



**Ministerio de Educación Superior  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa  
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”  
Facultad Metalurgia y Electromecánica  
Departamento de Metalurgia**

**UTILIZACIÓN DE DESECHOS DE VIDRIO RECICLADO  
COMO ÁRIDO EN BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN**

**TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE MASTER EN METALURGIA**

**Aglys Laura Quesada Costa**

**Moa, 2013  
“Año 55 de la Revolución”**



**Ministerio de Educación Superior**  
**Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa**  
**“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**  
**Facultad Metalurgia y Electromecánica**  
**Departamento de Metalurgia**

# **UTILIZACIÓN DE DESECHOS DE VIDRIO RECICLADO COMO ÁRIDO EN BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN**

**TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE MASTER EN METALURGIA**

Autor: Aglys Laura Quesada Costa	Firma.....
Tutores: Dr. C. Carlos Alberto Leyva Rodríguez	Firma.....
Dr. C. Pedro Enrique Beyris Mazar.	Firma.....

**Moa, 2013**  
**“Año 55 de la Revolución”**

## **DEDICATORIA**

Una vez más dedico lo que hago en especial esta tesis de maestría

A los espíritus buenos que siempre están a mi lado, a mi Ateyus que me dio fuerzas cuando pensé que no podía lograrlo.

A mi madre Lucía Dayamí Costa Soler por darme la vida, enseñarme a dar los primeros pasos e insistirme constantemente para que no dejara pasar la oportunidad de superarme cada día más.

A mi padre querido Juan Miguel Fonseca López por confiar en mí y estar seguro que nunca lo defraudaría.

Por ningún motivo podría dejar de incluir en esta dedicatoria.

Al Ministro de la Industria Sidero Mecánica, Salvador Pardo Cruz, por ser justo y permitirme matricular en la maestría cuando parecía que todas las puertas estaban cerradas.

A los amigos que siempre me apoyaron.

A quien no puedo nombrar y sabe las razones.

A todos aquellos que a mi paso por la vida me quisieron y en algún momento les hice daño les dedico este fragmento de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS.**

Durante nuestro paso por este fragmento de existencia en la tierra muchas personas nos ayudan a superar las pruebas que nos ha tocado vivir, incluso aquellas que en algún momento nos han puesto trabas solo nos demuestran que somos fuertes y estamos hechos genéticamente para triunfar, solo que muy pocos logramos darnos cuenta.

Por eso hoy doy las gracias a todos los que en estos casi 30 años de esta vida me han apoyado, fortalecido e impulsado a seguir adelante pese a todo. Aquellos que hablaron, murmuraron, me enfrentaron e incluso lucharon para que esto no fuera posible; muchas gracias, por demostrarme que soy fuerte y que todo se puede lograr con sacrificio y entrega.

Gracias a los trabajadores de la Fábrica de Mosaico Río Bayamo que brindaron su experiencia en el trabajo con materiales de construcción, incluso fines de semana; en especial a Yanedel Hernández Aguilera sin quien no hubiera sido posible todo esto.

A Roel Rodríguez, Juan Enrique Gómez, Jorge Luis Marrero y Osvani García quienes me ofrecieron la fuerza de sus brazos confeccionando los bloques y moliendo el vidrio.

A los profesores del departamento de Metalurgia del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, que al igual que en los estudios de pregrado me dieron su conocimiento y apoyo.

Mil gracias a Yuri Almaguer Carmenate quien sin ser tutor dedicó parte de su valioso tiempo a revisar y apoyarme en la redacción de esta tesis.

## **PENSAMIENTO**

*El mundo exige resultados. No les cuentes a otros tus dolores del parto. Muéstrales al niño.*

*Indira Gandhi*

## **RESUMEN**

El propósito de esta investigación fue determinar el comportamiento de las propiedades físico mecánicas de los bloques huecos de hormigón, confeccionados con vidrio reciclado, con vista a su utilización como sustituto de árido en los centros productores de elementos constructivos. A partir de la granulometría que obtiene el vidrio al ser triturado, se sustituyó la arena con que se conformaron los bloques en un 25, 50, 75 y 100 % por desechos de vidrio triturado y se determinó el peso, dimensiones, resistencia a la compresión y absorción de agua aplicando los métodos establecidos en las normas cubanas NC 251:2005 y NC 247:2010 sobre requisitos de áridos para hormigones hidráulicos y especificaciones de bloques huecos de hormigón respectivamente. Se observó que la resistencia de los bloques aumenta en el tiempo para las dosificaciones desde 25 hasta 75 % de sustitución de arena por vidrio y para el 100 % de sustitución de arena la resistencia a la compresión tuvo un comportamiento irregular. Los bloques con mejor resultado fueron los de 75 % de sustitución de arena y son más ligeros que los bloques convencionales; el porcentaje de absorción de agua y la cantidad añadida de esta en lo bloques disminuyó a medida que aumentó el porcentaje de arena sustituido.

Palabras claves: bloques, desechos de vidrio, hormigón, materiales de construcción, reciclaje.

## **ABSTRACT**

The purpose of this investigation was to determine the behavior of the properties physique mechanical of the hollow concrete blocks, ready-made with glass recycled, looking out on your utilization like substitute of arid in the productive centers of constructive elements. As from the classification by size of particles that the glass obtains to the crushed being, substituted him the sand with that the blocks in a 25 50 75 and 100 % for crushed broken glass for recycling were conformed and that NC determined himself the weight, dimensions, resistance with to the compression and absorption of water applying the procedures established in the standards Cubans 251:2005 and NC 247:2010 on requirements of arid for hydraulic concretes and specifications of hollow blocks of concrete respectively. It was noticed that the resistance of the blocks increases in the time for the dosifications from 25 to 75 % of substitution of sand for glass and for 100 % of substitution of sand the resistance had an irregular behavior to the compression. The blocks with better result were the ones belonging to 75 % of substitution of sand and they are lighter than the conventional blocks; the percentage of absorption of water and the quantity added of this in it blocks it diminished as you increased the percentage of substituted sand.

Key words: Blocks, broken glass for recycling, concrete, construction materials, recycling

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL .....	6
1.1 Antecedentes de la Investigación.....	6
1.2. <b>Conceptualización</b> del Tema.....	9
1.2.1. Arídos. Definición y tipos.....	9
1.2.2 Hormigón. Definiciones.....	10
1.2.3. Bloques huecos de Hormigón. Especificaciones, clasificación y tipos.....	10
1.2.4. Vidrio. Generalidades. Propiedades .....	14
1.2.4.1. Propiedades Física .....	15
1.2.4.2. Propiedades Químicas.....	15
1.2.4.3. Propiedades Mecánicas.....	16
1.2.4.4. <b>propiedades térmicas</b> .....	16
1.2.4.5. Tipos de vidrio.....	16
1.2.4.6. Reciclaje de Vidrio .....	18
Conclusiones parciales.....	19
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
2.1 Metodología aplicada. ....	20
2.2 Materiales empleados. Características y propiedades.....	22
2.3 Métodos empleados en la experimentación. ....	24
2.4 Diseño de experimentos. ....	25
2.5 Preparación de los materiales para la conformación de los bloques. ....	25
2.6 Determinación de la composición granulométrica del vidrio. ....	25
2.7 Condiciones de las muestras a ensayar. ....	30
2.8 determinación de las dimensiones de los bloques. ....	30



2.9 Determinación de la resistencia mecánica.....	31
2.10 Determinación de la absorción.....	33
2.11 Equipos utilizados en la investigación.....	34
Conclusiones parciales .....	36
<b>CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
3.1 Resultados de la caracterización granulométrica.....	37
3.2 Análisis estadísticos de los experimentos .....	38
3.2.1 Análisis estadístico para la resistencia a la compresión .....	38
3.2.2 Análisis estadístico para la absorción de agua .....	42
3.3 Resultados de la determinación de dimensiones y masa .....	45
3.2.1 Masa .....	45
3.2.2 Dimensiones .....	46
3.4 Influencia de la dosificación y el tiempo en la resistencia a la compresión.....	46
3.4.1 Influencia de la dosificación y el tiempo en la resistencia a la compresión para 25 % de sustitución de arena .....	47
3.4.2 Influencia de la dosificación y el tiempo en la resistencia a la compresión para 50 % de sustitución de arena .....	48
3.4.3 Influencia de la dosificación y el tiempo en la resistencia a la compresión para 75 % de sustitución de arena .....	48
3.4.4 Influencia de la dosificación y el tiempo en la resistencia a la compresión para 100 % de sustitución de arena .....	49
3.4.5 Comparación de los resultados de la determinación de la resistencia mecánica de los bloques elaborados con desperdicio de vidrio .....	50
3.5 Resultados de la determinación de la absorción de agua .....	52
3.6 Breve análisis económico .....	53
3.7 Los desechos de vidrio el hombre y el medio ambiente .....	55
Conclusiones parciales .....	57
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>58</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>59</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>60</b>

## INTRODUCCIÓN

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 desechos de los humanos que no se necesitan. 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 disminuye 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 de los recursos naturales ya que la materia reciclada se reutiliza y disminuye la extracción de recursos minerales no renovables (Alavedra, 1998).

Durante el año 2011 se reciclaron en el 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, ha comenzado la aplicación de los áridos reciclados como materia prima para la fabricación de hormigones estructurales y no estructurales y para morteros.

Los áridos reciclados son el resultado de la gestión y tratamiento de los residuos de la construcción y demolición, que tras someterlos a un proceso de reducción de tamaño, cribado y analizarlos en laboratorio, cumplen con las especificaciones técnicas para una aplicación dada dentro del sector de la construcción y de la obra civil. (Águila, V. 2006)

Los trabajos de Sugrañes, B. F. (1998), Gaggino, R. (2004), Sunde, L. (2005), Flores V. (2005), Sánchez, C.LI. (2008), Marco, J(2012), Beissinger G, H. (2010), han demostrado en los últimos años que los desechos de vidrio triturado, como sustitutos de áridos o como adiciones, utilizados en diferentes granulometrías son una vía factible para la protección del medio ambiente ya que ofrece una salida a la disminución de desechos que son depositados en vertederos, mantiene en hormigones las resistencias mínimas requeridas y aumenta esta en morteros; además le confiere resistencia al desgaste a pisos y adoquines; también valoraron la utilización del vidrio como sustitutos del cemento en un 20 % en la elaboración de concretos.

El problema fundamental del vidrio está dado en la elección del tamaño adecuado ya que granos muy finos podrían entrar en reacción con los álcalis del cemento. Sunde, L. (2005).

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 (CITMA, 2002). Esto obliga a la investigación de materiales alternativos en la producción de áridos, motivando así el estudio de los desechos de vidrio reciclados. Los áridos constituyen más del 85 % de materia prima en la producción de materiales para la construcción. 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.

### **Situación Problemática**

Los desechos de vidrio son generados en todas las provincias del país por las empresas cerveceras, fábricas de ron, refrescos y conservas, empresas productoras de medicamentos así como por la población. En estos momentos la tecnología existente en el país es insuficiente para el procesamiento de los desechos generados, los cuales van a parar en su gran mayoría a los vertederos municipales. 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.

### **Problema**

Insuficiente conocimiento de las características que aportan los desechos de vidrio a ser empleados como árido en bloques huecos de hormigón.

### **Objeto de estudio**

Bloques Huecos de Hormigón.

## **Objetivo general**

Determinar el comportamiento de las propiedades físico mecánicas de los bloques huecos de hormigón confeccionados con vidrio reciclado con vista a su utilización como sustituto de árido en los centros productores de elementos constructivos.

## **Hipótesis**

Si se estudia el efecto que causa en las propiedades físico-mecánicas de los bloques de hormigón la sustitución de arena por desechos de vidrio reciclado, se podrá determinar la factibilidad de su utilización.

## **Objetivos específicos**

- Caracterizar la granulometría de los desechos de vidrio para la elaboración de bloques huecos de hormigón.
- Evaluar el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de los bloques huecos de hormigón al utilizar desechos de vidrio como sustituto de árido.

## **Campo de acción**

Propiedades físico mecánicas de los bloques huecos de hormigón al sustituir árido por desperdicios de vidrio reciclado.

## **Tareas de la investigación**

- Recopilación 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.
- Trituración de los desechos de vidrio reciclado.
- Análisis granulométrico de los desechos de vidrio triturados para su utilización como áridos.
- Confección de los bloques huecos de hormigón con dosificaciones de 25, 50, 75 y 100 % de vidrio reciclado en sustitución de la arena.

- Evaluación de las propiedades físico mecánicas de los bloques confeccionados con desechos de vidrio triturado.

### **Aporte de la investigación**

La investigación ofrece un destino final ecológico, económico y útil a los desechos de vidrio que se generan en el país. Al ser utilizados en sustitución de la arena con que se confeccionan los bloques, disminuye la cantidad de vidrio que se deposita en los vertederos municipales porque no pueden ser procesados a causa de la insuficiente tecnología existente.

## **CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL**

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 sustituto de árido en mezclas de materiales de construcción. Se expone el estado del arte y los principales conceptos y definiciones para la realización de este trabajo.

### **1.1 Antecedentes de la investigación**

En 1998 **Sugranes Baena** 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.

La **patente sueca No. 501 419 (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 los 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.

Ya en el año 2002 **Sunde Lasse** solicita a la Oficina Española de Patentes y Marcas el patentado de su invención “Hormigón de Vidrio”, la cual le fue concedido en el año 2005. En dicha investigación los áridos, tanto arena como piedras, del hormigón son sustituidos total o parcialmente por vidrio triturado. La cantidad de arena es sustituida tanto por una fracción de vidrio de 0-5 mm, como por un mineral que no reaccione con los álcalis con dicho tamaño de grano o por una combinación de ambas fracciones en el que la cantidad de la fracción rocosa está sustituida por una fracción de vidrio de 5-20 mm, mientras que el hormigón contiene adicionalmente polvo silíceo, cenizas volantes o escoria finamente triturada si la fracción más fina de vidrio (0-5 mm). El objetivo es proporcionar un hormigón de vidrio con las mejores propiedades posibles con respecto a la resistencia a la compresión y la resistencia a la fractura y eliminar la desventaja probablemente más grave del hormigón de vidrio, la tendencia a la fisuración como consecuencia de las reacciones con los álcalis, aunque no logra esta última en su totalidad.

**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 Chilena 163 de 1979, hasta un 75 % de adición de vidrio; aunque esta disminuye a medida que aumenta el porcentaje de vidrio añadido.

**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. Una vez más como en otros trabajos realizados se demostró como principal obstáculo la alta reactividad de la sílice del vidrio con los álcalis del cemento.

**Plaza Cerámicas** en colaboración con el **Instituto de Tecnología Cerámica (ITC) de la Universidad Jaume I de Castellón (2010)** 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.

**Investigadores de la Universidad de Michigan en 2011** 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.

**J. Marco et al (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.

## 1.2 Conceptualización del tema

### 1.2.1 Áridos. Definición y Tipos

Los conceptos y definiciones de este acápite están recogidos en la Norma Cubana NC 251: 2005.

**Árido:** mineral procedente de rocas que se encuentran desintegradas en estado natural o precisan de trituración mediante procesos industriales. Las dimensiones son diferentes, varían desde 0,149 mm hasta un tamaño máximo especificado.

**Árido Grueso:** árido que posee principalmente partículas de un tamaño superior a 4,76 mm. El árido grueso puede describirse como grava (sin beneficiar o beneficiada) o como roca triturada.

**Grava Sin Beneficiar:** árido grueso que se obtiene directamente como resultado de la desintegración natural de las rocas sin requerir de procesos de clasificación y lavado.

**Grava Beneficiada:** árido grueso que se obtiene directamente como resultado de la desintegración natural de las rocas y que requiere de procesos de clasificación y lavado con trituración parcial o no.

**Árido Triturado:** árido grueso que se obtiene mediante la trituración de la roca y de proceso de clasificación y lavado.

**Árido Fino (arena):** árido que posee partículas de un tamaño desde 0,149 mm hasta 4,76 mm. El árido fino puede estar descrito como arena natural (cernida o beneficiada) y como arena de grava triturada y arena de roca triturada.

**Arena Natural:** arena que se obtiene directamente como resultado de la desintegración natural de las rocas.

**Arenas Cernida:** arena resultante del cribado de la arena natural para separarle las fracciones por sobre 4,76 mm.

**Arena Beneficiada:** arena resultante de la clasificación, el lavado y separación de los tamaños por debajo de 4,76 mm y por encima de 0,149 mm de la arena natural.

**Arena de Grava Triturada:** arena producida mediante la trituración de la grava.

**Arena de Roca Triturada:** arena producida mediante la trituración de la roca.

**Fracción:** porción de árido expresada por los números que representan las aberturas nominales (o equivalentes) en mm de dos tamices normalizados, donde el número mayor, denominado límite nominal superior corresponde al tamiz de mayor abertura por donde pasa prácticamente toda la porción de árido (85 a 90 % aproximadamente) y el segundo denominado límite nominal inferior corresponde al tamiz de menor abertura donde queda retenida prácticamente su totalidad.

**Planas y alargadas:** partículas de árido grueso cuya longitud sea 4 veces o más que la otra dimensión mayor.

**Tamaño máximo nominal del árido grueso:** tamiz inmediato superior en que se retiene un 15 % como mínimo.

**Terrones de arcilla:** partículas de arcilla compactadas de diferentes tamaños que se encuentran en los áridos llegando a contaminarlos cuando sus volúmenes exceden las cantidades normadas admisibles.

### 1.2.2 Hormigón. Definiciones

**Hormigón hidráulico u hormigón:** material constituido por la mezcla de cemento, árido grueso, árido fino y agua, con o sin la incorporación de aditivos o adiciones, que desarrolla sus propiedades por la hidratación del cemento. (NC 120:2007)

**Adición:** material mineral finamente molido utilizado en el hormigón con el objetivo de mejorar ciertas propiedades (reológicas y mecánicas) o de conferirle propiedades especiales. (NC 120:2007)

**Aditivo:** material añadido al hormigón antes o durante el amasado, (o durante un amasado suplementario) en una proporción no superior al 1 % de peso del cemento, para modificar las propiedades del hormigón fresco o endurecido. (NC 120:2007)

**Curado:** Mantener el hormigón o el mortero a una temperatura y humedad adecuadas para asegurar su hidratación y endurecimiento adecuados.

### 1.2.3 Bloques huecos de hormigón. Especificaciones, clasificación y tipos.

La Norma Cubana 247:2010 recoge las generalidades y especificaciones de los bloques huecos de hormigón.

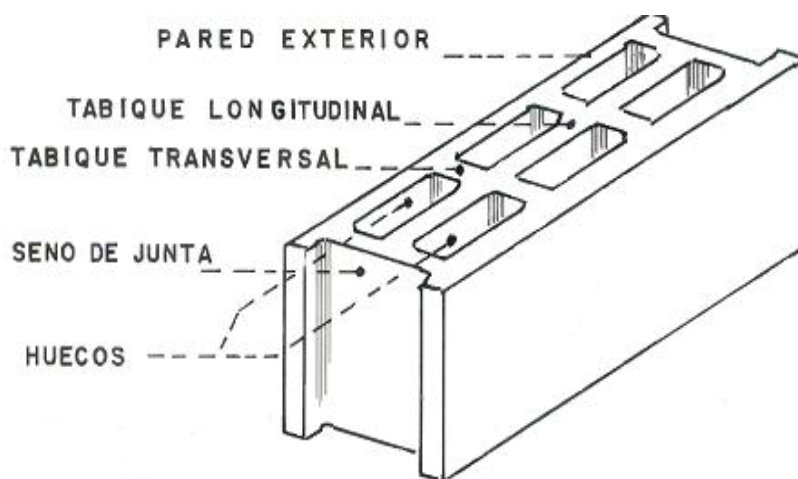
**Bloque de hormigón:** pieza prefabricada a base de cemento, agua, áridos finos y/o gruesos, naturales y/o artificiales, con o sin aditivos, incluidos pigmentos, de forma sensiblemente ortoédrica, sin armadura alguna.

**Bloque cara vista:** bloque adecuado para su uso sin revestimiento.

**Bloque a revestir:** bloque con rugosidad suficiente para proporcionar buena adherencia al revestimiento.

**Absorción:** capacidad de absorber una determinada cantidad de agua de los bloques.

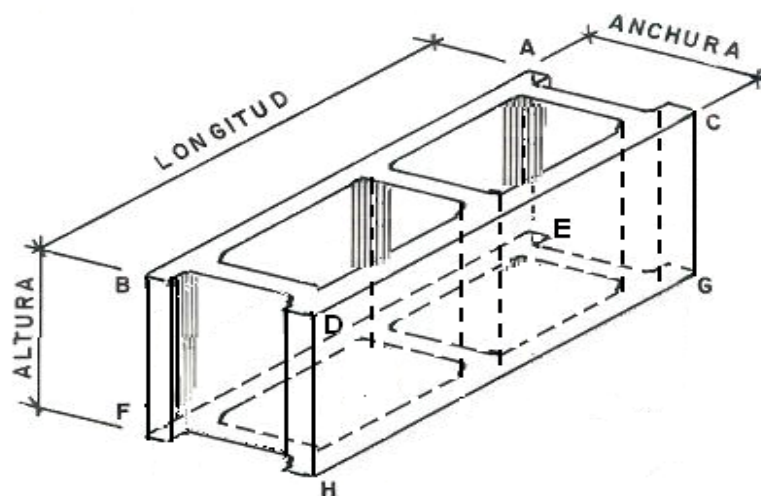
**Cavidades:** partes huecas del bloque comprendidas dentro del paralelepípedo envolvente. Pueden ser de dos tipos: alvéolos o cavidades internas y senos de junta o cavidades perimetrales, que pueden ser pasantes o ciegas. El conjunto de alvéolos comprendido entre dos tabiques longitudinales contiguos o entre una pared exterior y un tabique longitudinal contiguo, se denomina hueco y se puede ver en la Figura 1.1.



**Figura 1.1** Elemento constitutivo del bloque de hormigón (NC 247:2010)

**Paredes exteriores y tabiques:** distintos elementos que conforman las cavidades del bloque hueco. Las paredes exteriores son las que corresponden con las caras del bloque, siendo el resto, los tabiques. Estos últimos pueden ser longitudinales (paralelos a las paredes exteriores longitudinales) y transversales (perpendiculares a aquellas) como se muestra en la Figura 1.1. El espesor efectivo de las paredes exteriores y tabiques de los bloques no podrá ser inferior a 20 mm en ningún punto de los mismos, incluso en las paredes cizalladas.

**Paralelepípedo envolvente:** figura convencional delimitada por los planos teóricos que originan las aristas del bloque definido por los puntos A, B, C, D, E, F, G y H mostrado en la Figura 1.2.



**Figura 1.2** — Planos teóricos de las aristas del bloque (NC 247:2010)

**Dimensiones de fabricación:** dimensiones adoptadas por el fabricante y elegidas de la Tabla 1.1

**Tabla 1.1** Dimensiones principales y tolerancias admisibles según NC 247:2010

Tipo de bloque	l (±3 mm.)	b (±3 mm)	h (±3 mm)
I	495	195	195
	395		
II	495	145	
	395		
II	495	95	
	395		
IV	495	60	
	395		

Donde:

l: es la longitud de los bloques

b: es la base del bloque

h: es la altura del bloque

Para los bloques cara vista las tolerancias dimensionales son de ( $\pm 2$ mm)

**Dimensiones nominales:** dimensiones establecidas según NC 251:2005 para designar el tipo de bloque según Tabla 1.1.

**Dimensiones efectivas:** se obtienen por medición directa efectuadas sobre el bloque.

**Resistencia a la compresión:** relación entre la carga de rotura a compresión de un bloque y su sección bruta o neta.

**Resistencia a la compresión nominal:** valor de referencia establecido como resistencia a compresión referida a la sección bruta y utilizada en la designación del bloque, expresado en la Tabla 1.2

**Tabla 1.2** — Índices físico mecánicos según NC 247:2010

Tipo de bloque	Resistencia a la compresión		
	Rc mínima a los 7 días MPa	Absorción máxima %	Rc mínima a los 28 días MPa
I	5,6	8,0	7,0
II	4,0	10,0	5,0
III	2,0	-	2,5
IV	2,0	-	2,5

Donde:

Rc: resistencia media a la compresión (MPa)

**Sección bruta:** mayor área susceptible de ser obtenida en un plano paralelo al de asiento.

**Sección neta:** menor área susceptible de ser obtenida en un plano paralelo al de su asiento, al deducir de la sección bruta, la superficie correspondiente a las cavidades.

**Coefficiente de variación:** cociente de la desviación típica de la resistencia a la compresión entre la resistencia a la compresión media (adimensional).

## Clasificación de los bloques

Las tablas 1.1 y 1.2 muestran la clasificación de los bloques por tipos en función de las dimensiones principales y las propiedades físicas mecánicas respectivamente.

### Tipo

Según la tabla 1.1 los bloques huecos de hormigón pueden ser de cuatro tipos y vienen definidos por el ancho de la base.

### Forma

Los bloques con respecto a la rectitud de aristas y planeidad de caras, cumplirán con las condiciones indicadas en la Tabla 1.3.

**Tabla 1.3** Forma (NC 247:2010)

Condiciones en porcentaje	Rectitud de aristas (Flecha máxima)	Planeidad de caras (Flecha máxima)
Bloques cara vista	0,5	0,5
Bloques a revestir	1	1
Estas limitaciones no son aplicables a caras vistas de bloques cizallados.		

### 1.2.4 Vidrio. Generalidades. Propiedades

Según el **Manual del Vidrio (2002)** el vidrio es un material inorgánico duro, frágil, transparente y amorfo, de fusión que se ha enfriado a una condición rígida sin cristalizarse. 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 ( $\text{SiO}_2$ ) 73 %, Carbonato de Sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 14 % y caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) 11 %; además intervienen en menor proporción otros óxidos metálicos como: colorantes, oxidantes, reductores, estabilizadores, etc.

#### 1.2.4.1 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 1.4** se muestran los principales elementos que dan color al vidrio.

**Tabla 1.4** 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

#### 1.2.4.2 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  $8 \text{ t/m}^3$ , 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 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) o de magnesia ( $\text{MgO}$ ) 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  $800^\circ\text{C}$  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.



#### 1.2.4.3 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<sup>3</sup> 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<sup>2</sup>, aunque pueden llegar a sobrepasar los 70000 N/cm<sup>2</sup> 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<sup>2</sup>) para un vidrio pulido y recocido de 120 a 200 MPa (N/mm<sup>2</sup>) para un vidrio templado (según el espesor, forma de los bordes y tipos de esfuerzo aplicado).

#### 1.2.4.4 Propiedades Térmicas

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

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

#### 1.2.4.5 Tipos de Vidrio

**Vidrios Borosilicato**, tipo pirex (Pyrex): vidrio que contiene Boro, lo cual lo convierte en vidrio neutro. Está compuesto por: arena, borax (tetraaborato 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 silicato sódicos más utilizados se sitúan dentro de los límites que se establecen en la tabla 1.5.

**Tabla 1.5** Intervalos de composición en vidrios comunes.

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

#### **1.2.4.6 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 reutilizado en innumerables ocasiones sin perder sus propiedades.

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.

En Colombia se reincorporan al sector productivo unas 125.000 toneladas de vidrio reciclado al año.

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.

### **Conclusiones parciales.**

Luego de realizar un análisis de la bibliografía estudiada y del estado del arte del tema en cuestión podemos decir que:

- Los desechos de vidrio reciclado pueden ser utilizados en la confección de mezclas para materiales de construcción como sustituto de arenas silíceas, calcáreas de mármol y otras similares así como piedras.
- En los trabajos sobre hormigones con vidrio estudiados no se comprueban investigaciones con granulometrías inferiores a 80 mm.
- Todos los trabajos son realizados a escala de laboratorio con probetas de hormigón o morteros, en ningún momento se experimenta con elementos constructivos comercializables.
- En Cuba se generan anualmente más de 200 toneladas de desperdicios de vidrio que no son utilizadas.

## **CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS**

En toda investigación científica se hace imprescindible el conocimiento de las características de los materiales a utilizar, así como los métodos y equipos necesarios que lleven al investigador por el camino de la verdad en la obtención de resultados concretos. Este capítulo tiene como objetivo conocer las características de los materiales empleados, la metodología aplicada, ensayos realizados, equipos y su funcionamiento.

### **2.1 Metodología aplicada.**

La investigación fue llevada a cabo en cuatro etapas de trabajo que permitieron realizar una mejor valoración de los bloques huecos de hormigón elaborados con desechos de vidrio como sustituto de árido y que se resumen en la figura 2.1.

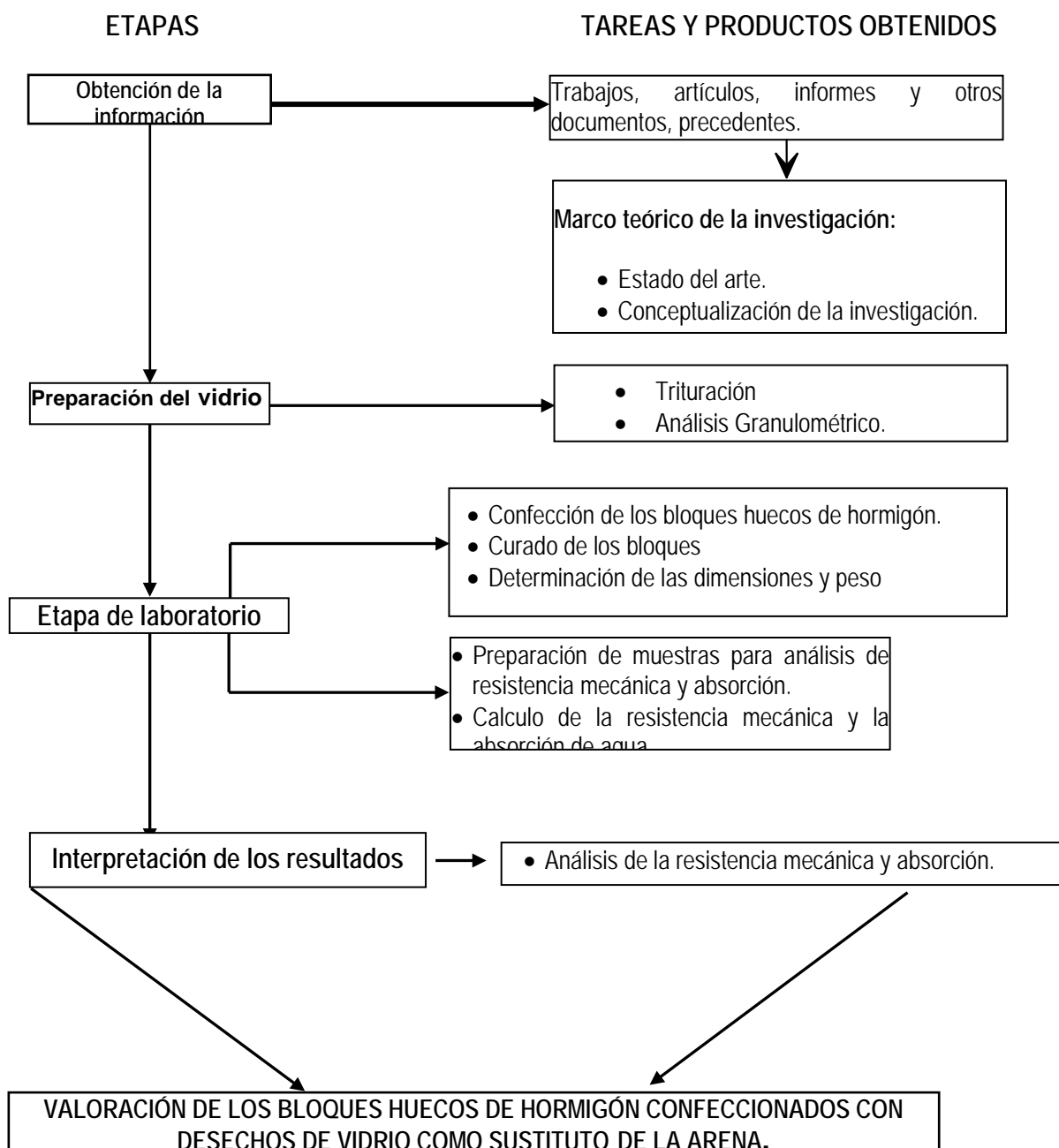
**Primera Etapa:** Recopilación de la información donde se obtuvo gran cantidad de trabajos, artículos, informes etc. que permitió realizar un análisis profundo del estado del arte a nivel nacional e internacional y la conceptualización general del tema en cuestión.

**Segunda Etapa:** Los desechos de vidrio a utilizar en la confección de los bloques huecos de hormigón fueron triturados y enviados al laboratorio perteneciente a UEB “El Cacao” donde se realizaron los ensayos granulométricos para determinar su utilización como árido grueso o fino.

**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 bloques huecos de hormigón con 25, 50, 75 y 100 % de vidrio en sustitución de la arena y la muestra patrón. Se sometieron al proceso de curado durante siete días y se determinaron sus dimensiones y peso. Luego de realizada una preparación previa de las muestras 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 en el tiempo para cada una de las adiciones de desechos de vidrio lo que permitió valorar la utilización de estos bloques como elementos constructivos.

#### METODOLOGÍA PARA LA CONFECCIÓN DE BLOQUES CON VIDRIO SUSTITUYENDO EL ÁRIDO



**Figura 2.1** Organigrama que resume la metodología de la investigación.

## 2.2 Materiales empleados. Características y Propiedades.

### Cemento

El cemento utilizado en la investigación es marca Portland P-350 según NC 95:2001.

### Agua

El agua utilizada para el amasado está acorde con las exigencias de la Norma Cubana 353: 2004

### Áridos

Provenientes de la cantera “El Cacao” ubicada en Las Minas, municipio Jiguaní. El yacimiento está compuesto por caliza masiva, dura, poco absorbente y muy resistente. Químicamente la caliza es pura. Su composición química y propiedades físico mecánicas (Según informe técnico de “El Cacao”.2013) se pueden observar en las tablas 2.1 y 2.2 respectivamente.

**Tabla 2.1** Composición química del yacimiento “El Cacao”

Composición Química	Contenido (%)
$\text{CO}_3\text{Ca}$	98,28
$\text{CO}_3\text{Mg}$	0,60
$\text{SiO}_2$	0,27
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,10
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,07
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,02 (impureza)
$\text{TiO}_2$	0,007
$\text{SO}_3$	Trazas (impureza)
P.P.I	43,48
$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	0,021

**Tabla 2.2** Propiedades físico – mecánicas de las rocas del yacimiento “El Cacao”

<b>Propiedad</b>	<b>UM</b>	<b>Valor</b>
Peso específico corriente	g/cm <sup>3</sup>	2,62
Peso específico saturado	g/cm <sup>3</sup>	2,66
Peso específico aparente	g/cm <sup>3</sup>	2,71
Peso volumétrico	kg/m <sup>3</sup>	2,64
Resistencia a la compresión seca	kg/cm <sup>2</sup>	643,00
Resistencia a la compresión saturado	kg/cm <sup>2</sup>	529,00
Coeficiente de trituración	kg/cm <sup>2</sup>	400,00
Absorción	(%)	0,56
Porosidad	(%)	2,67
Coeficiente de esponjamiento	(%)	1,50

En la tabla que se expone a continuación se puede observar la fracción del árido (según tamiz normalizado por NC 251: 2005) que se utilizó en la elaboración de las muestras así como el peso volumétrico de estos según Dosificación de las materias primas de los productos de la Empresa de Materiales de Construcción de Granma (enero 2013).

**Tabla 2.3** Características del árido utilizado

<b>Producto</b>	<b>UM</b>	<b>Fracción (mm)</b>	<b>Peso Volumétrico (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Granito	m <sup>3</sup>	- 10 + 5	1461
Arena Artificial	m <sup>3</sup>	- 5 + 0,15	1525
Polvo	m <sup>3</sup>	- 0,150	1578

### **Desechos de Vidrio Reciclado**

Se utilizó vidrio reciclado de botellas de cervezas de color ámbar y verde recuperados por la Empresa de Materias Primas Granma. Las características de este vidrio son las mismas que las del vidrio común, expuestas en el acápite 1.2.4.5.



### **2.3 Métodos empleados en la experimentación.**

Toda investigación implica la utilización de métodos que viabilicen 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. En el desarrollo de la investigación se aplican los siguientes **métodos**:

**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, es decir, nos aporta el todo, lo general.

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 de áridos.

**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, permiten 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, 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.

Los análisis y ensayos granulométricos se realizaron teniendo en cuenta los requisitos de los áridos para hormigones hidráulicos, según la norma cubana NC

251: 2005. La determinación de las dimensiones, resistencia mecánica y absorción de agua se realizó según la norma cubana NC 247: 2010.

## 2.4 Diseño de experimentos

El diseño experimental aplicado fue el Factorial Multinivel. Cuenta con la combinación de dos variables independientes: la dosificación de vidrio triturado y el tiempo de curado. Se tomaron como variables de salida o dependientes la resistencia a la compresión y la absorción de agua, como se muestra en la tabla 2.4

Tabla 2.4 Variables y niveles de experimentación.

Variables independientes	Nivel mínimo	Nivel medio	Nivel máximo	Variables dependientes
Dosificación (%)	25	50	75	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resistencia a la Compresión.</li> <li>Absorción de Agua</li> </ul>
Tiempo (días)	7	14	28	

Los parámetros constantes son la masa de árido grueso (granito), árido fino (polvo de piedra) y cemento.

El diseño Factorial Multinivel consiste en un diseño del tipo:

$$N = p \cdot q; \quad (2.1)$$

donde:

$N$  : Número de experimentos

$p$  : Nivel del factor dosificación

$q$  : Nivel del factor tiempo

Quedando:

$N = 3 \cdot 3 = 9$  experimentos, con 2 réplicas para un total de 27 pruebas experimentales.

En la tabla 2.5 se muestran las combinaciones experimentales.

Tabla 2.5 Diseño de experimento

Pruebas	Dosificación	Tiempo
1	25	7
2	50	7
3	75	7
4	25	14
5	50	14
6	75	14
7	25	28
8	50	28
9	75	28

Los resultados obtenidos se procesaron en el *software Statgraphics 5.1 Plus* con el objetivo de confeccionar el modelo estadístico matemático de los diferentes productos en los elementos que poseen mayor influencia. El cual consiste en la operación básica de programar y analizar datos, creando análisis estadísticos. Muestra cada uno de los efectos estimados, proporciona la ecuación del modelo de regresión que se ajusta a cada uno de los productos.

## 2.5 Preparación de los materiales para la conformación de los bloques.

Las muestras se confeccionaron en la Fábrica de Mosaicos Bayamo según NC: 247/2010. Se realizaron en horas de la mañana y el mismo día para evitar variaciones en la humedad y en el lote de áridos empleados.

Para determinar la cantidad de material utilizado en cada caso, se tuvo en cuenta las normas de consumo de materias primas para los productos de la Empresa de Materiales de Construcción de Granma del 15 de enero de 2013 así como las dosificaciones para bloques huecos de hormigón de 10x20x40 mm. Las normas de consumo y dosificaciones así como los áridos son las que se utilizan actualmente por la Empresa de Materiales de Construcción de Granma en sus producciones.

En la tabla 2.6 se muestra la dosificación utilizada en la elaboración de las muestras, donde no se establece la cantidad de agua específica a añadir porque depende de la humedad de los áridos a utilizar.

**Tabla 2.6** Dosificación para la conformación de los bloques.

Material	UM	Patrón	Dosificación x bloque (%)				Total de producto x dosificación (%)				Total
			25	50	75	100	25	50	75	100	
Vidrio	kg	0,00	0,69	1,38	2,07	2,76	6,21	12,42	18,63	24,84	62,10
Arena	kg	2,76	2,07	1,38	0,69		18,63	12,42	6,21	0,00	37,26
Cemento	kg	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	8,37	8,37	8,37	8,37	33,48
Granito	kg	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41	39,69	39,69	39,69	39,69	158,76
Polvo de Piedra	kg	3,81	3,81	3,81	3,81	3,81	34,29	34,29	34,29	34,29	137,16
Agua	L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Los desechos de vidrio se sometieron a un proceso de reducción de tamaño mediante dos etapas de trituración. En la primera etapa se realizó de forma manual una trituración por impacto, donde las botellas envasadas en sacos de polipropileno fueron reducidas de tamaño con una mandarina hasta lograr obtener fragmentos de 80 mm aproximadamente. Posterior a este proceso pasaron a una trituradora de martillo de un rotor, perteneciente a la Fábrica de Mosaicos Bayamo, la cual es empleada en la trituración de áridos y se puede observar en las figuras 2.2 y 2.3. Esta posee una abertura de alimentación de aproximadamente 80 mm.



**Figura 2.2** Trituradora vista frontal



**Figura 2.3** Trituradora vista interior

Con el vidrio resultante del proceso de trituración se sustituyó la arena en la confección de los bloques huecos de hormigón.

La mezcla se preparó manualmente, en cuatro tandas, cada una para un porcentaje de adición de vidrio. Se confeccionaron 36 bloques en total donde se sustituyó el 25, 50, 75 y 100 % de la arena utilizada por desechos de vidrio reciclado y molido, mostrado en figura 2.4, nueve para cada una de las dosificaciones. Todas las muestras fueron elaboradas con arena, granito y polvo de piedra de la cantera “El Cacao”; agua normal y cemento Portland 350.



**Figura 2.4.** Desechos de vidrio molido

Se elaboraron además 9 bloques a los que no se le añadió desechos de vidrio que sirvieron como muestra patrón.

Cada uno de los materiales fue pesado y vertido, en el siguiente orden, en el área donde se preparó la mezcla; primeramente el árido fino (polvo de piedra y arena), el vidrio y luego el granito. Se mezclaron estos áridos y se añadió el cemento, procediéndose a homogenizar completamente por el método de cuarteo. El agua, medida con una probeta graduada, se añadió poco a poco hasta alcanzar la humedad requerida mezclándose todo el producto de uno a dos minutos.

Una vez listo el hormigón se procedió a conformar los bloques. Se vertió la mezcla en el molde, se golpeó de dos a tres veces contra el suelo y posteriormente se rellenó con más mezcla y se golpeó por encima con una pala; seguidamente se viró el molde y se sacó el bloque conformado. Concluido esto fueron sometidos a un

proceso de curado durante siete días; donde se les roció agua periódicamente después de transcurridas las 3 horas de haberse elaborado.

## **2.6 Determinación de la composición granulométrica del vidrio.**

El análisis granulométrico se realizó para determinar la conformidad del vidrio como árido grueso (granito) o fino (arena), para su posterior utilización en la elaboración de bloques huecos de hormigón. El procedimiento se basa en la determinación de las cantidades de las fracciones granulométricas del material que quedan retenido en cada uno de los tamices. Por medio de un movimiento lateral y vertical del tamiz, acompañado de una acción de sacudida de manera que la muestra se mueva continuamente sobre la superficie de los tamices. Se utilizó la tamizadora mostrada en la figura 2.5 hasta lograr cernir todo el material posible en cada criba.



**Figura 2.5.** Vibrador mecánico de tamices

El vidrio se separó utilizando las clases de tamaño que se muestran en la Tabla 2.7, de acuerdo con las especificaciones para el uso como arena y granito. El porcentaje de pasado en cada tamiz normalizado permite conocer su aceptación para su posterior valoración y utilización como árido fino o grueso.

Tabla 2.7 Clases de tamaño para la caracterización de la arena y granito.

<b>Arena. Clase Tamaño (mm)</b>	<b>Granito. Clase Tamaño (mm)</b>
-9,52 + 4,76	-12,7 + 9,52
-4,76 + 2,38	-9,52 + 4,76
-2,38 + 1,19	-4,76 + 2,38
-1,19 + 0,59	-2,38 + 1,19
-0,59 + 0,297	-1,19
-0,297 + 0,149	-
-0,149	-

## 2.7 Condiciones de las muestras a ensayar

Las muestras para los ensayos se conservaron a temperatura ambiente, bajo techo y en superficie plana sobre piso de hormigón. Se tuvo cuidado de no golpear ni dejar caer los bloques que constituyen la muestra ya que estos no deben presentar grietas visibles en las caras ni en los nervios; sus aristas estarán vivas; no presentarán descorchados y no le faltarán esquinas.

Cada bloque se rotuló con creyón, indicándose fecha de elaboración (día y mes); porcentaje de adición de vidrio; número consecutivo de cada unidad de la muestra.

## 2.8 Determinación de las dimensiones de los bloques.

Para determinar las dimensiones de los bloques se efectuó la medición de cada uno de los que constituyen la muestra y se calculó el promedio de cada una de sus dimensiones. Las mediciones se realizaron de la siguiente manera: tres en la cabeza para la longitud; seis mediciones para la ancho (en tres puntos por la cara superior y tres puntos por la cara inferior) y seis mediciones para la altura (en tres puntos de cada lateral).

Para la expresión de los resultados se calculó la dimensión promedio  $\bar{X}$  y su desviación  $S_x$  por las fórmulas siguientes:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.2)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (2.3)$$

Donde:

$\bar{X}$  : dimensión promedio de la muestra (mm)

$\bar{X}_i$  : dimensión de cada bloque (mm)

$S_x$  : desviación típica de las dimensiones de la muestra

$n$  : tamaño de la muestra (número de bloques que constituyen la muestra)

## **2.9 Determinación de la resistencia mecánica.**

Luego de confeccionados los bloques huecos de hormigón con vidrio como sustituto de la arena se procedió a realizar el análisis de la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días (según NC 247:2010) y una intermedia a los 14 días que permitió una mejor valoración de la tendencia de esta en función del tiempo.

Para ello se determinó el valor de la resistencia media a la compresión de los bloques. Cada bloque fue sometido a una carga de compresión en el sentido longitudinal de los huecos hasta la rotura determinándose la resistencia a la compresión promedio.

Inicialmente se hizo una previa preparación de la muestra a analizar. Con un hacha de albañil y una lima de grano grueso se eliminaron las irregularidades y exceso de materiales en las caras de los bloques. Se colocó una capa de pasta sobre la superficie de carga y apoyo de los bloques con el fin de nivelarlas, por lo que se utilizó la meseta nivelada, a la que se le aplicó una capa de aceite desmoldante para evitar la adherencia entre las capas de nivelación y la meseta. La capa de nivelación de la superficie de carga y apoyo está constituida por un mortero de cemento gris P-350 y yeso con una proporción de 4:1 (4 partes de cemento con una parte de yeso).

Para aplicar la capa de nivelación, se vertió el mortero preparado sobre la superficie engrasada y se esparció con la cuchara de albañil hasta formar una capa uniforme, se colocó el bloque inmediatamente sobre esta y se comprobó su perpendicularidad con un nivel de burbuja en posición vertical. Antes de las dos horas de colocado el recape, se le dio un leve movimiento sobre el plano horizontal al bloque para evitar su adherencia a la meseta, se retiró de la misma y



se colocó de forma vertical para no dañar la capa de nivelación en las esquinas. Luego se repitió la operación para aplicar la capa de nivelación sobre la otra cara del bloque. Al segundo día de aplicada la capa de nivelación se procedió a efectuar el ensayo.

Para efectuar el ensayo cada bloque se colocó suavemente sobre el plato inferior de la prensa hidráulica sin deslizarlo y sobre un área previamente determinada con un centro geométrico que coincide con el eje de carga de la máquina. Para facilitar el alineamiento de la máquina con el bloque se marcó un eje central en la cara de este. Se garantizó un buen contacto entre la cara superior del bloque y el plato superior de la máquina y se evitó que se produjeran impactos al bloque. Una vez producido el contacto entre ambas superficies se aplicó una carga a velocidad constante de 5kN/s hasta determinar el esfuerzo máximo de rotura.

Cálculo de la resistencia a la compresión de cada bloque ( $R'_i$ )

$$(R'_i) = \frac{Fj}{aj} \quad (2.4)$$

Donde:

$Fj$ : carga de rotura

$aj$ : área de la sección bruta del bloque en (MPa)

Cálculo de la resistencia a la compresión media ( $R'_m$ )

$$(R'_m) = \frac{\sum^n R'_i}{n} \quad (2.5)$$

Donde:

$R'_i$ : resistencia a la compresión de cada bloque (MPa)

$n$ : tamaño de la muestra de ensayo

Cálculo de la desviación típica ( $SR'$ )

$$SR' = \sum_i^n \frac{(R'_i - R'_m)}{n} \quad (2.6)$$

Donde:

$R'_m$  : resistencia a la compresión media de cada bloque (MPa)

$R'_i$  : resistencia a la compresión de cada bloque (MPa)

$n$  : tamaño de la muestra de ensayo

Cálculo del coeficiente de variación ( $V$ )

$$V = \frac{SR'}{R'_m} \quad (2.7)$$

Donde:

$R'_m$  : resistencia a la compresión de cada bloque (MPa)

$SR'$  : valor de la desviación típica (MPa)

## 2.10 Determinación de la absorción

Luego de realizada la resistencia a la compresión, se tomó una porción, de no menos de 1 kg, de cada bloque sin que se dañara o agrietara. Se colocaron en la estufa y se secaron hasta obtener una masa constante. Para conocer si la masa es constante las muestras se pesaron tres veces en intervalos de una hora, cuando las diferencias de pesaje fueron inferiores al 1 %, se tomó el valor del último pesaje y se consideró como constante.

Una vez obtenida la masa constante se sacaron de la estufa y se dejaron enfriar hasta que pudieron manipularse sin protección.

Posteriormente las porciones se colocaron totalmente sumergidas dentro de un recipiente con agua durante 24 horas. Transcurrido este periodo de tiempo se dejaron escurrir sobre unas parrillas metálicas, se eliminó el agua de la superficie con un paño húmedo hasta que perdieron el brillo. Se pesaron nuevamente y se determinó la masa húmeda de la muestra.

Cálculo de la absorción de agua de cada muestra. ( $A_i$ )

$$A_i = \frac{M_{hi} - M_{si}}{M_{si}} \quad (2.8)$$

Donde:

$M_{hi}$  : masa húmeda de cada unidad de la muestra (kg)

$M_{si}$  : masa seca de cada unidad de la muestra (kg)

Cálculo de la absorción promedio. ( $A_m$ )

$$A_m = \frac{\sum_i^n A_i}{n} \quad (2.9)$$

Donde:

$A_i$  : absorción cada muestra (%)

$n$  : cantidad de muestras de ensayo

## 2.11 Equipos utilizados en la investigación

Toda investigación lleva en si misma la realización de los ensayos a escala de laboratorio por lo tanto el empleo de varios equipos. Entre los principales equipos utilizados se encuentran la trituradora que se pudo ver en las figuras 2.2 y 2.3, empleada en la reducción del tamaño del desperdicio de vidrio. El análisis granulométrico se realizó por vía seca mediante un vibrador mecánico de tamices de la figura 2.5 con la escala de tamices (9,52; 4,76; 2,36; 1,18; 0,59; 0,297 y 0,149 mm) para las arenas y para el granito (12,5; 9,52; 4,76; 2,36; 1,18); en el pesaje del vidrio para análisis granulométrico se empleó la balanza digital MARVI de capacidad máxima 5 kg (Figura 2.6) y en el pesaje de los bloques confeccionados para la realización de las pruebas de resistencia se utilizo la balanza mecánica de 500 kg de capacidad expuesta en la figura 2.7. Para el ensayo de resistencia a la compresión de los bloques confeccionados se empleó una prensa hidráulica de 125 toneladas de la figura 2.8. Otros equipos auxiliares utilizados durante el desarrollo de la investigación fueron: estufa (Figura 2.9), cámara digital, cinta métrica con valor de

división de 1 mm, hacha de albañil, nivel de burbujas, espátula, yeso, aceite desmoldante, entre otros.



**Figura 2.6** Balanza mecánica MARVI



**Figura 2.7** Balanza Mecánica 500 kg



**Figura 2.8** Prensa Hidráulica.



**Figura 2.9** Estufa

### **Conclusiones parciales**

- El tamaño de partícula es inferior a la utilizada en trabajos anteriormente realizados.
- Las técnicas analíticas y experimentales utilizadas que fueron aplicadas en los materiales y mezclas preparadas para el desarrollo de la investigación reúnen los requisitos según las normas cubanas e internacionales.
- Las dosificaciones utilizadas en las muestras son las que se utilizan actualmente en la producción de bloques de 10x20x40 de la Empresa de Materiales de Construcción de Granma.
- Los bloques elaborados poseen las dimensiones de comercialización de la Empresa de Materiales de Construcción de Granma y no son para construcción de muros de carga.

### **CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

En el presente capítulo se muestran los resultados de los análisis realizados durante el proceso de investigación. Se ofrecen comparaciones con las normas cubanas así como con los elementos que actualmente se elaboran en la Fábrica de Mosaicos Bayamo. Se describe además una valoración de los bloques huecos de hormigón confeccionados con desechos de vidrio reciclado como sustituto de la arena.

#### **3.1 Resultados de la caracterización granulométrica**

La caracterización granulométrica de los desechos de vidrio triturados se muestra en el acápite 2.6. Se realiza con el objetivo de conocer la aceptación de su utilización como árido grueso o fino. Los resultados del análisis granulométrico se muestran en la tabla 3.1 se observa el porcentaje de cernido del vidrio para un límite de fracción de 10-5 mm según NC 251: 2005 y los resultados obtenidos en el laboratorio.

Tabla 3.1 Porcentaje de pasado del vidrio por el tamiz normalizado.

Arena. Abertura de la malla (mm)	% de Cernido		Granito. Abertura de la malla (mm)	% de Cernido	
	NC 251:2005	Salida acumulativa		NC 251:2005	Salida acumulativa
-9,52 + 4,76	100	100	-12,7 + 9,52	100	100
-4,76 +2,38	90-100	97	-9,52 + 4,76	85-100	96
-2,38 + 1,19	70-100	79	-4,76 +2,38	15-35	39
-1,19 + 0,59	45-80	52	-2,38 + 1,19	0-10	11
-0,59 + 0,297	25-60	29	-1,19	0-5	6
-0,297 + 0,149	10-30	15	-	-	-
-0,149	2-10	7	-	-	-

Como se aprecia en la figura 3.1 la clase menor de 9,52 mm representa el 100 % de la masa total del sólido. Los porcentajes de salida por cada una de las clases de tamaño se encuentran en el rango admitido por la NC 251: 2005, por lo que se considera conforme la utilización del desecho de vidrio triturado como sustituto de árido fino (arena), no así como árido grueso (granito).

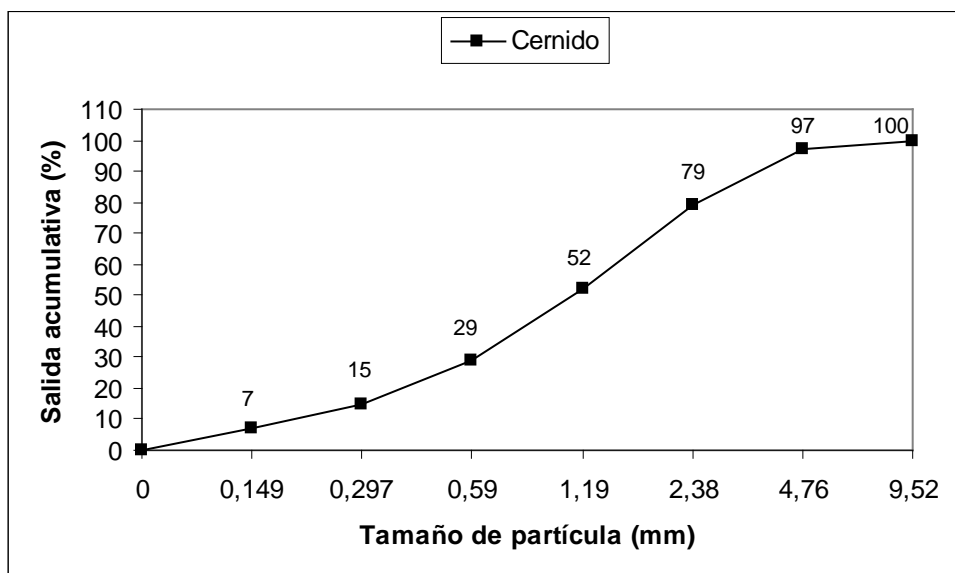


Figura 3.1 Característica de tamaño acumulativa según el cernido.

### 3.2 Análisis estadístico de los experimentos.

#### 3.2.1 Análisis estadístico para la resistencia a la compresión.

Efectos según Pareto

En la tabla 3.2 se muestran cada uno de los efectos estimados e interacciones de la resistencia a la compresión; también muestra el error normal de cada uno de los efectos, el cual mide su error de muestreo.

Tabla 3.2 Efectos estimados para resistencia compresión.

Factores	Valores	Margen Error
promedio	1,9037	+/- 0,0614849
dosificación	0,477778	+/- 0,150607
tiempo	0,722222	+/- 0,150607

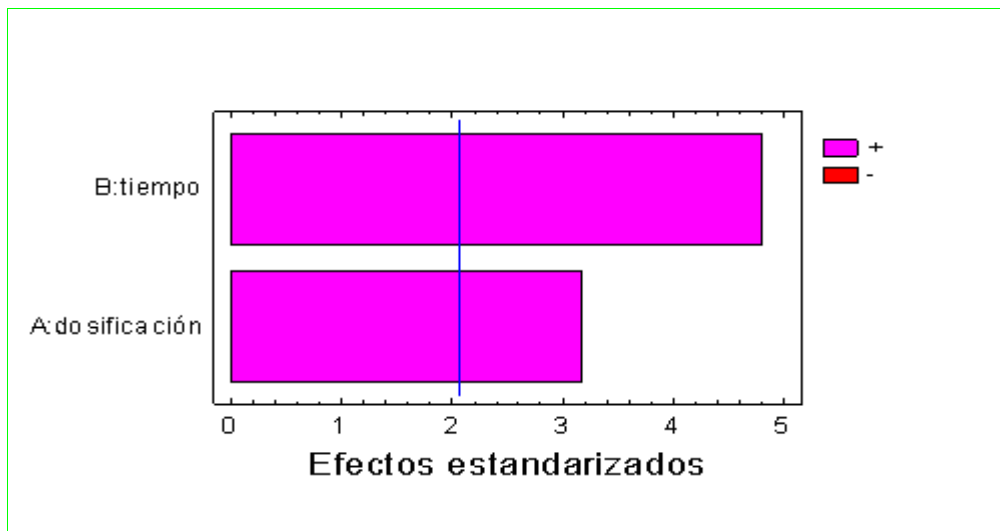


Figura 3.2 Grafico de Pareto estandarizado para la resistencia a la compresión.

Como se puede observar en el diagrama de Pareto tanto el tiempo como la dosificación influyen positivamente en la resistencia a la compresión, siendo más significativo el tiempo.

#### Análisis de Varianza

Tabla 3.3 Análisis de la Varianza para la resistencia a la compresión

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl Cuadrado	medio	F-Ratio	P-Valor
dosificación	1,02722	1	1,02722	10,06	0,0044
tiempo	2,34722	1	2,34722	23,00	0,0001

R-cuadrado = 64,4107 %

R-cuadrado (ajustado para grados de libertad) = 61,4449 %

Error Estándar de Estimado = 0,319485

Error absoluto de la media = 0,21893

Estadístico Durbin-Watson = 2,31937 (P=0,0939)

Autocorrelación residual Lag 1 = -0,234702

La tabla de ANOVA divide la variabilidad en la resistencia a la compresión en distintos segmentos separados para cada uno de los efectos. En este caso, dos de



los efectos tienen los p-valores inferiores a 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero al 95,0 % de nivel de confianza.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo así ajustado explica el 64,4107 % de la variabilidad en resistencia a la compresión. El estadístico R-cuadrado ajustado, el cual es más adecuado para la comparación de números diferentes de variables independientes, es 61,4449 %. El error estándar de la estimación muestra la desviación normal de los residuos para ser 0,319485. El error absoluto de la media (MAE) de 0,21893 es el promedio del valor de los residuos. El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay cualquier correlación significativa basada en el orden en el que se suceden en el fichero de datos. Puesto que el p-valor es superior a 0.05, no hay indicios de correlación de serie en los residuos.

Tabla 3.4 Coeficiente de regresión para la resistencia a la compresión

<b>Factores</b>	<b>Valores</b>
constante	0,824074
dosificación	0,00955556
tiempo	0,0343915

La tabla 3.4 muestra los valores ajustados de los coeficientes de regresión de la ecuación. La ecuación del modelo ajustado es:

$$R = 0,824074 + 0,00955556 * D + 0,0343915 * T$$

Los valores de las variables están especificados en sus unidades originales.

Respuesta Optimizada

Meta: maximizar la resistencia a la compresión

Valor Optimo = 2,5037

En la tabla 3.5 se muestra la combinación de niveles de factores que maximizan la resistencia a la compresión por encima de la región indicada. Puede determinarse el valor de uno o más factores para una constante fijando los límites inferior y superior en ese valor.

Tabla 3.5 Niveles de factores que maximizan la resistencia a la compresión.

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
dosificación	25,0	75,0	75,0
tiempo	7,0	28,0	28,0

Efectos de la resistencia a la compresión.

Los efectos principales de la resistencia a la compresión se muestran en la figura 3.3. Se observa que al aumentar la dosificación desde 25 hasta 75 %, existe un aumento de la resistencia a la compresión de 1,65 hasta 2.13 MPa, con un crecimiento de 0,47 MPa. Con el paso del tiempo desde los 7 hasta 28 días también se puede observar un aumento de la resistencia a la compresión desde los 1,53 hasta 2,25 MPa con un crecimiento de 0,72 MPa; siendo este más significativo que la dosificación.

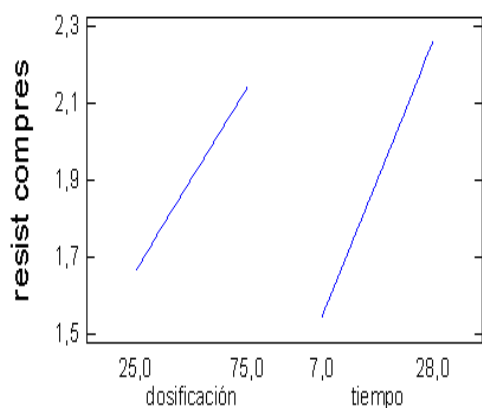


Figura 3.3 Efectos principales.

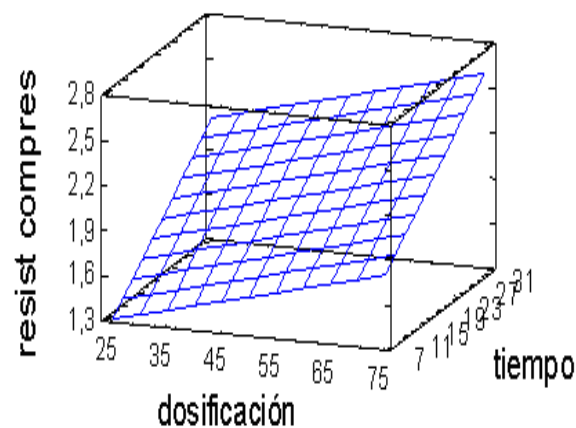


Figura 3.4 Superficie de respuesta.

En la figura 3.4 se muestra la superficie de respuesta estimada a partir de la ecuación de regresión, donde se observa el comportamiento de la resistencia a la compresión en relación a la dosificación y el tiempo. A partir del gráfico se puede estimar de ante mano la dosificación a añadir de desperdicios de vidrio para en determinada resistencia necesaria.

### 3.2.2 Análisis estadístico para la absorción de agua.

#### Efectos según Pareto

La tabla siguiente muestra cada uno de los efectos estimados e interacciones. También se muestra el error normal de cada uno de los efectos, el cual mide su error de muestreo para la absorción del agua. Tabla 3.6 Efectos estimados para resistencia compresión.

Tabla 3.6 Efectos estimados para la absorción de agua.

Factores	Valores	Margen Error
promedio	5,1	+/- 0,0232104
dosificación	-0,533333	+/- 0,0568535
tiempo	-0,0666667	+/- 0,0568535

Los errores estándar están basados en un error total con 22 grados de libertad.

Como se puede observar en el diagrama de Pareto de la figura 3.5 tanto el tiempo como la dosificación influyen negativamente en la absorción de agua, siendo más significativa la dosificación, ya que el tiempo no logra llegar al 20 % estandarizado por pareto, esta influencia negativa de la dosificación en la absorción de agua es buena para la investigación, ya que la disminución de la absorción de agua influye positivamente en el proceso de fraguado del bloque.

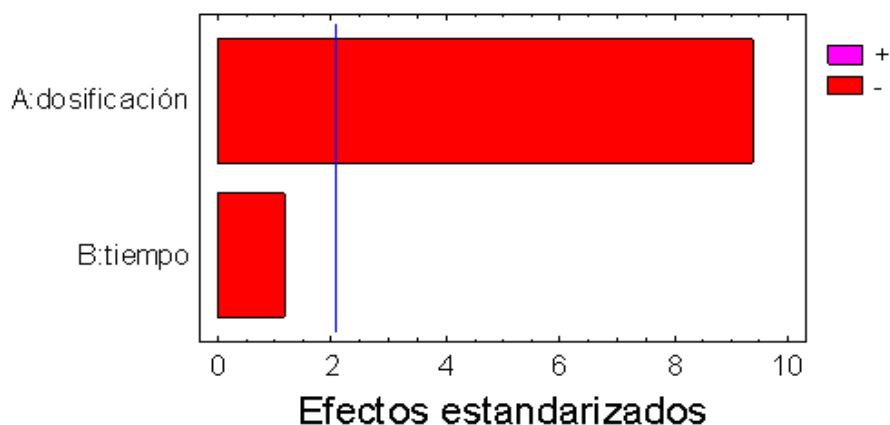


Figura 3.5 Grafico de Pareto estandarizado para la absorción de agua.

## Análisis de la Varianza

Tabla 3.7 Análisis de la Varianza para la absorción de agua.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl Cuadrado	medio	F-Ratio	P-Valor
dosificación	1,28	1	1,28	88,00	0,0000
tiempo	0,02	1	0,02	1,38	0,2535
bloques	0,0	2	0,00	0,00	1,0000
Error total	0,32	22	0,0145455		
Total correlación	1,62	26			

R-cuadrado = 80,2469 %

R-cuadrado (ajustado para grados de libertad) = 78,6008 %

Error Estándar de Est. = 0,120605

Error absoluto de la media = 0,0888889

Estadístico Durbin-Watson = 2,90625 (P=0,0015)

Autocorrelación residual Lag 1 = -0,46875

La tabla de ANOVA divide la variabilidad en la Absorción de agua en distintos segmentos separados para cada uno de los efectos, después prueba la significación estadística de cada efecto comparando la media al cuadrado contra una estimación del error experimental. En este caso, uno de los efectos tiene los p-valores inferiores a 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero al 95,0% de nivel de confianza. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo así ajustado explica el 80,2469 % de la variabilidad en Absorción. El estadístico R-cuadrado ajustado, el cual es más adecuado para la comparación de números diferentes de variables independientes, es 78,6008 %. El error estándar de la estimación muestra la desviación normal de los residuos para ser 0,120605. El error absoluto de la media (MAE) de 0,0888889 es el promedio del valor de los residuos. El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay cualquier correlación significativa basada en el orden en el que se suceden en el fichero de datos. Puesto que el p-valor es inferior a 0.05, hay indicios de una posible correlación de serie.

Tabla 3.8 Coeficientes de regresión para la absorción de agua

<b>Factores</b>	<b>Valores</b>
constante	5,68889
dosificación	-0,0106667
tiempo	-0,0031746

La tabla 3.8 muestra la ecuación de la regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

$$R = 5,68889 - 0,0106667 * D - 0,0031746 * T$$

Los valores de las variables están especificados en sus unidades originales.

#### Respuesta Optimizada

En la tabla 3.9 se muestra la combinación de niveles de factores que minimizan la absorción de agua. Puede determinarse el valor de uno o más factores para una constante fijando los límites inferior y superior en ese valor.

Tabla 3.9 Niveles de factores que maximizan la absorción de agua.

Valor Optimo	4,8		
<b>Factor</b>	<b>Inferior</b>	<b>Mayor</b>	<b>Optimo</b>
dosificación	25,0	75,0	75,0
tiempo	7,0	28,0	28,0

#### Efectos de la absorción de agua.

Los efectos principales de la absorción de agua se muestran en la figura 3.6. Se observa que al aumentar la dosificación desde 25 hasta 75 %, existe una disminución de la absorción de agua de 5.39 hasta 4.85 %, con un decrecimiento de 0,54 %. Con el paso del tiempo desde los 7 hasta 28 días también se puede observar una disminución de la absorción de agua desde los 5,13 hasta 5,06 Mpa con un decrecimiento de 0,07 %; siendo este más significativo la dosificación.

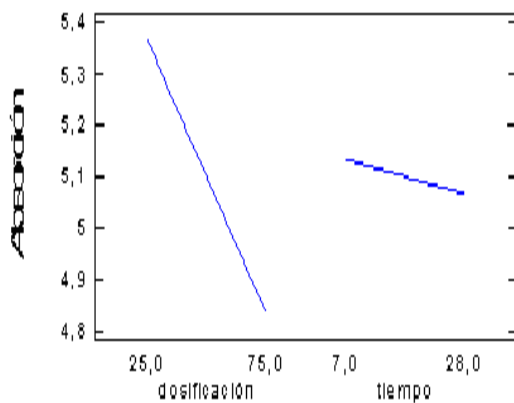


Figura 3.6 Efectos principales.

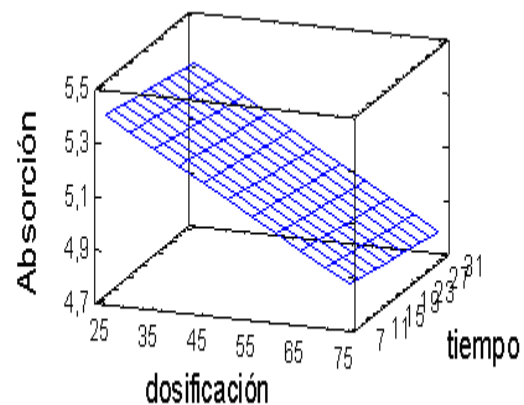


Figura 3.7 Superficie de respuesta.

En la figura 3.7 se muestra la superficie de respuesta estimada a partir de la ecuación de regresión, donde se observa el comportamiento de la absorción de agua en relación a la dosificación y el tiempo. A partir del grafico se puede estimar de ante mano la dosificación a añadir de desperdicios de vidrio para determinada absorción minia máxima necesaria.

### 3.3 Resultados de la determinación de las dimensiones y masa.

#### 3.3.1 Masa

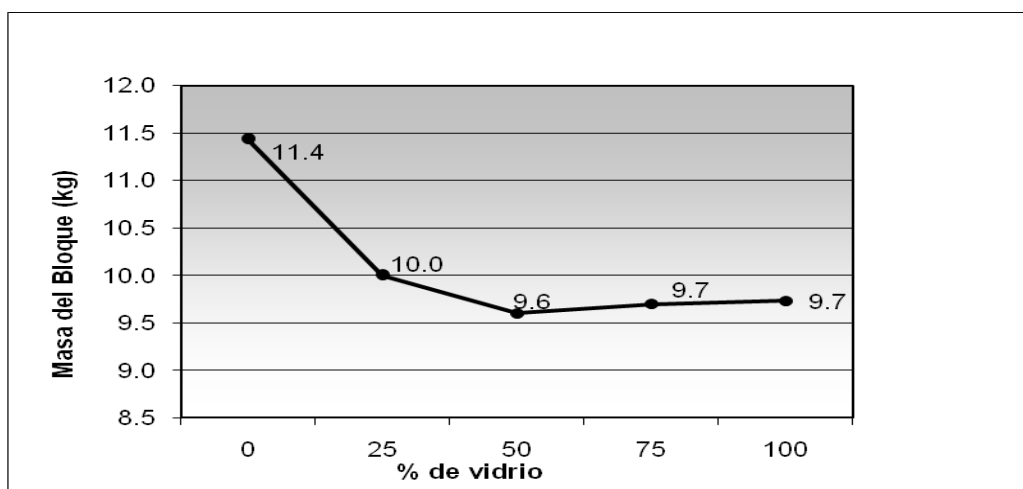


Figura 3.8 Tendencia de la masa de los bloques

En la figura 3.8 se puede observar la tendencia de la masa promedio de los bloques por cada una de las adiciones de vidrio. Como característica a destacar, los bloques elaborados con desperdicios de vidrio como sustitutos de la arena son más ligeros que los elaborados en la muestra patrón, disminuyendo de uno a dos kilogramos su masa.

### 3.3.2 Dimensiones

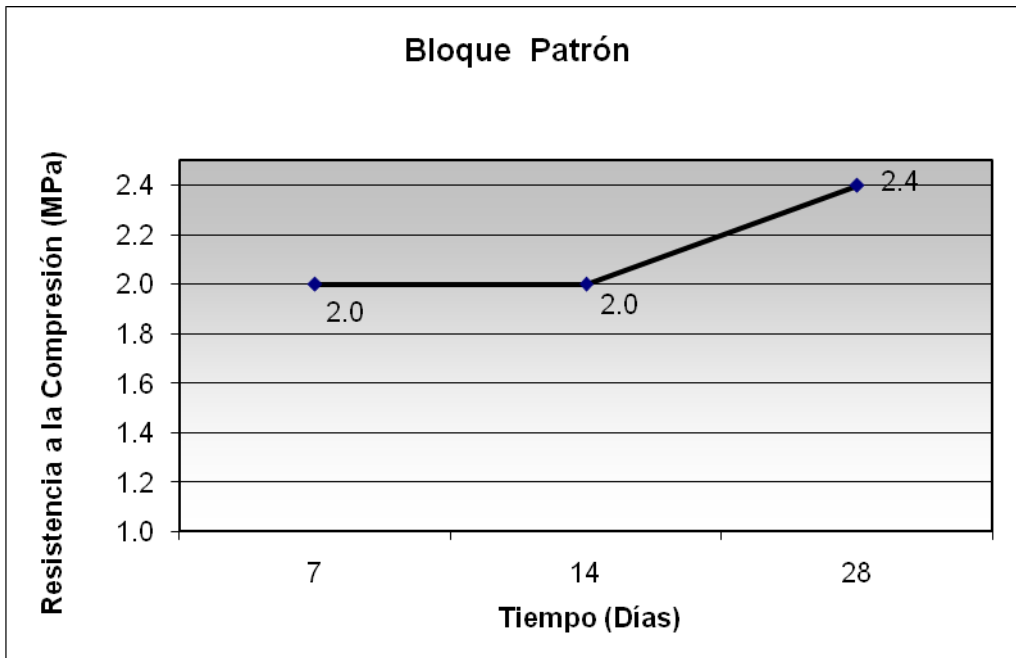
Las dimensiones se determinaron según procedimiento explicado en el capítulo 2, acápite 2.8. Como se muestra en la tabla 3.10 las dimensiones, tanto de longitud, largo, ancho y espesor, manifiestan diferencias de 1mm aceptadas según la NC 247/2010.

**Tabla 3.10** Dimensiones de los bloques elaborados

Edad (días)	7 días				14 días				28 días			
% de Vidrio	l (mm)	b (mm)	h (mm)	Esp. (mm)	l (mm)	b (mm)	h (mm)	Esp. (mm)	l (mm)	b (mm)	h (mm)	Esp. (mm)
0	397	98	196	25	396	97	196	24	397	96	195	25
25	396	97	196	24	397	98	196	24	396	97	193	24
50	396	97	196	24	398	97	196	24	396	96	195	24
75	397	96	195	24	396	97	196	24	397	95	196	24
100	395	98	196	24	398	96	194	24	396	101	192	24

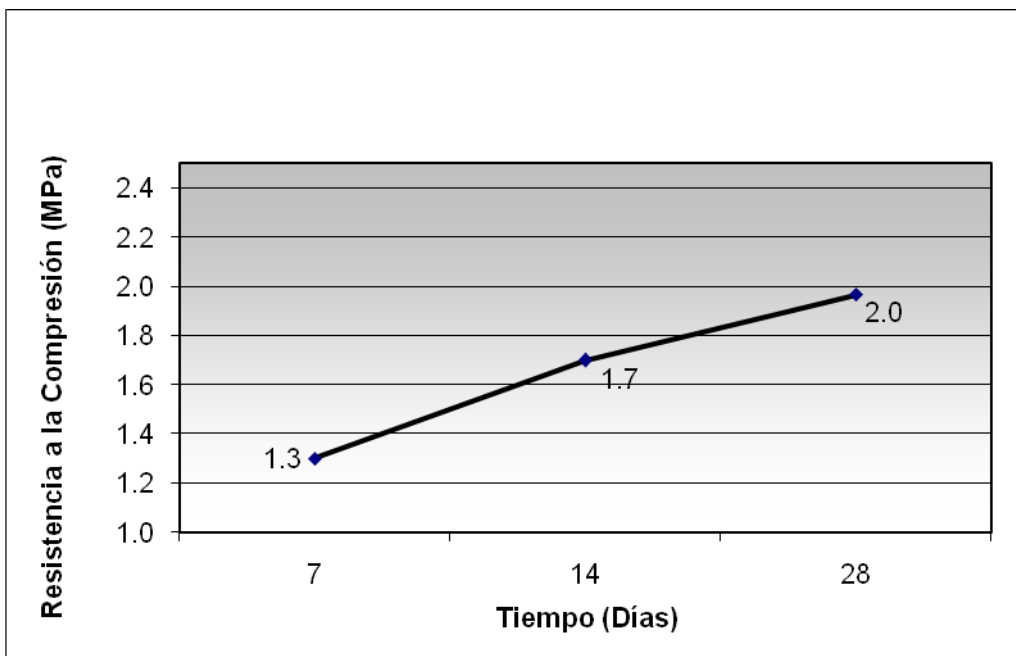
### 3.4 Influencia de la dosificación y el tiempo en la resistencia a la compresión.

La determinación de la resistencia mecánica se realizó siguiendo la metodología explicada en el acápite 2.9, para ello se tuvo en cuenta los porcentajes de adición de desechos de vidrio cada uno de los días que se ensayó la muestra, realizando siempre una comparación con la muestra patrón (Figura 3.9). La muestra patrón posee las mismas características de un bloque comercializable por la Empresa Materiales de Construcción de Granma.



**Figura 3.9** Resistencia a la compresión del bloque patrón

**3.4.1 Influencia de la dosificación y el tiempo en la resistencia a la compresión para 25 % de sustitución de arena.**



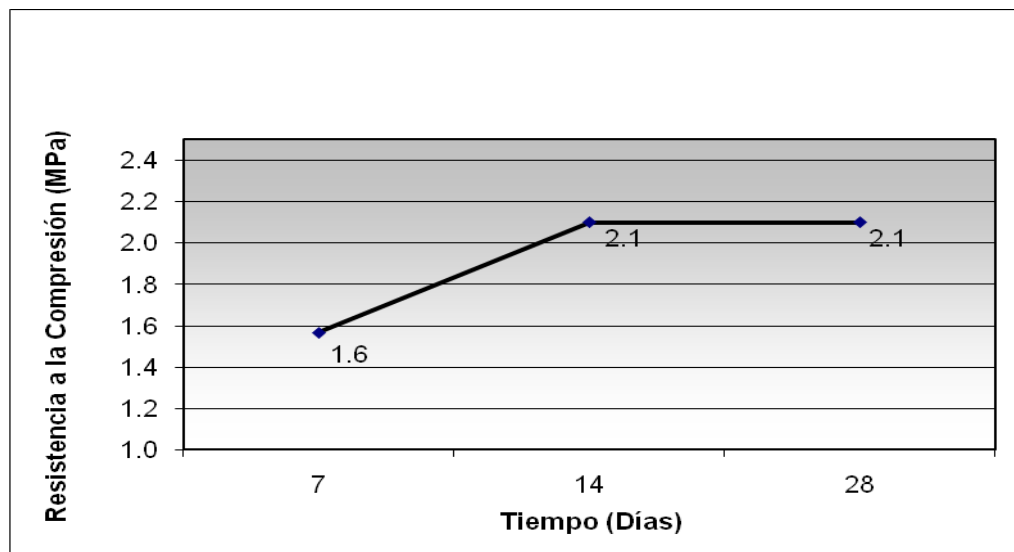
**Figura 3.10** Resistencia a la compresión de los bloques con 25 % de vidrio.



Como se muestra en la figura el comportamiento de los valores de resistencia a la compresión para los bloques con 25 % de sustitución de arena, aunque tiende a incrementarse en función del tiempo no alcanza los valores requeridos y está por debajo del patrón.

### 3.4.2 Influencia de la dosificación y el tiempo en la resistencia a la compresión para 50 % de sustitución de arena.

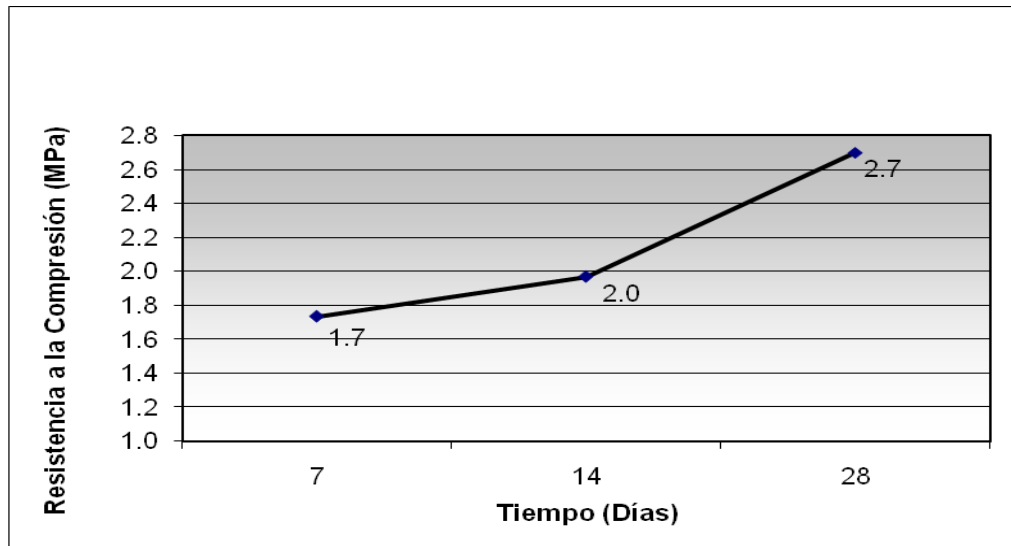
Según la figura 3.11 los bloques con 50 % de vidrio alcanzan la resistencia mínima requerida a los 14 días según la norma, con 0,1 MPa por encima de la resistencia de la muestra patrón para este mismo período de tiempo. Desde los 14 hasta los 28 días la resistencia se mantiene constante sin superar los valores del patrón.



**Figura 3.11** Resistencia a la compresión de los bloques con 50 % de vidrio.

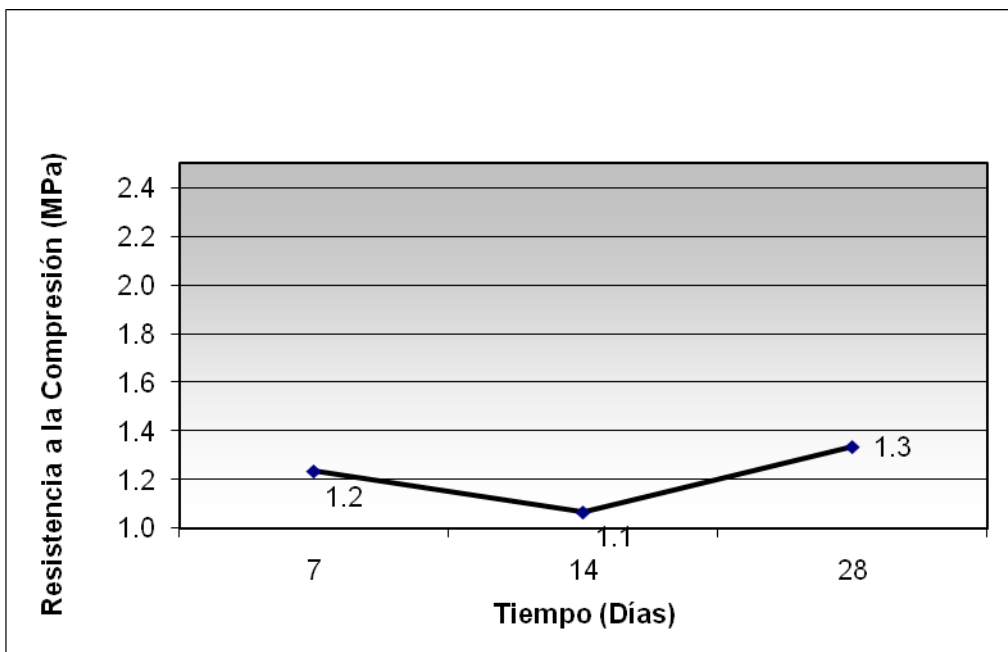
### 3.4.3 Influencia de la dosificación y el tiempo en la resistencia a la compresión para 75 % de sustitución de arena.

En la siguiente figura también puede observar un aumento de la resistencia a la compresión directamente proporcional al tiempo. Al sustituir el 75 % de la arena por vidrio reciclado, se logra alcanzar la resistencia mínima requerida a los 14 días igualándose con la del bloque patrón; con esta dosificación se logra superar la resistencia patrón y normalizada a los 28 días.



**Figura 3.12** Resistencia a la compresión de los bloques con 75 % de vidrio.

#### 3.4.4 Influencia de la dosificación y el tiempo en la resistencia a la compresión para 100 % de sustitución de arena.



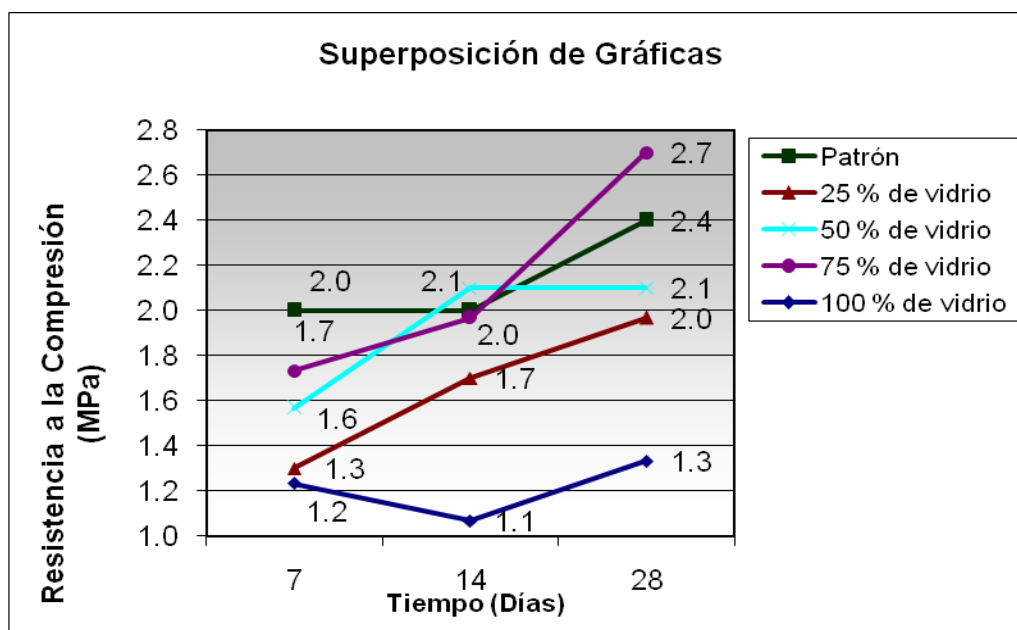
**Figura 3.13** Resistencia a la compresión de los bloques con 100 % de vidrio.

Como se muestra en la figura 3.13 los bloques elaborados sustituyendo totalmente la arena, se observa un comportamiento irregular de la resistencia a la compresión, disminuyendo a los 14 días en relación con el primer ensayo, realizado a los 7 días,

no logrando alcanzar la resistencia requerida según NC 247:2010. En el caso de estos bloques en ninguno de los estudios realizados anteriormente en hormigones, morteros baldosas, etc. y analizados durante el desarrollo de esta investigación se sustituye completamente la arena, por lo que constituye un resultado de este trabajo.

### 3.4.5 Comparación de los resultados de resistencia mecánica de los bloques elaborados con desperdicios de vidrio en sustitución de la arena.

En las figuras 3.14 y 3.15 se muestran el comportamiento de la resistencia media a la compresión de los bloques huecos de hormigón teniendo en cuenta el tiempo y proporción de vidrio en cada una de las muestras. Según las figuras, se observa que para los bloques con 25; 50 y 75 % de sustitución de la arena por desechos de vidrio la resistencia media a la compresión aumenta directamente proporcional al tiempo; obteniéndose valores iguales o superiores a la muestra patrón a los 14 y 28 días, excepto para el 25 % de vidrio.

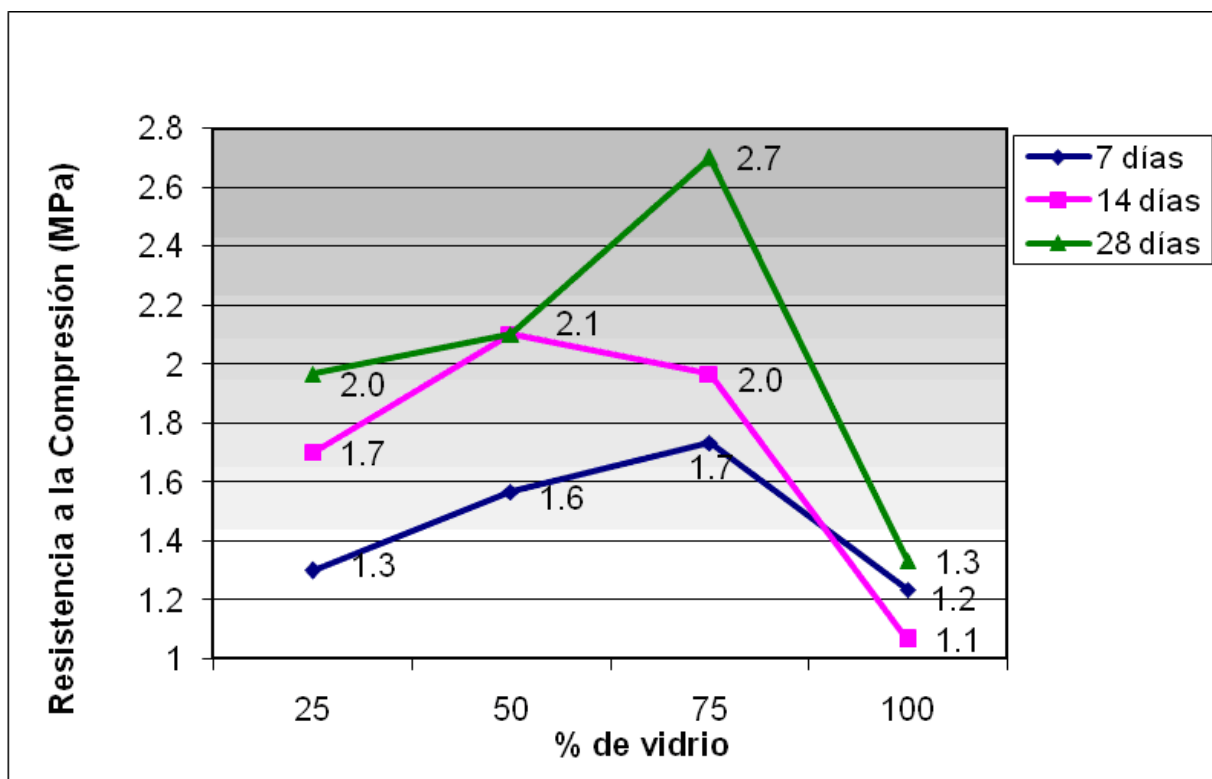


**Figura 3.14** Comportamiento de la resistencia a la compresión en el tiempo.

En el caso de los bloques confeccionados sin arena manifiestan un comportamiento irregular, disminuyendo la resistencia desde los 7 hasta los 14 días, para luego

aumentar nuevamente, aunque nunca llega a los valores mínimos exigidos al igual que con 25 % de vidrio.

De los ensayos realizados, las proporciones de 50 y 75 % de vidrio cumplen con la resistencia exigida. Los bloques elaborados con 75 % de vidrio son los de mejor conducta en relación a la resistencia, alcanzando la mínima requerida a los 14 días y superando la muestra patrón y los valores normalizados a los 28 días.



**Figura 3.15** Comportamiento de la resistencia a la compresión según porcentaje de vidrio.

Como criterios de comercialización por la Empresa de Materiales de Construcción de Granma, se utiliza la resistencia a la compresión, la cual a los 7 días debe alcanzar 2,0 MPa; si no cumple este requisito se le realiza nuevamente la prueba de resistencia a los 14 o 21 días. Como criterio final se debe lograr una resistencia de 2,5 MPa a los 28 días de acuerdo a lo establecido en la NC 247:2010. Por lo tanto los bloques elaborados con 50 y 75 % de desechos de vidrio reciclado pueden ser comercializados.

### 3.5 Influencia de la determinación de la absorción de agua.

En la Tabla 3.11 y Figura 3.16 se muestran los resultados de la absorción de agua, en las mismas se puede comprobar que a medida que aumenta el porcentaje de sustitución de la arena disminuye el de absorción del agua. Se debe destacar que este tipo de bloque no es estructural para muros de carga, sino que se utiliza en la construcción de divisiones y closet por lo que no tiene normalizado la absorción. No obstante esta se comporta por debajo de la establecida en la NC 247:2010 para bloques estructurales de 8 %.

**Tabla 3.11** Absorción de agua y agua utilizada en la elaboración de los bloques.

Adición de Vidrio (%)	Absorción de Agua (%)				Agua utilizada en la confección de las muestras (L)
	7 días	14 días	28 días	Promedio	
0	5,6	5,5	5,6	5,6	15,14
25	5,5	5,4	5,4	5,4	13,24
50	5	4,9	5	5,0	11,35
75	4,9	5	4,8	4,9	9,46
100	4,5	4	4,3	4,3	7,57

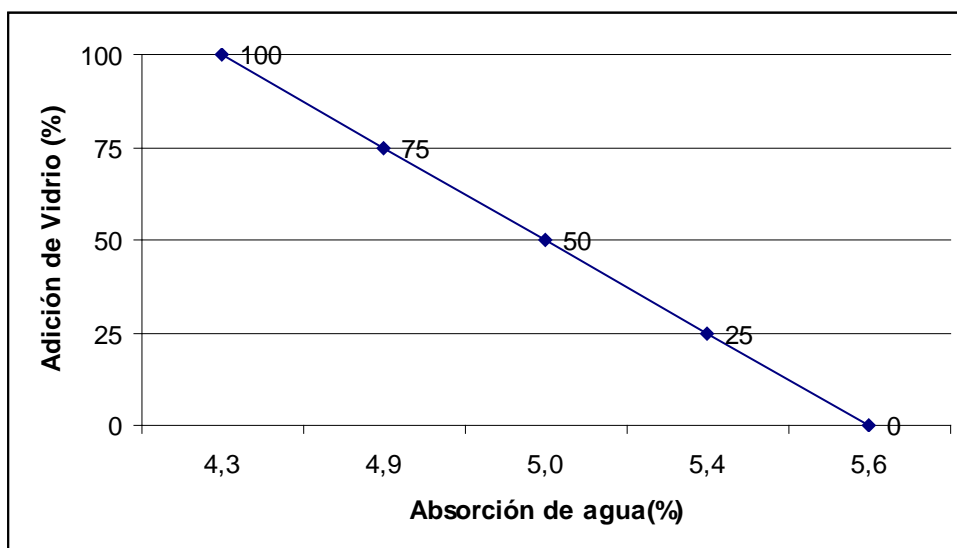


Figura 3.16 Relación de la absorción de agua utilizada en los bloques.

Es de destacar el ahorro de agua durante la confección de los bloques con respecto a la utilizada en la muestra patrón, en un orden de 1,5L para cada dosificación. Se ahorra un total de 7,57 litros de agua en los bloques confeccionados con 100 % de vidrio en sustitución de arena. Se puede observar en la figura

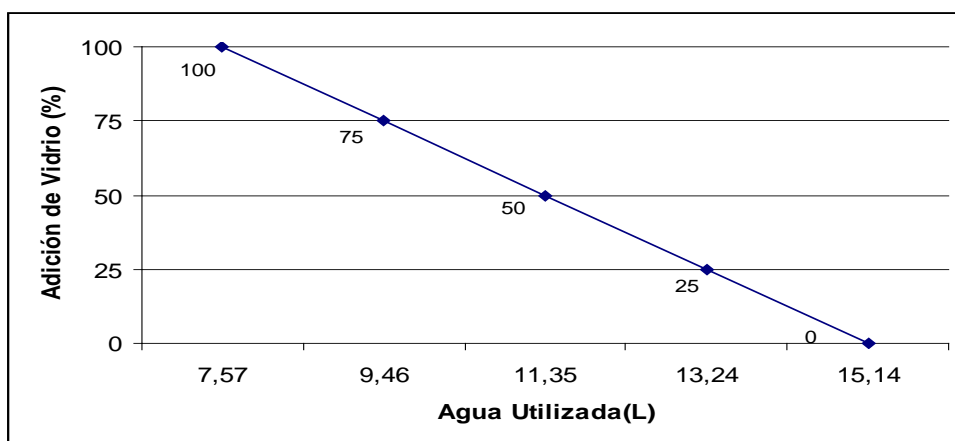


Figura 3.17 Relación del agua utilizada en los bloques.

### 3.6 Breve análisis económico.

En la elaboración del análisis económico se tuvo en cuenta la elaboración de un bloque y dos empresas distintas; la propia Empresa de Materiales de Construcción de Granma y otra empresa cualquiera que elabora elementos constructivos pero que se subordina a otro ministerio.

Teniendo en cuenta los precios para la Empresa de Materiales de la Construcción de Granma (EMC Granma)

Tabla 3.12 Costes de los bloques elaborados con arena para (EMC Granma)

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad (kg)</b>	<b>Costes (\$)</b>
Arena	2,76	0,0173
Granito	4,41	0,0335
Polvo de piedra	3,81	0,0281
Cemento	0,93	0,1745
	subtotal	<b>0,2534</b>
Gasto de salario		0,22
	<b>Total</b>	<b>0,4734</b>

Tabla 3.13 Costes de los bloques elaborados con vidrio para (EMC Granma)

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad (kg)</b>	<b>Costes (\$)</b>
Arena	0,69	\$ 0,0043
Vidrio	2,76	0,1346
Granito	4,41	0,0335
Polvo de piedra	3,81	0,0281
Cemento	0,93	0,1745
	subtotal	<b>\$ 0,3750</b>
Gasto de salario		0,22
	<b>Total</b>	<b>\$ 0,5950</b>

Teniendo en cuenta los precios para las empresas subordinadas otro ministerio

Tabla 3.14 Costes de los bloques elaborados con arena

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad (kg)</b>	<b>Costes (\$)</b>
Arena	2,76	0,0357
Granito	4,41	0,0597
Polvo de piedra	3,81	0,0614
Cemento	0,93	0,1745
	subtotal	<b>0,3322</b>
Gasto de salario		0,22
	<b>Total</b>	<b>0,5522</b>

Tabla 3.15 Costes de los bloques elaborados con vidrio

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad (kg)</b>	<b>Costes (\$)</b>
Arena	0,69	0,0089
Vidrio	2,76	0,1346
Granito	4,41	0,0597
Polvo de piedra	3,81	0,0614
Cemento	0,93	0,1745
	subtotal	<b>0,4391</b>
Gasto de salario		0,22
	<b>Total</b>	<b>0,6591</b>

Si solo se tiene en cuenta el coste de producción unitario a partir del costo de los materiales y de la mano de obra en el lugar de producción, entonces se puede decir que los bloques elaborados con desechos de vidrio reciclado en un 75 % de sustituto de arena son más costosos que los elaborados solo con arena para ambas empresas.

Si se tiene en cuenta que la arena se debe trasladar de una distancia de 38 km., el desecho de vidrio se encuentra solo a 5 km y el precio actual del diesel es de 0,99 pesos convertibles (cuc) por litro, entonces se debe agregar un componente en cuc superior a los bloques elaborados con arena solamente. Este componente dependerá de la capacidad e índice de consumo del carro utilizado en la transportación del material. Entonces los bloques con arena son más costosos que los que se confeccionan con desechos de vidrio que se pueden observar en la figura 3.16



**Figura 3.16** Vistas de los bloques elaborados.

### **3.7 Los desechos de vidrio, el hombre y el medio ambiente**

En los momentos actuales la protección del medioambiente lleva implícita las palabras "recuperación" y/o "reciclado". Los países industrializados son grandes productores de desechos que no se pueden destruir de una manera sencilla y rápida. Los altos costes de eliminación de residuos obligan a los gobiernos a tomar medidas encaminadas a minimizar esos residuos y reducir su dependencia de las materias primas.



Los beneficios para el medio ambiente y la economía de los países que deciden hacer un uso responsable del vidrio para un buen resultado y un buen beneficio recicándolo son grandísimos.

Proteger el medio ambiente disminuyendo las cantidades de residuos que se depositan es de vital importancia para evitar la contaminación de los suelos. Los desechos de vidrio, tardan entre 1000 y 5000 años en desintegrarse.

El vidrio es un material totalmente reciclable y no hay límite en la cantidad de veces que puede ser reprocesado. Es un material que por sus características es fácilmente recuperable; especialmente el envase de vidrio ya que este es 100 % reciclable, es decir, que a partir de un envase utilizado, puede fabricarse uno nuevo. Al reciclarlo no se pierden las propiedades y se ahorra una cantidad de energía con respecto al vidrio nuevo. Los nuevos productos fabricados a partir de desechos de vidrio reciclado tendrán idénticas propiedades con respecto al vidrio fabricado directamente de los recursos naturales.

Para reciclar no se pueden mezclar las botellas o los envases de color diferente y tampoco los residuos sólidos de otros cristales. Para su adecuado reciclaje el vidrio es separado y clasificado por colores, dividido en tres grupos fundamentales: verde, ámbar o café y transparente. El proceso de reciclado luego de la clasificación del vidrio requiere que tapas metálicas, etiquetas y todo material ajeno sea separado.

Siempre que es posible el vidrio es reutilizado, es decir, no se funde, sino que se vuelve a utilizar únicamente lavándolo (en el caso de los recipientes). En acristalamientos, también se puede aprovechar el vidrio cortándolo nuevamente (siempre que se necesite una unidad más pequeña).

En algunas ciudades del mundo se han implementado programas de reciclaje de vidrio, en ellas pueden encontrarse contenedores especiales para vidrio en lugares públicos. Muchas de ellas cuentan ya con contenedores de vidrio en los que puedes depositar botellas y todo tipo de envases de cristal.

Es importante señalar que el reciclaje necesita un 26% menos de energía que la producción original, en la que para crear un kilo de vidrio se necesitan

unas 4.200 kilocalorías de energía. Además el material generado por reciclaje reduce en un 20% la contaminación atmosférica.

En Cuba dificulta el reciclaje de todo el desecho de vidrio que se genera dado fundamentalmente a la poca industrialización en este sector. Se concentra más el reciclaje del vidrio en la reutilización de envases. Los desecho de vidrio generados en el país van mayormente a parar a los vertederos; se trata de cantidades superiores a las 150 ton, que incluye algunos frascos que no se reutilizan, desechos de vidrios de ventanas, espejuelos y otros que es imposible refundir como son los aisladores eléctricos. Con la utilización de estos desechos como sustituto de la arena en las mezclas de materiales de la construcción, específicamente en los bloques huecos de hormigón; dará una solución inicial para disminuir el vertimiento de estos desechos.

### **Conclusiones parciales.**

- La resistencia de los bloques aumenta en el tiempo para las dosificaciones desde 25 hasta 75 % de sustitución de arena por desechos de vidrio; con mejor resultado en 75 % de sustitución de arena, aunque pudieran comercializarse los bloques con 50 % de vidrio
- Los bloques en los cuales el 100 % de la arena fue sustituida por desechos de vidrio se muestra un comportamiento irregular y no alcanzas los valores mínimos de resistencia.
- Tanto el porcentaje de absorción de agua como la cantidad añadida de esta en lo bloques disminuye a medida que aumenta el porcentaje de arena sustituido.

## CONCLUSIONES

Luego de finalizado el proceso investigativo se llega a la conclusión que:

- Los bloques confeccionados con desechos de vidrio reciclado como sustituto de la arena se comportan de la siguiente manera: para el 25, 50 y 75 % de vidrio en sustitución de la arena, aumenta la resistencia media a la compresión en el tiempo, hasta los 28 días; con el 75 % de sustitución de arena poseen resistencia a la compresión superior en 0,3 y 0,2 MPa a los de la muestra patrón y los normalizados respectivamente.
- El porcentaje de absorción de agua de 4,3 a 5,6 se comporta por debajo del límite normalizado para bloques estructurales de 8 %.
- Los bloques elaborados con desperdicios de vidrio como sustituto de arena son más ligeros que los que se elaboran y comercializan actualmente por la Empresa de Materiales de Construcción de Granma.

## **RECOMENDACIONES**

Después de un análisis de los resultados y su valoración se recomienda:

- Comercializar los bloques elaborados con desechos de vidrio como sustitutos de arena y valorar la satisfacción de los clientes.
- Elaborar los bloques con tecnología de fabricación para valorar el aumento de la resistencia.
- Evaluar los bloques elaborados teniendo en cuenta períodos mayores de 28 días para la confirmación del aumento de la resistencia de los mismos en el tiempo y valorar si existen reacción del vidrio con los álcalis del cemento.

## 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. 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.
7. 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/rimin\\_1/jornadas/01\\_iber\\_mac\\_pdf/08\\_Calidad/Sosa.pdf](http://www.minas.upm.es/relext/Red-CytedXIII/webrimin/rimin_1/jornadas/01_iber_mac_pdf/08_Calidad/Sosa.pdf). [Consulta 2 de mayo 2013 ].
8. 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

9. FERNÁNDEZ J. L. 2013. Normas de consumo de materias primas para los productos de la EMC Granma. Gramat, 2013. 6p
10. FERNÁNDEZ J. L. 2013. Dosificación de las materias primas de los productos de la EMC Granma. Gramat, 2013. 5p
11. FERNÁNDEZ J. L. 2013. Características de las rocas del cacao. Informe Técnico Gramat, 2013. 2p
12. FLORES V., M. R. 2005. Hormigón con vidrio. Trabajo de Diploma. Universidad Austral de Chile, 2005. 62p.
13. 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.
14. 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 ].
15. 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.
16. 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
17. MORENO F, MANUEL. 1978 *El Ingenio, complejo económico social cubano del azúcar*. Editorial Ciencias Sociales. Tomo I.
18. NC 178: 2002: Áridos. Análisis granulométrico.
19. NC 181: 2002: Áridos. Determinación del peso volumétrico. Método de ensayo.
20. NC 182: 2002: Áridos. Determinación del material más fino que el tamiz de 0.074 mm (no. 200). Método de ensayo.

- 21.NC 186: 2002: Arena. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo.
- 22.NC 186: 2002: Árido grueso. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo.
- 23.NC 251: 2005: Áridos para hormigones hidráulicos—requisitos.
- 24.NC 247: 2010: Bloques Huecos de Hormigón—especificaciones.
- 25.NEMC 134-01:2007 Bloques huecos de hormigón. Proceso Tecnológico. Río Bayamo (ponedora)
- 26.SÁNCHEZ, C.LI. 2008. Hormigón con vidrio. Trabajo de título. Universidad Austral de Chile, 2008. 65p.
- 27.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)
- 28.SUNDE, L. 2005. Hormigón. Oficina Española de Patentes y Marcas (ES 2 239 124 T3)
- 29.TAYLOR, S. & BOGDAN, R. 1984: Introducción a los métodos cualitativos de la investigación. Nueva York, McGraw-Hill. 332 p.
- 30.VASCAL, L. 2001. Desechos de vidrio como material de relleno para hormigones. Oficina Sueca de Patentes y Marcas (SC 501 419 A1)
- 31.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 Cerámica y Vidrio. Vol 50. 2, marzo-abril 2011.<http://ceramicayvidrio.revistas.csic.es/index.php/ceramicayvidrio/article/view/986/1020> .[ Consulta 2 de mayo 2013 ].

## ANEXOS

### Anexo 1. Resistencia a la compresión de los bloques ensayados.

Tiempo de Ensayo (Días)	Sustitución de Vidrio (%)	Resistencia a la compresión (MPa)			
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
7 días	0	2,0	1,8	2,2	2,0
	25	1,2	1,2	1,5	1,3
	50	1,5	1,2	2,0	1,6
	75	1,5	1,5	2,2	1,7
	100	1,1	1,0	1,6	1,2
14 días	0	1,9	1,9	2,1	2,0
	25	1,8	1,6	1,7	1,7
	50	2,0	2,0	2,3	2,1
	75	1,6	2,0	2,3	2,0
	100	1,5	0,7	1,0	1,1
28 días	0	2,4	2,2	2,5	2,4
	25	2,0	1,7	2,2	2,0
	50	2,0	2,7	1,6	2,1
	75	2,1	2,7	3,3	2,7
	100	1,6	1,0	1,4	1,3