible la pasta para evitar que quedaran espacios vacíos que pudieran provocar fisuras en el producto final, una vez compactada se enrasó y se dejó en el molde hasta que éste se pudiera retirar sin alterar sus dimensiones.



Figura 2.6 Moldeado en moldes de madera

2.5.3 Secado

Esta etapa es fundamental para los ladrillos, a medida que los ladrillos moldeados se vayan secando ocurre el proceso de contracción por la pérdida de agua y se van separando del molde, una vez separado del molde se retira y se deja secar el ladrillo al sol y al aire libre como se muestra en la (figura 2.7). El secado es una de las etapas más importantes del proceso de producción, ya que durante este proceso el material se contrae y un mal secado traería consigo que el material se fisure.

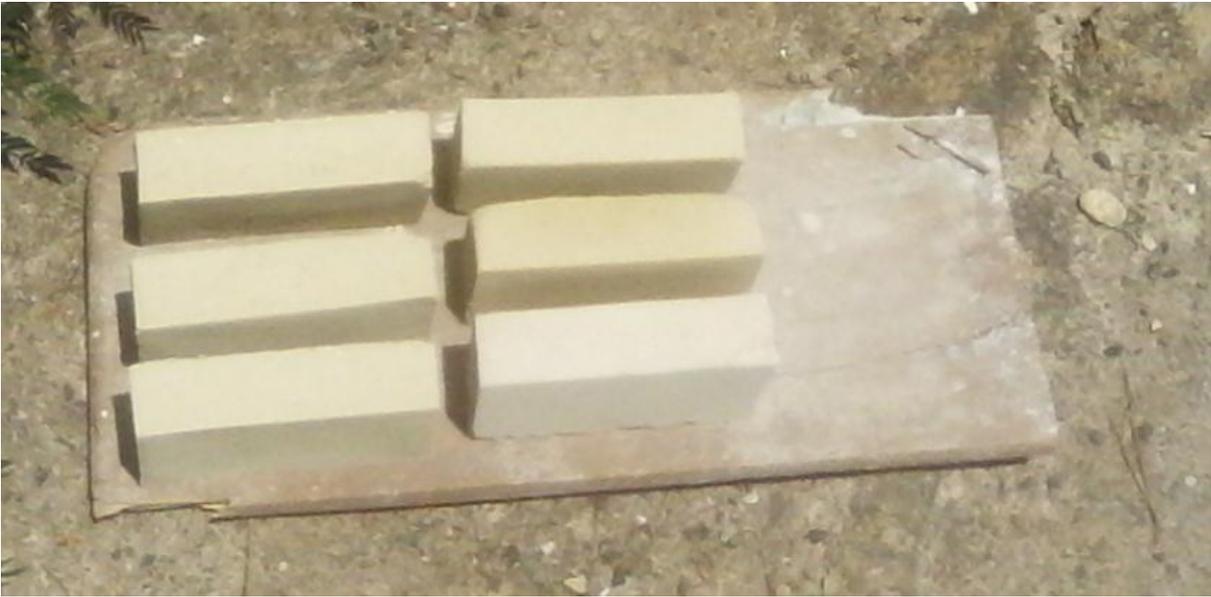


Figura 2.7 Secado al aire libre

2.5.4 Cocción

Durante este proceso se producen profundos cambios en la arcilla. El primero es la terminación de su secado, el cual debe efectuarse lentamente de lo contrario la formación de vapor en la pasta puede provocar agrietamiento y posterior su estallido. El siguiente cambio ocurre aproximadamente a 140 °C, cuando el agua combinada químicamente comienza a eliminarse. A partir de los 500 °C estará completamente deshidratada y la pieza no se ablanda ni se desintegra en el agua y ha perdido su plasticidad.

La cocción se realiza en un horno eléctrico J.P Selectade 2000 (figura 2.8), donde se aumenta gradualmente la temperatura hasta alcanzar 900 °C, y se mantuvo esta temperatura por 2 h, aquí se produce la sinterización. Por lo tanto, se puede decir que este es un proceso crucial en la producción, y de mucho cuidado y control, ya que del mismo depende la calidad del producto final.



Figura 2.8 Horno eléctrico J.P Selecta 2000

2.5.5 Producto final

El producto obtenido fue un ladrillo, probeta a la cual se evaluó el comportamiento de la mezcla de vidrio y gabra.

2.6 Metodología para la realización de los ensayos

Para la determinación de los ensayos: contracción lineal, pérdida de masa, absorción de agua y resistencia a la compresión, se utilizaron mediante métodos sencillos que se describen a continuación.

2.6.1 Parámetros a ensayar

- Pérdida de peso, (%)
- Absorción de agua en porcentaje, (%)
- Resistencia a la compresión, (MPa)

2.6.2 Ensayo de pérdida de peso

Para realizar este ensayo las muestras se deben de pesar antes y después de ser cocidas. Luego que se obtienen los datos se procede al cálculo por la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdida de peso} = \frac{\text{Peso seco} - \text{Peso cocido}}{\text{Peso cocido}} \cdot 100 (\%) \quad (1)$$

Donde:

Peso seco: P.S (g)

Peso cocido: P.C (g)

2.6.3 Ensayo de absorción de agua de la arcilla cocida

Se realiza con el objetivo de determinar la capacidad de absorción de agua del elemento.

1. Pesar cuidadosamente las probetas cocidas.
2. Mantener sumergida en agua la muestra por 24 horas.
3. Secar la superficie de las probetas con una toalla y pesarlas otra vez.
4. Calcular la absorción utilizando la ecuación

$$\text{Absorción de agua} = \frac{\text{Peso saturado} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} 100, (\%) \quad (2)$$

Dónde:

Peso saturado: P. saturado (g)

Peso seco: P. seco (g)



Figura 2.9 Ensayo a la absorción de agua

2.6.4 Ensayo de resistencia a la compresión

Se somete cada elemento que constituye la muestra del ensayo a una carga de compresión perpendicular a las caras mayores del mismo y se determina la carga en el momento de ruptura.

1. Medir el área de las probetas
2. Ubicar la probeta en el equipo
3. Asegurarse de que está bien ubicada para evitar valores erróneos
4. Calcular la resistencia por la siguiente ecuación:

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{F_i}{A_i} \times f \text{ (MPa)} \quad (3)$$

Dónde:

F_i = Carga de rotura del elemento (kgf)

A_i = Área de la cara del ladrillo expuesta a la carga cm^2

f = factor de conversión de kgf/cm^2 a MPa

Nota: Si la máquina de ensayos a la compresión indicara la carga F_i en N entonces se utiliza la ecuación siguiente:

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{F_i \times 100}{A_i} \text{ (MPa)} \quad (4)$$



Figura 2.10 Prensa Hidráulica de 10 t

Conclusiones del capítulo

- Las características granulométricas del vidrio reciclado molido avalan su empleo como fuente materia prima para su uso en la fabricación de ladrillos macizos.
- La metodología empleada en la investigación permite conocer la posibilidad de empleo del vidrio reciclado en la elaboración de ladrillos macizos.
- Los ensayos empleados en la investigación se sustentan en una base sólida que contribuye a la obtención de resultados confiables.

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados experimentales que confirman la hipótesis sobre las potencialidades del material vidrio reciclado, a través de sus características físico - mecánicas que permitieron la determinación de sus propiedades para la elaboración de ladrillos macizos de cerámica roja.

Para validar los resultados de los ensayos mecánicos se establece una comparación con las normas cubanas establecidas: NC 360:2005 para ladrillos cerámicos de arcilla cocida, y NC 359:2005 para ladrillos y bloques cerámicos de arcilla cocida - método de ensayo. Las cuales se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Rango de variación de las propiedades físicas – mecánicas según la norma cubana NC 359:2005.y 360.

Propiedades físico- mecánicas	Rangos establecidos
Contracción lineal (%)	6
Absorción de agua (%)	8-18
Resistencia a la compresión (MPa)	10

3.1 Proceso de secado de los ladrillos

El proceso de secado es de fundamental importancia dentro de las etapas de elaboración de los mismos. Una de las principales tendencias para mejorar su desempeño, es realizarlo a la sombra en naves que tengan regularmente un puntal bajo y de ser posible, tener previstos medios para limitar la entrada excesiva de fuertes vientos que puedan provocar grietas en la superficie de los ladrillos. De esta

forma se logra un secado bastante uniforme en los ladrillos, aunque su velocidad está determinada en función de la época del año, temperatura, velocidad del viento y humedad ambiental. Durante este proceso se producen la contracción de las piezas al perder el agua externa, disminuyendo sus dimensiones iniciales y características físicas de las piezas, las que de no transcurrir dentro de ciertas condiciones, producen efectos irreversibles tales como fisuras, agrietamiento y deformaciones. El secado de dichas piezas tuvo gran variabilidad debido a la influencia del aditivo utilizado.

Con la adición de vidrio reciclado a la mezcla de gabra, se obtuvo resultados muy favorables en el proceso de secado, analizando las condiciones antes expuesta los ladrillos se secaron bajo condiciones del intenso calor y a la luz del sol a tiempo completo, los resultados arrojaron que los ladrillos se secaron en el menor tiempo establecido 7 días, cuando normalmente su tiempo de secado es de 15 a 25 días en condiciones normales, ninguno de ellos presentaron fisuras, agrietamiento o malformaciones, todos en un buen estado y se logró elaborar 20 ladrillos con dosificaciones diferentes en menos de 7 días.

3.2 Análisis de los resultados de pérdida de peso

Este parámetro se obtuvo a partir de la ecuación (1), permite conocer la facilidad de manejo del producto final, por pérdida de peso. Los resultados se muestran a continuación en la tabla 3.2. La pérdida de peso en cada muestra se representa en porcentaje.

Tabla 3.2 Resultados de pérdida de peso, con temperatura de cocción a 900 °C.

Masa de las muestras en seco (g)				
Muestras	Muestra patrón	Adición de 30%	Adición de 40%	Adición de 50%
Y-1	305	310	320	330
Y-2	305	310	320	330
Y-3	305	310	320	330
Y-4	305	310	320	330

Y-5	305	310	320	330
Masa de las muestras cocidas (g)				
Y-1	275	280	290	300
Y-2	275	280	290	300
Y-3	275	280	290	300
Y-4	275	280	290	300
Y-5	275	280	290	300
Pérdida de peso en %				
Y-1	10,91	10,71	10,34	10,00
Y-2	10,91	10,71	10,34	10,00
Y-3	10,91	10,71	10,34	10,00
Y-4	10,91	10,71	10,34	10,00
Y-5	10,91	10,71	10,34	10,00
Promedio	10,91	10,71	10,34	10,00

En la tabla 3.2 se muestran los resultados del peso de los ladrillos antes de la cocción y después de esta. Mostrando el promedio de la pérdida de masa, a partir de la cual se grafican los resultados como se observa en la figura 3.1.

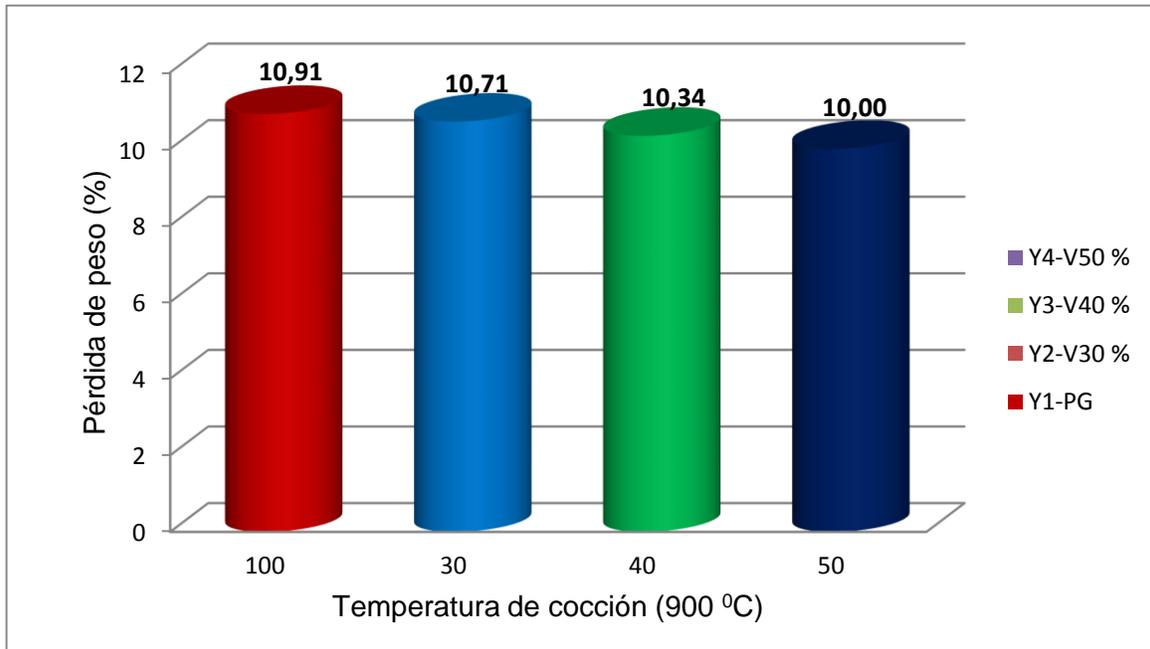


Figura 3.1 Pérdida de peso en las mezclas evaluadas a temperatura de cocción (900 °C)

Según los valores expuestos en la figura 3.1, la muestra patrón elaborada con un 100 % del material de gabro, tienen una pérdida de peso de un 10,91 %, la de adición de vidrio de un 30 % tienen una pérdida de peso de 10,71 %, la de adición de vidrio con un 40% alcanzan una pérdida de 10,34 % y la de adición de un 50 % de vidrio y un 50 % de gabro alcanza un valor de pérdida de peso de 10,00 %. Demostrándose que la mejor mezcla en este ensayo es la de 50 % de gabro y 50 % de vidrio ya que es la que menos peso pierde.

Dónde:

Y1: Patrón de Gabro al 100 %.

Y2: Dosificación con 30 % de vidrio y 70 % de gabro.

Y3: Dosificación con 40 % de vidrio y 60 % de gabro.

Y4: Dosificación con 50 % de vidrio y 50 % de gabro.

3.3 Análisis del resultado de absorción de agua

El análisis de este parámetro se obtuvo a partir de los resultados obtenidos que se muestran en la tabla (3.3), para cada una de las mezclas. La capacidad de absorción de cada muestra se presenta en porcentaje y se ilustra en la figura (3.2). Esta demuestra que a mayor porcentaje adicionado de vidrio disminuye el porcentaje de absorción en los ladrillos.

Tabla 3.3 Resultados de la absorción de agua, con temperatura de cocción a 900 °C

Peso de las muestras cocidas (g)				
Muestras	Patrón	Adición 30%	Adición 40%	Adición 50%
M – 1	284	280	240	290
Peso de las muestras saturadas (g)				
M – 1	347	340	290	268
M – 1 %	40,18	36,86	33,63	27,23

Como se puede observar en la figura 3.3, este ensayo confirma el porcentaje de absorción de agua que tiene cada una de las cuatro mezclas estudiadas. La mezcla patrón con tan solo un 100 % de gabra sin adicción de vidrio reciclado alcanza valor de (40,18 %) de absorción, la mezcla con un 30 % de adición de vidrio absorbe (36,86 %) de agua, para un 40 % de adicción de vidrio alcanza un valor de absorción de (33,63 %), resaltando que el valor más bajo de absorción lo obtuvo la dosificación de 50 % de vidrio con un valor de 27, 23 % de absorción.

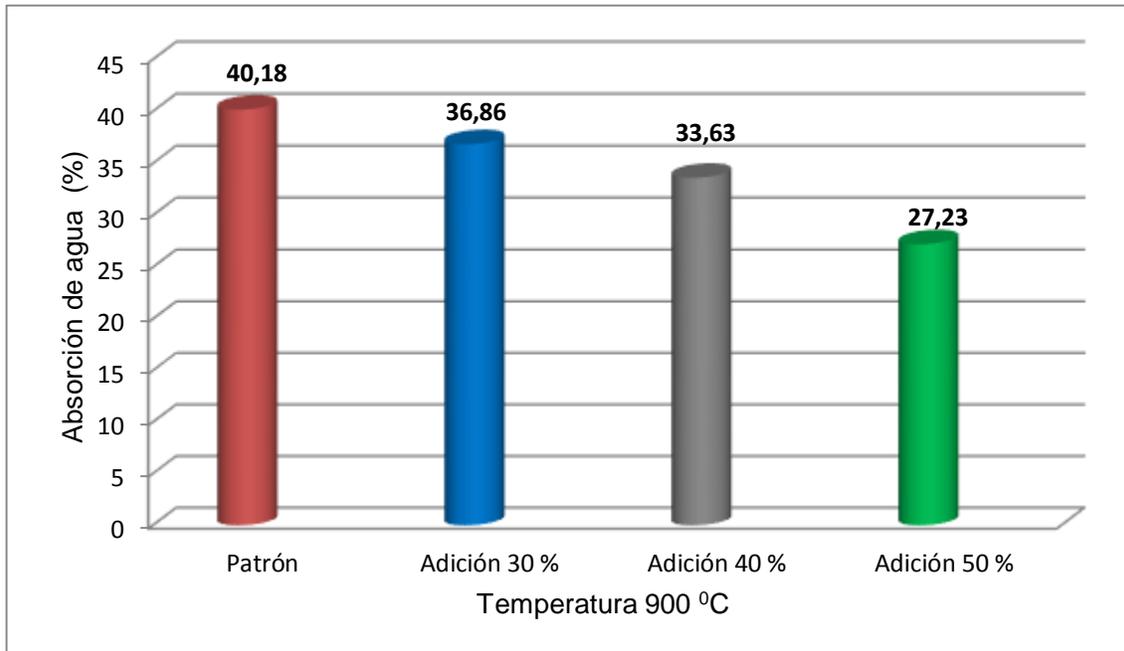


Figura 3.2 Resultados de la absorción de agua en las mezclas cocidas a una temperatura de (900 °C)

Dónde:

Y1: Dosificación con 30 % de vidrio y 70 % de gabro.

Y2: Dosificación con 40 % de vidrio y 60 % de gabro.

Y3: Dosificación con 50 % de vidrio y 50 % de gabro.

3.4 Análisis de los resultados de resistencia a la compresión

La resistencia mecánica caracteriza la capacidad de los objetos cerámicos de resistir golpes y cargas sin sufrir roturas durante su uso y manipulación. Los datos obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión se representan en la tabla 3.4

Tabla 3.4 Resultados de resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión (MPa)				
Muestras	Muestra patrón	Adición de 30%	Adición de 40%	Adición de 50%
Y-1	14,40	20,50	21,80	45,30
Y-2	14,80	20,70	24,80	46,50
Y-3	14,60	20,80	26,30	46,90
Y-4	14.90	21,40	27,90	47,40
Promedio	14,67	20,85	25,20	46,52

Los resultados obtenidos por la máquina de ensayo estaban en la unidad de medida KN/cm², fueron convertidos a (MPa), luego de realizar los cálculos correspondientes mediante la ecuación (4) y se ilustran en la figura 3.3.

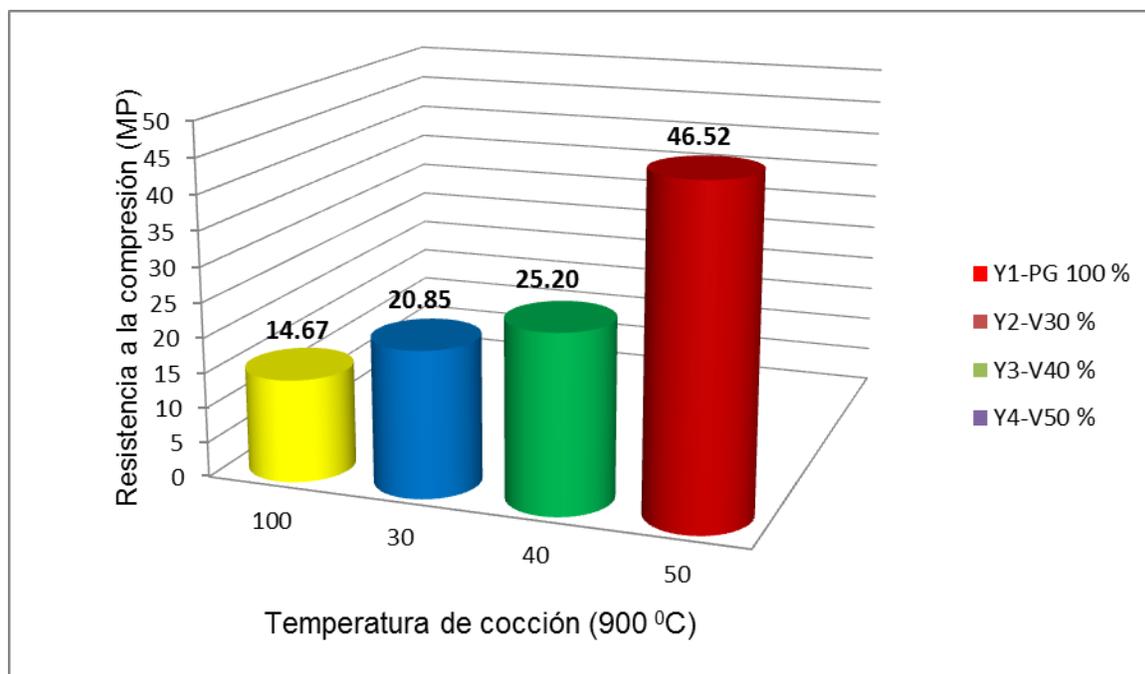


Figura 3.3 Resultados de la resistencia a la compresión, a una temperatura de cocción (900 °C)

En la figura 3.3 se muestran los valores obtenidos para las cuatro dosificaciones en estudio. Resaltando que todos los valores alcanzados se encuentran por encima del

rango establecido en la norma cubana (NC 359:2005 y NC 360:2005). La dosificación con 100 % de gabra alcanzo un valor de resistencia de (14, 67 MPa), para un 30 % de vidrio alcanzó un valor de (20,85 MPa) de resistencia, con un 40 % alcanzó un valor de (25,20 MPa) y la de un 50 % su mayor valor es de (46,52 % MPa). El mejor resultado lo alcanzó la dosificación de 50 % con adición de vidrio reciclado y 50 % de gabra. Atendiendo a la clasificación según la N-C 359 se pueden clasificar en ladrillos de clase A, ya que superan los valores establecidos por la misma. Este comportamiento se debe a que el material agregado al gabra le brinda mayor resistencia a los ladrillos macizos de cerámica roja.

Dónde:

Y1- Dosificación con 30 % de vidrio y 70 % de gabra.

Y2- Dosificación con 40 % de vidrio y 60 % de gabra.

Y3- Dosificación con 50 % de vidrio y 50 % de gabra.

3.5 Impacto Medio ambiental

Las influencias medioambientales de las operaciones mineras se relacionan fundamentalmente con la extracción de materiales de la construcción e introducción de desechos mineros, por lo que se originan cambios en la circulación de sustancias y energía en el entorno.

Estas influencias van transformando el paisaje originan en el desarrollo de procesos dañinos o degradantes. En general, se consideran como impactos ambientales, y su significado y carácter se estudian mediante el esclarecimiento de su origen, temporalidad, dinámica y distribución espacial, de forma que el territorio queda evaluado en función de la concentración de las mismas.

Dentro de los impactos ambientales derivados del desarrollo de la explotación de canteras de materiales de construcción se encuentran:

- Alteraciones del suelo y modificación de sus propiedades.
- Destrucción de la flora y la fauna.
- Pérdida de la biodiversidad.

- Alteraciones en las aguas superficiales (alteración de los ríos, drenajes superficiales, contaminación física y química de las aguas superficiales)
- Alteraciones en las aguas subterráneas (depresión del nivel freático, contaminación química del acuífero).
- Impactos sobre los riesgos geológicos (aumento del riesgo de desprendimientos o deslizamientos).
- Cambios geomorfológicos y del paisaje (modificación del relieve, alteración del color, rotura de la cuenca visual, introducción de formas extrañas, focalización de la percepción en la cantera en detrimento de otros puntos).
- Alteraciones en la atmósfera (emisión de polvo, ruido y vibraciones).
- Impactos sobre el medio socio - económico (limitación en los usos del suelo, destrucción de recursos culturales, impactos sobre las vías de comunicación).

El estudio de los problemas ambientales debe abarcar desde la prospección de la materia prima (minería de las arcillas), como primera actividad contaminadora, hasta el vertimiento de los desechos propios del proceso productivo (conformación y procesamiento de los objetos cerámicos).

En la fabricación de objetos cerámicos se tienen en cuenta tres etapas:

1. Extracción de la materia prima.
2. Beneficio de las arcillas.
3. Conformación y acabado del producto.

3.5.1 Problemas ambientales en las diferentes etapas del proceso

❖ Extracción de las arcillas

Debido a que la arcilla se encuentra a poca profundidad de la superficie, debajo de la capa vegetal, su extracción se realiza a cielo abierto, por vía seca y su impacto depende siempre de la extensión y la ubicación del terreno sobre todo lo que respecta a condiciones climáticas, regionales y de infraestructura, la misma conlleva a serias alteraciones medio ambientales.

Entre los problemas fundamentales que provoca el laboreo minero al medio podemos encontrar:

- La erosión de los suelos.

- Destrucción de la flora y fauna del lugar.
- Emisiones de polvo a la atmósfera.
- Problemas propios de contaminación por el uso de medios de transportación y extracción mecanizada.
- Desestabilización de pendientes.

❖ La segunda etapa comprende los siguientes procesos:

1. Mezclado de las materias primas
2. Clasificación
3. Filtración

En esta etapa, además se realiza la eliminación del agua de la mezcla por filtración o por sedimentación trayendo consigo el vertimiento de desechos líquidos. En el caso que nos ocupa podemos plantear que el agua que se utiliza en el mezclado de las arcillas no es un gran problema ya que la misma se recircula, es decir retorna al proceso, es vertida a los alcantarillados cercanos o regresa al ciclo de la atmósfera por evaporación. En ella no se disuelve ningún tipo de sustancia toxica que pudiera contaminar el medio u ocasionar daño o perjuicios ni a los suelos, animales, y/o la salud de los trabajadores.

Conclusiones Parciales

- Se demostró que secando los ladrillos en un periodo de 7 días a una temperatura de 35 °C bajo el sol, se disminuye el tiempo establecido de 15 a 25 días, sí que se agrieten los mismos.
- Se demostró mediante el ensayo de absorción de agua que la mezcla con un 50 % de adición de vidrio reciclado fue la que menos agua absorbió.
- El valor de la resistencia a la compresión obtenido en la mezcla con un 50 % de adición vidrio y 50 % de gabro, alcanza valores superiores según lo establecido por la norma NC 359:2005.

CONCLUSIONES

- Se demostró que secando los ladrillos en un periodo de 7 días a una temperatura de 35 °C bajo el sol, se disminuye el tiempo establecido de 15 a 25 días, lográndose que no se agrieten.
- Se demostró que un 50 % de adición de vidrio reciclado en las mezclas, presenta un bajo porcentaje de absorción de agua, por las características amorfas que presenta el vidrio y por la presencia de cristales de silicio contenida en los gabros.
- En la mezcla elaborada con un 50 % de adición de vidrio, se obtuvieron los mejores resultados de resistencia a la compresión de 46,52 MPa, superiores a los establecidos por la norma cubana NC: 360 2005.
- La mezcla de gabro del Yacimiento Cayo Guam de la región de Moa con el vidrio reciclado, poseen potenciales para ser utilizados en la producción de ladrillos macizos en la industria de la cerámica.

RECOMENDACIONES

- Profundizar en el estudio de las transformaciones que ocurren en el proceso cocción a diferentes temperaturas, que permitan observar los cambios estructurales que experimentan las mezclas.
- Evaluar el impacto económico, ecológico y social de la adición de vidrio como aditivo en la fabricación de ladrillos, a partir de un estudio de factibilidad económica, sobre las posibilidades de producir a escala industriales.
- Presentar los resultados de este trabajo a las autoridades del gobierno municipal y especialmente a la ECOPP, la cual rige estas producciones, proponiendo implementar el uso de las mezclas con adición de vidrio reciclado hasta un 50 % sustentado en los resultados de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACEVEDO, J. 1982. Materiales de Construcción. Ministerio de Educación. La Habana.1982
2. AGUILA. H, V. 2006. Residuos de Construcción y Demolición. Tesis de maestría. Instituto Juan de Herrera, 2007. 50p
3. ALAVEDRA, P. 1998. La construcción sostenible. El estado de la cuestión. Instituto Juan de Herrera. MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X. [en línea]. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n4/apala.html> [Consulta: 4 de mayo de 2013].
4. ALVARES DIAS, R. 2008. Modelo de innovación Tecnológica para la explotación de los Recursos Minerales Territoriales y su contribución al desarrollo local sostenible. Ponencia.
5. ANDREIEV, S. E. 1980. Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales. Editorial MIR. Pág 284-289.
6. Abajo, M. F. (2000). Manual sobre fabricación de baldosas, tejas y ladrillos, Beralmar.
7. Askeland, D. R. and P. P. Phulé (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales, International Thomson Editores.
8. BEISSINGER G, H., Sierra V, L. 2010. Efecto del Vidrio Triturado en la Permeabilidad de un Mortero. Trabajo de Título. Universidad de la Frontera, 2005. 62p.
9. COLECTIVO DE AUTORES.2008. Estado del arte “en las producciones de áridos en Cuba y propuesta del método para implementar sistemas de calidades en estos procesos (en línea).
http://www.minas.upm.es/relext/Red-CytedXIII/webrimin/rimin1/jornadas/01bermac_pdf/08_Calidad/Sosa.pdf. [Consulta 2 de mayo 2013].

10. COLECTIVO DE AUTORES. 2013. Resultados del Trabajo UERMP Año 2012. En: BALANCE ANUAL de la Unión de Empresas de Recuperación de Materias Primas: enero de 2013. 2013. La Habana, Unión de Empresas de Recuperación de Materias Primas. 82p
11. Castaño, J. O., et al. (2013). "Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes." Revista Tecnura **17**(38): 121-129.
12. Chacón-Moreira, M. (2016). "Evaluación de mezclas de materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam y arena sílice residual para su utilización en la industria cerámica." Ciencia & Futuro **6**(1): 50-66.
13. Dávila A. (4 de Agosto de 2009). Contaminación de ladrilleras causa problemas de salud en Guadalupe. Periodismo crítico. Recuperado de <http://ntrzacatecas.com/2009/08/04/contaminacion-de-ladrilleras-causa-problemas-de-salud-en-guadalupe/>.
14. Disfani, M., et al. (2011). "Recycled crushed glass in road work applications." Waste Management **31**(11): 2341-2351.
15. Elizondo Alanís, J. Á. (2014). Estudio de las propiedades mecánicas de vidrios sodo-cálcicos en función de variaciones en su microestructura, Universidad Autónoma de Nuevo León.
16. Escardino, A. (2001). "La innovación tecnológica en la industria cerámica de Castellón." Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio **40**(1): 43-51.
17. FERNÁNDEZ J. L. 2013. Normas de consumo de materias primas para los productos de la EMC Granma. Gramat, 2013. 6p
18. FERNÁNDEZ J. L. 2013. Dosificación de las materias primas de los productos de la EMC Granma. Gramat, 2013. 5p
19. FERNÁNDEZ J. L. 2013. Características de las rocas del cacao. Informe Técnico Gramat, 2013. 2p
20. FLORES V.,M. R. 2005. Hormigón con vidrio. Trabajo de Diploma. Universidad Austral de Chile, 2005. 62p.
21. Facincani, E., et al. (1993). Tecnología cerámica: los ladrillos, Faenza Editrice Ibérica.

22. Guayanay Juca, C. A. and A. L. Morales Mediavilla (2016). Análisis del comportamiento de hormigón con inclusión de vidrio reciclado en hormigones de resistencia normal, Quito: UCE.
23. Glass, S.-G. (2000). Manual del vidrio, Saint-Gobain Glass.
24. Gallego, M.A. (2 de Enero de 2008). Industria de reciclado en México. Recuperado de:
<http://ecolamancha.wordpress.com/2008/01/02/industria-del-reciclado-en-mexico/>.
25. Gaggino, R. 2004. Un nuevo desafío: construir con materiales reciclados. Revista Vivienda Popular. Montevideo, Uruguay. Ed. Facultad de Arquitectura de la Universidad de la República. 2004. N° 14, pp. 59 a 62.
26. García-Ten, J., et al. (2003). Recycling marble working wastes in manufacturing ceramic product. Part 2: Ceramic wall tile manufacture. CFI. Ceramic forum international, Göller.
27. Herve, F. and M. Del Campo (2010). "ESTUDIO PETROGRAFICO DEL GABRO CORONITICO DE LAGUNA VERDE, PROVINCIA DE VALPARAISO, CHILE." Andean Geology(2).
28. Karamberi A., Chaniotakis E., Papageorgiou D., & Moutsatsou A. (2006). Influence of glass cullet in cement pastes, China particuology, 4, 234-237.
29. LABBÉ, D. (2013). "Anteproyecto de Norma Ensayos de Hormigón a Fatiga por Hendidamiento." Valdivia. Universidad Austral de Chile. Fac. Cien. Ing.
30. Lozano, M. A. G. and P. P. Peña (2014). "Uso de vidrio de desecho en la fabricación de ladrillos de arcilla/Use of waste glass in the manufacture of clay bricks." CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias 1(2): 43-56.
31. Lázaro, C., et al. (2012). "Incorporación de residuos derivados de la fabricación cerámica y del vidrio reciclado en el proceso cerámico integral.
32. MATA, I. A. and I. C. GÁLVEZ (2014). "Reciclaje de vidrio." Obtenido de <http://genesis.uag.mx/posgrado/revistaelect/calidad/cal010.pdf>.
33. MARCO, J., GARCIA, E., ALCARAZ, V. A. LUIZAGA. 2012 Estudio de la resistencia a compresión de morteros fabricados con conglomerante compuesto de

polvo de vidrio [en línea] Informes de la Construcción, Vol. 64, 528, 529-536, octubre-diciembre 2012. [Consulta 2 de mayo 2013].

34. MARTÍNEZ, J.; PÉREZ, N.; PONCE, N.G.; BATISTA, R. 1994. Pronóstico de Materias Primas No Tradicionales de la República de Cuba. IGP. La Habana. Inédito.

35. MINISTERIO DE LA CONSTRUCCIÓN. 2011. EL ABECÉ De la producción local y la venta de los materiales de los Materiales de la Construcción. En: REUNIÓN NACIONAL de Producción Local: agosto de 2011. 2011. La Habana, Grupo Nacional de Producción Local y Venta de Materiales de Construcción. 41p

36. MORENO F, MANUEL. 1978 El Ingenio, complejo económico social cubano del azúcar. Editorial Ciencias Sociales. Tomo I.

37. Navarro, J. M. F. (2003). El vidrio, Editorial CSIC-CSIC Press.

38. Onishchuk V. I., Zhernovaya N. V., Min'ko N. I., & Kirienko A. D. (1999). Construction materials based on cullet, *Glass and Ceramics*, 56, 5-7.

39. PONS, J. and C. Leyva (1996). "Empleo de las arcillas ferrocaoliníticas–gibbsíticas de la región de Moa en los talleres de fundición." *Minería y Geología* **13**(3): 93-97.

40. Pearson, C. (2005). "Manual del Vidrio Plano." CAVIPLAN, Cá.

41. RODRÍGUEZ REYES, I. (2013). Caracterización de materiales arcillosos del depósito Cayo Guam para su posible empleo como material cementicio suplementario., Instituto Superior Minero Metalúrgico.

42. Raimondo, M., et al. (2007). "Effect of waste glass (TV/PC cathodic tube and screen) on technological properties and sintering behaviour of porcelain stoneware tiles." *Ceramics International* **33**(4): 615-623.

43. SÁNCHEZ, C.LI. 2008. Hormigón con vidrio. Trabajo de título. Universidad Austral de Chile, 2008. 65p.

44. SUGRAÑES B.,F. 1998. Procedimiento para la fabricación de aglomerados de cemento, introduciendo vidrio reciclado triturado y los aglomerados así obtenidos. Oficina Española de Patentes y Marcas (ES 2 121 529 A1)

45. SUNDE, L. 2005. Hormigón. Oficina Española de Patentes y Marcas (ES 2 239 124 T3) Sahar M.R., Hamzah K., Rohani M. S., Samah K. A., & Razi M. M. (2011). The microestructural study of cullet-clay ceramics, *Physics Procedia*, 22,125-129.
46. TAYLOR, S. & BOGDAN, R. 1984: Introducción a los métodos cualitativos de la investigación. Nueva York, McGraw-Hill. 332 p.
47. VASCAL, L. 2001. Desechos de vidrio como material de relleno para hormigones. Oficina Sueca de Patentes y Marcas (SC 501 419 A1)
48. V. R. TRILLES-LÁZARO, S. ALLEPUZ. 2011. Reutilización de vidrio reciclado y residuos cerámicos en la obtención de gres porcelánico. *Eco-logik* [en línea]. Boletín de la Sociedad Española de Ceramica y Vidrio. Vol 50. 2, marzo-abril
49. 2011.<http://ceramicayvidrio.revistas.csic.es/index.php/ceramicayvidrio/article/view/986/1020> .[Consulta 2 de mayo 2013].
50. Vitro, S.A.B. de C.V. (2009). Reporte de emisiones de gases de efecto invernadero. [Documento en PDF]. Recuperado de
51. http://www.vitro.com/responsabilidad_social/docs/espanol/Vitro_reporte_emisiones_2009.pdf
52. Vorrada L., Panyachai T., Kaewsimork K., & Siritai C. (2009). Effects of recycled glass substitution on the physical and mechanical properties of clay bricks, *Waste Management*, 29, 2717-2721.