

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LA FABRICACION DE BLOQUES DE
MORTERO ESTRUCTURAL ADICIONADOS CON VIDRIO MOLIDO COMO
ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA CONSTRUCCIÓN**

Investigadores:

MIGUEL ANGEL LARA VASQUEZ

JHONNY ANDRES NORIEGA DE AGUAS

Trabajo de grado para optar al título de:

INGENIERO CIVIL

Línea de Investigación:

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Grupo De Investigación:

ESCONPAT

Investigador y director:

MSC. JORGE ALVAREZ CARRASCAL



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

CARTAGENA D.T. y C.

2018



ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LA FABRICACION DE BLOQUES DE MORTERO ESTRUCTURAL ADICIONADOS CON VIDRIO MOLIDO COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA CONSTRUCCIÓN



ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LA FABRICACION DE BLOQUES DE MORTERO ESTRUCTURAL ADICIONADOS CON VIDRIO MOLIDO COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA CONSTRUCCIÓN

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**MIGUEL ANGEL LARA VASQUEZ
JHONNY ANDRES NORIEGA DE AGUAS**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
CARTAGENA D.T. y C.
2018**



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCION	11
1. MARCO DE REFERENCIA	15
1.1. ANTECEDENTES.....	15
1.2. ESTADO DEL ARTE.....	23
1.3. MARCO TEÓRICO	27
1.3.1. Cambio climático	27
1.3.2. Desarrollo sustentable	29
1.3.3. Residuos sólidos	31
1.3.4. Vidrio	31
1.3.4.1. Tipos de vidrio	32
1.3.4.2. Fabricación del vidrio.....	33
1.3.4.3. Resistencia del vidrio al frío y al calor.....	33
1.3.4.4. Vidrio de desecho.....	34
1.3.4.5. Propiedades del vidrio.....	35
1.3.4.6. Etapas el aprovechamiento de los residuos	36
1.3.5. Reciclaje.....	37
1.3.6. Bloques.....	37
1.3.6.1. Fabricación	37
1.3.6.2. Propiedades	39
1.3.7. Materia prima	44
1.3.7.1. Cemento	44
1.3.7.2. Arena	46
1.3.7.3. Agua	47
1.3.8. Análisis económico basado en el precio unitario (apu)	48
2. OBJETIVOS	51
2.1. OBJETIVO GENERAL	51
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	51
3. ALCANCE	52
4. METODOLOGÍA	55



4.1.	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE	56
4.2.	IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE MATERIALES	56
4.3.	DETERMINACION DE LAS PROPORCIONES DE ESTUDIO Y ELABORACIÓN DE LOS BLOQUES	57
4.4.	REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS FÍSICO MECÁNICOS	61
4.4.1.	Ensayos a los materiales	62
4.4.1.1.	Cemento	62
4.4.1.2.	Arena	63
4.4.1.3.	Vidrio molido	64
4.4.2.	Ensayos a los bloques	64
4.4.2.1.	Resistencia a la compresión	64
4.4.2.2.	Densidad	66
4.4.2.3.	Absorción	66
4.4.2.4.	Humedad	67
4.5.	ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS OBTENIDOS	68
4.6.	ANALISIS ECONOMICO	68
4.7.	PREPARACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL INFORME FINAL	68
5.	RESULTADOS Y DISCUSION	70
5.1.	ENSAYOS A LOS MATERIALES	70
5.1.1.	Ensayos al Cemento	70
5.1.2.	Ensayos a la arena	75
5.1.3.	Ensayos al vidrio molido	80
5.2.	ENSAYOS A LOS BLOQUES	83
5.2.1.	Densidad	84
5.2.2.	Resistencia a la compresión	87
5.2.3.	Absorción	91
5.2.4.	Humedad	93
5.3.	ANALISIS ECONOMICO	96
6.	CONCLUSIONES	102
7.	RECOMENDACIONES	105
	BIBLIOGRAFIA	107



LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Cartagena De Indias Fuente: Google maps.....	52
Ilustración 2. Esquema de la metodología a seguir Fuente: autores.....	55
Ilustración 3 Maquina de los ángeles Fuente: autores	57
Ilustración 4 Maquina de fabricación de bloques vibrados Fuente: Autores.....	58
Ilustración 5 Maquina mezcladora de materiales Fuente: Autores	58
Ilustración 6 Zona de curado Fuente: Autores	60
Ilustración 7 Esquema de la metodología a seguir para la realización de los bloques. Fuente: Autores.....	61
Ilustración 8 Montaje del ensayo de Consistencia normal Fuente: Autores.....	71
Ilustración 9 Montaje del ensayo de Tiempo de fraguado Fuente: Autores	73
Ilustración 10 Serie de tamices granulométrica Fuente: Autores	76
Ilustración 11 Ensayo volumen de arena Fuente: Autores	78
Ilustración 12 Ensayo de contenido de materia orgánica Fuente: Autores	79
Ilustración 13 Volumen de vidrio Fuente: Autores	80
Ilustración 14 Serie de tamices para granulometría y maquina tamizadora. Fuente: Autores	81
Ilustración 15 Material retenido por tamices Fuente: Autores.....	82
Ilustración 16 Bloque tipo 1 Fuente: Autores	85
Ilustración 17 Bloque tipo 2 Fuente: Autores	85
Ilustración 18 Montaje del ensayo de resistencia a la compresión. Fuente: Autores.....	88
Ilustración 19 Rotura de uno de los bloques Fuente: Autores	89
Ilustración 20 Secado al horno de los bloques Fuente: Autores	92
Ilustración 21 Piscina de hidratación Fuente: Autores.....	92
Ilustración 22 Molino Marca M.I.V Modelo MP60-800 Motor de 60Hp. Fuente: MIV. C.A.....	97



LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Resultados de la resistencia a la compresión promedio para las distintas dosificaciones. Fuente: Poveda., Granja, Hidalgo, Ávila.....	26
Tabla 2 Propiedades del vidrio. Fuente. Ramírez, 2007.....	36
Tabla 3 Densidad de los bloques de concreto. Fuente: NTC 4026.....	39
Tabla 4 Valor mínimo de la resistencia a la compresión de bloques de concreto. Fuente: NTC 4026.	40
Tabla 5 Absorción de agua (Aa%), según el peso (Densidad) del bloque Fuente: NTC 4026.	42
Tabla 6 Requisitos para el contenido de humedad en las unidades de mampostería fuente: NTC 4026.....	43
Tabla 7 Valores de espesor equivalente (eq) Fuente: Concretodo. Volumen 3.....	44
Tabla 8 Clasificación según la característica del cemento. Fuente: Gallo, Espino y Olivera, 2003.....	46
Tabla 9 Modelo de APU Fuente: Autores.....	50
Tabla 10 Clasificación del bloque según su peso Fuente: NTC 4026.	53
Tabla 11 Absorción máxima de los bloques según clase. Fuente: NTC 4026.....	53
Tabla 12 Numero de baldes requeridos para cada dosificación de vidrio. Fuente: Autores.....	59
Tabla 13. Valores de penetración Fuente: Autores.....	71
Tabla 14. Resultado del ensayo de tiempo de fraguado Fuente: Autores.....	73
Tabla 15. Granulometría de la arena Fuente: Autores.....	76
Tabla 16 Granulometría del vidrio Fuente: Autores.....	82
Tabla 17 Valores de Peso seco y volumen por dosificación de vidrio Fuente: Autores	86
Tabla 18 Densidad de los bloques según dosificación y clasificación Fuente: autores	86
Tabla 19 Carga de rotura en KN para cada dosificación de vidrio molido. Fuente: Autores.....	88
Tabla 20 Resistencia a la compresión de los bloques a los 28 días. Fuente: Autores.....	90
Tabla 21 Variación de la resistencia a la compresión de cada dosificación de vidrio con respecto al bloque patrón. Fuente: Autores.	91
Tabla 22 Pesos secos y saturados para cada dosificación de vidrio. Fuente: Autores.....	93
Tabla 23 Porcentaje de absorción para cada dosificación de vidrio. Fuente: Autores.....	93
Tabla 24 Requisitos para el contenido de humedad en las unidades de mampostería fuente: NTC 4026.....	94
Tabla 25 Valores de peso húmedo y peso secado al horno para cada dosificación de vidrio fuente: Autores.....	94
Tabla 26 Porcentaje de humedad por dosificación de vidrio Fuente: autores.....	95
Tabla 27 Humedad requerida para cada dosificación de vidrio Fuente: Autores.....	95
Tabla 28 Cantidad de materiales para un bloque según su porcentaje de vidrio. Fuente: Autores.....	96
Tabla 29 Análisis de precio unitario para un bloque con 0% de vidrio Fuente: Autores ...	98
Tabla 30: Análisis de precio unitario para un bloque con 10% de vidrio Fuente: Autores	99



Tabla 31: Análisis de precio unitario para un bloque con 20% de vidrio **Fuente:** Autores 100

Tabla 32 Análisis de precio unitario para un bloque con 40% de vidrio **Fuente:** Autores 101



LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1 Resistencia Vs porcentaje de agregado grueso reemplazado por cuesco Fuente: Gómez Gervis, Torne Arleth 2015	19
Grafica 2 Carga de rotura vs tiempo. Fuente: Caballero, Flórez. 2017	21
Grafica 3 Curvas de la huella medidas promedio. Fuente: Poveda, Granja, Hidalgo, Ávila.	26
Grafica 4 Penetración Vs Porcentaje de agua Fuente: Autores.....	72
Grafica 5 Muestra 1: Penetración Vs tiempo de fraguado Fuente: Autores.....	74
Grafica 6 Muestra 2: Penetración Vs tiempo de fraguado Fuente: Autores.....	74
Grafica 7 Curva granulométrica de la arena Fuente: Autores	77
Grafica 8 Curva granulométrica del vidrio molido Fuente: Autores.....	83



RESUMEN

El impacto del vidrio al medio ambiente radica principalmente en su fabricación y mala disposición. Las actividades que disminuyan este impacto van encaminadas a reducir a los niveles necesarios la producción de vidrio con tal de no derrochar materiales y energía en la producción de material de sobra. Esta investigación determina la factibilidad técnica y económica del uso de vidrio molido como reemplazo parcial del agregado fino en la fabricación de bloques estructurales # 6, con el fin de promover su uso como alternativa sustentable en el sector de la construcción.

El carácter de esta investigación es mixto, ya que consta de un aspecto descriptivo y otro experimental, donde mediante ensayos de compresión, densidad, humedad y absorción se obtuvieron las características físicas y mecánicas de los bloques que se realizaron con distintas proporciones de vidrio molido de 0%, 10%, 20% y 40%. Para ello se hizo la recopilación y análisis de la información existente. Luego se realizó la caracterización de la materia prima para la fabricación de los bloques y con esta la determinación de la dosificación a utilizar. Una vez realizados los ensayos, se organizó un informe donde se congregó toda la información obtenida. para así determinar cuál fue la proporción optima de vidrio molido. Por último, se realizó un análisis económico comparando los APU's para el costo de producción de cada proporción de bloque. Con toda la información obtenida se redactó el informe final.

El bloque que tuvo un reemplazo de 10% de vidrio molido tuvo los menores valores de humedad de 3,85% y absorción de 10,75% y a su vez el mayor valor de resistencia a la compresión de 13,375 Mpa. En cuanto al bloque que tuvo un reemplazo 40% de vidrio molido, obtuvo valores de humedad de 4,15% y absorción de 13,33% y además el valor de resistencia fue el menor entre los bloques con reemplazo de vidrio con 9,710 Mpa. En cuanto al aspecto económico todos los bloques con reemplazo de vidrio molido resultantes evidencian una disminución en el costo de producción.

Se determinó de manera satisfactoria la factibilidad técnica y económica de los bloques estructurales #6 adicionados con vidrio molido cumpliendo con los requisitos establecidos por la normatividad que regula las características de estos elementos.



ABSTRACT

The impact of glass on the environment lies mainly in its manufacture and poor disposal. The activities that diminish this impact are aimed at reducing the production of glass to the necessary levels in order not to waste materials and energy in the production of surplus material. This research determines the technical and economic feasibility of the use of ground glass as partial replacement of the fine aggregate in the manufacture of structural blocks # 6, in order to promote its use as a sustainable alternative in the construction sector.

The character of this investigation is mixed, since it consists of a descriptive and experimental aspect, where by means of compression tests, density, humidity and absorption the physical and mechanical characteristics of the blocks that were made with different proportions of ground glass were obtained. 0%, 10%, 20% and 40%. For this, the compilation and analysis of the existing information was done. Then the characterization of the raw material for the manufacture of the blocks was carried out and with this the determination of the dosage to be used. Once the tests were carried out, a report was organized where all the information gathered was gathered. in order to determine what was the optimum proportion of ground glass. Finally, an economic analysis was carried out comparing the APUs for the cost of production of each block proportion. With all the information obtained, the final report was written.

The block that had a replacement of 10% of ground glass had the lowest values of humidity of 3.85% and absorption of 10.75% and in turn the highest value of compressive strength of 13.375 Mpa. As for the block that had a 40% replacement of ground glass, it obtained moisture values of 4.15% and absorption of 13.33% and also the resistance value was the lowest among the glass replacement blocks with 9.710 Mpa. Regarding the economic aspect, all the blocks with replacement of ground glass result in a reduction in the cost of production.

The technical and economic feasibility of structural blocks # 6 added with ground glass was satisfactorily determined, complying with the requirements established by the regulations that regulate the characteristics of these elements.



INTRODUCCION

El impacto del vidrio al medio ambiente radica principalmente en su fabricación y mala disposición. La producción de vidrio demanda grandes cantidades de energía y materias primas, el proceso de fabricación de vidrio origina emisiones permanentes de contaminantes al medio ambiente, generadas por la manipulación de materias primas de origen mineral. En cuanto a la disposición inadecuada del vidrio, la afectación negativa al medio ambiente es debido a que ningún ecosistema está adaptado para asimilar la presencia del vidrio, interfiriendo en los procesos naturales que se dan dentro de estos.

El reto de disminuir el impacto del vidrio al medio ambiente conlleva un buen manejo de este en la sociedad. Las actividades que posibiliten esto van encaminadas a reducir a los niveles necesarios la producción de vidrio con el fin de no derrochar materiales y energía en la producción de material de sobra. Se ha encontrado que el buen manejo y reciclaje de una tonelada de vidrio permite ahorrar cerca de 1.2 toneladas de materias primas y además se ahorran cerca de 35 litros de petróleo, el reciclaje del vidrio reduce los residuos líquidos generados en una planta cerca de un 50% y disminuye las emisiones producidas a la atmosfera cerca del 20%; esto sumado a la reducción de desechos mineros que la extracción de materia prima conlleva (Sinia, 2013).

El vidrio es un material con alto potencial de reciclaje, al reciclarlo no se pierden las propiedades y se ahorra alrededor del 30% de energía con respecto a la fabricación de vidrio nuevo. Colombia es uno de los países de América del Sur que más vidrio recicla, la industria vidriera nacional recicla hasta el 51% del total que se utiliza. Este 51% de vidrio reciclado, equivale al año a 120.000 toneladas de vidrio, equivalentes a 500 millones de envases (twenergy, 2012).

Sin embargo, una tasa de 49% de vidrio no reciclado (o lo que es igual, 115.300 toneladas), sigue siendo un valor bastante alto, teniendo en cuenta que este vidrio no reciclado tarda 4000 años en degradarse. A nivel de la ciudad de Cartagena, en los centros de acopio y centros de reciclaje para el año 2015 se recogieron 2265,81 toneladas de vidrio que luego de atravesar un proceso de clasificación donde se descartan alrededor del 30%, resulto un total de 1.586 toneladas de material aprovechable de los cuales solo un 5,28% es reciclado



(PGIRS, 2015). A pesar de ello, el vidrio es un material que no es muy contaminante, su erosión física y degradación química son lentas, sin perjudicar su entorno (MacroEditorial). Aun así, afecta la naturaleza de otras formas: Las botellas por su largo tiempo de degradación, interfieren con los animales en sus respectivos ecosistemas, siendo ingeridas por estos y en muchos casos lastimándolos cuando estas llegan a romperse. Por otro lado, las botellas que terminan en zonas boscosas y rurales en épocas de sequía, producen incendios al funcionar como una lupa, siendo esta la cuarta causa más común de incendios forestales por negligencia humana (Ecovive, 2016). Colombia es el tercer país suramericano con mayor cobertura boscosa, teniendo 7 reservas forestales en todo el territorio nacional (Minambiente, 2017). Por esta condición, se vuelve vital el control de los desperdicios de vidrio, ya sea reciclándolos o reutilizándolos.

La generación de residuos está íntimamente ligada a la actividad del sector de la construcción como consecuencia de la demolición de edificaciones e infraestructuras que han quedado obsoletas, así como de la construcción de otras nuevas. Se trata de residuos, básicamente inertes, constituidos por: tierras y áridos mezclados, piedras, restos de hormigón, restos de pavimentos asfálticos, materiales refractarios, ladrillos, cristal, plásticos, yesos, ferrallas, maderas y, en general, todos los desechos que se producen por las actividades constructivas (Romero, 2007).

De aquí nace el concepto de construcciones sostenibles, definiéndose como “el desarrollo de la construcción tradicional, pero con consideraciones de responsabilidad con el medio ambiente de parte de todos los actores involucrados. La generación de alternativas para su implementación es una opción que consiste en la reconversión de los residuos en nuevas materias primas que puedan ser utilizadas en la fabricación de nuevos productos para ser empleados en nuevas obras, cumpliendo estos nuevos productos con la normativa vigente en el país. Una de las primicias planteadas por la construcción sostenible es la utilización de materia prima reciclada en la composición de los elementos utilizados en la construcción, presentándose muchas posibilidades para su utilización. El protagonismo de la materia prima reciclada puede ir desde un porcentaje de la composición de las estructuras, hasta la posibilidad de estar completamente hechas de esta.



Así pues, en Colombia y en el mundo, se han diseñado estrategias para reducir la contaminación apuntándole a la llamada construcción sostenible o ecológica. Se trata de manejar de modo eficaz la energía, el agua, oprimir la generación de desperdicios y usar materiales sin combinados tóxicos. Distintas investigaciones han planteado alternativas de aprovechamiento del vidrio y otros materiales haciendo uso de estos en procesos donde antes no eran tomados en cuenta. La adición de vidrio y otros materiales al concreto y al mortero pueden conferir mejores características a estos, mejorando sus propiedades físicas, mecánicas o químicas de alguna forma.

La investigación desarrollada por Poveda, Granja, Hidalgo y Ávila “Análisis de la influencia del vidrio molido sobre la resistencia al desgaste en adoquines de hormigón tipo A.” se enfocó en el análisis del uso de vidrio molido como sustituto parcial a los agregados tradicionales empleados en la fabricación artesanal de adoquines, analizando sus propiedades mecánicas para verificar el cumplimiento de los estándares nacionales e internacionales, encontrando que la resistencia a la compresión se veía favorecida por la adición de vidrio y que la resistencia al desgaste mejora con la presencia de este.

Otro estudio adelantado por Caballero y Flórez “Elaboración de bloques en cemento reutilizando el plástico polietilen-tereftalato (pet) como alternativa sostenible para la construcción” se elaboró con la finalidad de analizar el impacto ambiental y económico que generaría, en el área de la construcción en la ciudad de Cartagena y el departamento de Bolívar, la elaboración de bloques de cemento reutilizando el plástico Polietileno - Tereftalato (PET) como alternativa sostenible, obteniendo que los bloques con PET mostraron una reducción de peso por unidad y mejorando la resistencia a la compresión de los bloques para dosificación específicas.

El presente trabajo se elaboró con el propósito de evaluar la factibilidad técnica y económica de la aplicación de vidrio molido en la matriz del mortero estructural, utilizado en la fabricación de bloques de mortero de 6 pulgadas dando así una motivación adicional a incrementar su uso en el campo de la construcción y aumentar su tasa de reciclaje en la ciudad de Cartagena y el departamento de Bolívar. Para cumplir este propósito se evaluaron las características físicas y mecánicas de los bloques y se contrastaron con la norma NTC 4024 que establece los parámetros mínimos de resistencia a la compresión, densidad,



humedad y absorción para un bloque que desempeñará una función estructural. Los bloques evaluados se dividieron en 4 grupos definidos por el volumen de vidrio en reemplazo de arena el cual representa un porcentaje de esta, siendo estos porcentajes 10%, 20% y 40% y un lote patrón cuya cantidad de vidrio es del 0% en reemplazo de arena. Esta investigación se realizó en colaboración con la empresa de PREFABRICADOS Y EQUIPOS DEL CARIBE SAS ubicada en el barrio Villa estrella de la ciudad de Cartagena en el departamento de Bolívar, la cual dispuso de los equipos necesarios para la fabricación de los bloques.

La investigación se desarrolló bajo el apoyo y asesoría del grupo investigativo ESCONPAT (Estructura, Construcción y Patrimonio), debido a que los bloques de mampostería estructural son un elemento de gran importancia en el campo de la construcción y las estructuras. Por este motivo, los conocimientos, metodologías y análisis que se aplicaron hacen parte de las ramas de estudio de este grupo y del cuerpo docente que los conforma. Además, los resultados y conclusiones brindaron información necesaria y de gran utilidad para futuras investigaciones con el fin de fortalecer esta línea investigativa y sentar bases para su profundización.

Este estudio es de gran importancia debido a que es un aporte significativo en el campo de la construcción sostenible demostrando, mas allá de los resultados, que la ingeniería puede contribuir de manera eficaz, eficiente y efectiva al aprovechamiento de material contaminante y/o en desuso como en este caso es el vidrio disminuyendo el impacto ambiental de la explotación de recursos naturales como la arena y el alto consumo energético que implica la fabricación del vidrio. Esta investigación propuso un método de aprovechamiento del vidrio en desuso para su posterior utilización en los bloques.

De esta forma, esta investigación da un gran paso en dirección a la construcción sostenible marcando un hito en la fabricación de bloques utilizando un material abundante y asequible y que actualmente representa un gran problema en materia de contaminación como lo es el vidrio.



1. MARCO DE REFERENCIA

1.1. ANTECEDENTES

En cuanto a la aplicación de otros materiales como parte de la matriz del concreto a nivel local se han adelantado las siguientes investigaciones:

EL USO DE ADITIVOS DE ORIGEN NATURAL INTEGRAL A MASAS DE CONCRETO PARA LA PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL EMBEBIDO (CASO DE ESTUDIO: SÁBILA) (Babilonia I., Urango S., 2015).

La investigación tuvo como objetivo principal la evaluación de un aditivo natural en este caso sábila que adicionado a la mezcla de concreto produce efectos en la velocidad de corrosión del acero estructural, mediante la exposición del concreto a un medio salino.

Para el cumplimiento de los objetivos se elaboraron 72 probetas de concreto, 18 probetas cilíndricas de 4'' por 8'' y las restantes de 10'' por 20''. Los parámetros para el estudio y diseño de experimentos fueron: la resistencia del concreto y el porcentaje de sábila adicionado a la mezcla de acuerdo a la relación agua/cemento.

La prueba de velocidad de corrosión se realizó mediante la exposición de las muestras en una cámara de niebla salina simulando ataques agresivos de cloruros, sulfatos y otros agentes, con el fin de determinar si la adición de sábila al concreto generaba pérdidas. En cuanto a su resistencia se realizaron ensayos a compresión para las muestras de 6'' por 12'' a los 7, 14 y 28 días, observando cambios físico-mecánicos en la resistencia y durabilidad de este.

En la investigación se concluyó que en los ensayos a compresión de las probetas cilíndricas se observó una disminución considerable de la resistencia del concreto para la cual fueron diseñadas. Esto permite concluir que la utilización de la sábila como aditivo natural integral a la masa de concreto no posee los factores que contribuyan a aumentar la vida útil de las estructuras en futuros usos. Los porcentajes de sábila utilizados para cada mezcla de concreto incidieron de manera negativa en la obtención de resistencias, ya que a medida que se eleva la concentración del aditivo disminuye la resistencia del concreto.



La resistividad eléctrica indica que el acero presento poco riesgo de corrosión en cada una de las muestras, destacando el hecho de que cuando se adicionó el 30% de sábila la velocidad de corrosión disminuyó, cumpliendo con uno de los objetivos de la investigación y asegurando que este aditivo de origen natural tiene propiedades químicas que lo hacen actuar favorablemente a la mezcla de concreto, permitiendo la menor velocidad de agentes como cloruros que atacan el acero.

En esta investigación el aditivo no convencional al concreto es sábila, un material con características y comportamiento que difieren mucho del que se usó en los bloques, el vidrio, por lo que los valores obtenidos por Babilonia y Urango no sirvieron como comparación de los que se esperaba obtener. Sin embargo, la metodología descrita para producir y analizar la masa de concreto que se estudió en esta investigación representó una guía para la aplicación de los ensayos para los bloques añadidos con el vidrio molido.

INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL RESIDUO DESMINERALIZADO DEL COROZO DE LA PALMA AFRICANA EN EL MORTERO Y EL HORMIGÓN (Morelo J., 2016).

En el municipio de María la Baja - Bolívar, se presenta una problemática medioambiental causada por el residuo del cuesco de palma africana, ya que al ser producido en grandes cantidades se tiene mala disposición del mismo, generando contaminación de fuentes hídricas, grandes focos de procreación de insectos, entre otros.

En esta investigación se estudió la viabilidad del uso de cenizas de cuesco de palma africana en porcentajes de 0,5 y 10 % en mezclas de concreto y mortero de acuerdo al comportamiento de las propiedades mecánicas de dichas mezclas, para esto se usó una metodología experimental a partir de ensayos de compresión, flexión, tracción indirecta, asentamiento, consistencia normal y tiempo de fraguado.

La información a analizar fue tomada de los datos arrojados en los distintos ensayos de laboratorio realizados, los cuales reflejaron las posibles variaciones que se presentaron en las mezclas durante y posterior a su tiempo de producción. El procedimiento experimental partió de la última parte del proceso de desmineralización que consiste en la pulverización del residuo proveniente de la producción de aceite de la industria Oleoflores S.A.S del Municipio de María la Baja, posteriormente fue dividido en dos partes: una que utilizó las



cenizas como adición a la mezcla en la elaboración del mortero y una segunda parte que utilizó las cenizas como adición a la mezcla para la elaboración del hormigón. La metodología varió de acuerdo a los ensayos realizados al mortero y al hormigón respectivamente.

Partiendo de los resultados obtenidos en los ensayos al mortero, se concluye que para una adición de 5% de ceniza en la pasta, no se presentan variaciones apreciables en cuanto a la consistencia normal y tiempo de fraguado, por otra parte, en el ensayo de compresión, los cubos ensayados con 5 % de adición presentan un aumento en la resistencia de 18 % en comparación con la muestra patrón. Para la adición de 10 % de ceniza en la pasta, en cuanto a la consistencia, no presenta variaciones apreciables con respecto a la muestra patrón, al contrario, el tiempo de fraguado disminuye de lo que se puede afirmar que la ceniza puede ser usada como reductor del tiempo de fraguado en morteros, puesto que, al ser un componente solido absorbente, la pasta tarda menos tiempo en fraguar y en obtener su estado óptimo.

En el caso del hormigón, la adición de las cenizas permitió obtener un concreto con un mayor nivel de asentamiento, ideal para cumplir especificaciones en la industria de la construcción, donde se requiera esta característica. En cuanto a la compresión, se afecta positivamente siempre y cuando se usen porcentajes aproximados al 10 % ya que con porcentajes menores a 10 % se ve afectada de forma negativa. De igual forma el uso de las cenizas no es factible si se desean concretos altamente resistentes a la flexión y tracción, puesto que el uso de esta afecta considerablemente dichas propiedades del concreto.

En el ensayo de compresión, los cubos ensayados con 10 % disminuyen la resistencia un 6% con respecto a la mezcla patrón y un 20 % con respecto a la mezcla con 5% de adición de ceniza, de lo que se puede afirmar que la ceniza aumenta la resistencia del mortero si es adicionada en bajas proporciones hasta un 5 %.

La investigación de Mórelo muestra los resultados de agregar residuo del corozo de la palma africana en el mortero y el hormigón, sirviendo como apoyo para la metodología que se usó al considerar el agregado de vidrio molido a los bloques, sin embargo, el agregado usado es muy distinto al que se utilizó para los bloques por lo que los resultados de los ensayos realizados no se usaron como referencia directa de los esperados a obtener debido a la diferencia de las propiedades de los materiales.



VARIACION EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UNA MATRIZ DE CONCRETO AL INCORPORAR CUESCO DE PALMA AFRICANA COMO AGREGADO GRUESO (Gomez G., Torne A., 2015).

Este trabajo consistió en la fabricación de varios especímenes con diferentes proporciones del material estudiado en reemplazo del agregado grueso y unos especímenes patrón fabricados con agregados convencionales, estos especímenes fueron ensayados a compresión, tracción indirecta y flexión a diferentes edades y se realizó un análisis comparativo.

La metodología de la investigación tuvo 3 fases: Recolección de información secundaria, recolección de información primaria y evaluación de resultados. La primera fase de recolección de información secundaria consistió en una revisión bibliográfica de la cual se obtuvo información referente a investigaciones afines realizadas previamente y a normas técnicas colombianas sobre especificaciones y métodos de prueba del concreto (NTC). La segunda fase de recolección de información primaria se basó en la caracterización de los agregados, fabricación de las muestras y ensayos a especímenes. Para caracterizar los agregados se hizo un análisis granulométrico de los agregados, en este caso arena lavada, canto rodado de 3/8 y cuesco de palma africana. Además, para el cuesco y para el agregado grueso se determinaron otras propiedades físicas como peso específico, absorción (NTC 47 176) y peso unitario (ASTM C 92).

En lo referente a la fabricación de muestras, se fabricaron especímenes con diferentes proporciones de cuesco de palma aceitera previamente lavado con detergente, también se fabricaron especímenes patrón sin dicho material y fabricados con agregados convencionales en moldes cilíndricos con dimensiones de 15 x 30 cm para los ensayos a compresión y tracción indirecta, y viguetas de 15x15x52 cm para los ensayos a flexión. Luego, de acuerdo al volumen de agregado grueso obtenido para la mezcla patrón, se elaboraron las mezclas para la fabricación de las muestras experimentales reemplazando el porcentaje correspondiente (20%, 60% y 100%) de agregado grueso por cuesco de palma africana. Se fabricaron dos especímenes por cada porcentaje y edad. El concreto para las muestras fue realizado con mezcla manual y con una relación agua/cemento de 0.38.



Por último, para los ensayos a especímenes, las muestras patrón y las muestras elaboradas con distintas proporciones del material estudiado (20%, 60% y 100%) se ensayaron a compresión, tracción indirecta y flexión, a edades de 7, 14 y 28 días. Los ensayos fueron realizados de acuerdo a lo establecido en las normas NTC 673 (resistencia a la compresión), NTC 722 (resistencia a la tensión indirecta) y ASTM C293 (resistencia a la flexión).

Los resultados obtenidos en los diferentes ensayos a compresión, flexión y tracción, fueron registrados en una gráfica de Resistencia (psi) vs Porcentaje de cuesco de reemplazado como sigue:



Grafica 1 Resistencia Vs porcentaje de agregado grueso reemplazado por cuesco Fuente:

Gómez Gervis, Torne Arleth 2015

Los resultados arrojados muestran que, para la relación 1:2:3 de concreto, agregado fino y agregado grueso, a la mezcla de concreto puede incorporarse un 20% de cuesco en reemplazo del agregado grueso y tener un comportamiento aceptable en todas sus propiedades mecánicas, ya que es la única con una resistencia a compresión superior a 1000 psi, que es la mínima resistencia aceptada para hormigones normales, sin embargo, el concreto obtenido no es ligero pues la densidad es superior a 2000 kg/m³. Se observa también que la resistencia a compresión registrada para la mezcla con 100% de cuesco es muy baja (914.31 Psi), lo cual se registró en algunas investigaciones previas; sin embargo, aunque no alcanza el valor mínimo establecido por la norma de 1000 psi, se acerca mucho a



este valor por lo cual es probable que pueda usarse en situaciones donde no se amerite mucha resistencia.

La mayor limitación de este trabajo radica en los materiales de estudio agregados a la mezcla de concreto. El cuesco se utilizó para reemplazar un porcentaje de agregado grueso, mientras que en esta investigación se reemplazó un porcentaje de agregado fino por vidrio. Aun así, el procedimiento de los ensayos y los métodos utilizados fueron de gran utilidad a la hora de evaluar las muestras reemplazadas con el nuevo material.

ELABORACIÓN DE BLOQUES EN CEMENTO REUTILIZANDO EL PLÁSTICO POLIETILEN-TEREFTALATO (PET) COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA CONSTRUCCIÓN (Caballero y Florez, 2016)

Este trabajo se elaboró con la finalidad de analizar el impacto ambiental y económico que generará, en el área de la construcción en la ciudad de Cartagena y el departamento de Bolívar, la elaboración de bloques de cemento reutilizando el plástico Polietileno - Tereftalato (PET) como alternativa sostenible. La investigación se desarrolló básicamente en cinco fases fundamentales: la primera, recopilación y análisis de información existente, en la segunda fase se llevó a cabo la identificación de las fuentes de materiales donde fueron adquiridos los materiales de fuentes actuales (fuente local de suministro de material). La tercera fase fue la elaboración de los bloques, la cuarta fase fue la realización de los ensayos físicos y mecánicos a los materiales y los bloques, en los que se incluyen ensayos de resistencia a la compresión, densidad, absorción, entre otros. Realizadas las anteriores cuatro fases se procedió a la quinta, el análisis de los datos.

En primer lugar, se hizo una revisión bibliográfica del comportamiento del material usado en el ámbito constructivo, investigaciones y trabajos cuyo objetivo esté relacionado o tenga similitud con el del presente documento, además de las normas y ensayos técnicos que se deban realizar para hacer una caracterización física y mecánica del elemento que se pretende construir.

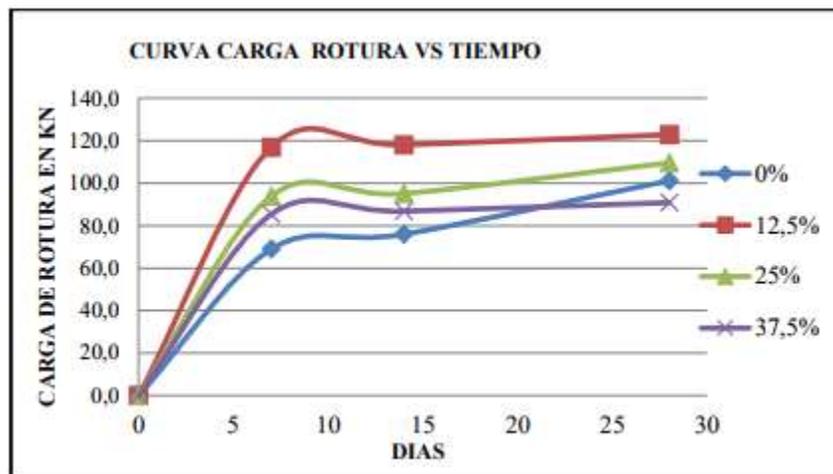
Para la elaboración de los bloques se utilizaron 3 materiales: cemento, arena y triturado de PET. El método de elaboración de los bloques, como primera instancia, es el sugerido en “Mampostería de bloques de concreto por CONCRETUDO”. Las medidas de fabricación



de los bloques serán las especificadas en el “Manual de construcción de mampostería de concreto” por el Instituto Colombiano de productores de cemento con las siguientes medidas: Bloque #6: 15 cm. x 20 cm. x 39,5 cm. El procedimiento de elaboración de los mampuestos es similar al de los bloques de mortero de cemento, reemplazando la arena por el plástico triturado en proporciones de 12,5%, 25% y del 37,5%.

Se elaboró un conjunto de 40 bloques, 10 para cada combinación del material base PET y a estos se le realizaron los siguientes ensayos: compresión, densidad, absorción, contenido de humedad y erosión.

Los ensayos de resistencia a compresión se realizaron mediante una maquina hidráulica con carga máxima de 6000 psi, en esta máquina se alineo el bloque con ayuda de platinas de acero para que recibiera la carga de forma uniforme, posterior a esto se le aplicó una fuerza hasta completar la ruptura de los bloques, esta prueba se realizó a los 7 días ya que permite que el bloque se comercialice a esa edad, luego a los 14 días y finalmente a los 28 días después de su elaboración. Estos datos se tabularon en la siguiente grafica de Carga de rotura (KN) vs días:



Grafica 2 Carga de rotura vs tiempo. Fuente: Caballero, Flórez. 2017

Los resultados demuestran que la alternativa es factible bajo los parámetros mencionados en el párrafo anterior, ya que los bloques con PET mostraron una reducción de peso por unidad de 2% para la sustitución de 37,5% de arena con respecto a los tradicionales. En lo



correspondiente al ensayo de compresión, se obtuvieron resistencias superiores para la sustitución de 12,5% y 25% de agregado (3,5 y 3,2 MPa respectivamente) contra la de 0% (2,83 MPa). Debido a estos valores en las resistencias, el porcentaje de absorción del agua cumple, al arrojar magnitudes bajas de 11,9% y 11,8% para las dosificaciones correspondientes.

Este trabajo sirvió como una base importante para el desarrollo de esta investigación, debido a que ambas tienen de finalidad el estudio de bloques adicionados con materiales no convencionales, una con PET y la otra con vidrio molido. Pese a que los datos obtenidos en los ensayos realizados por Caballero y Flórez no sirven de referencia, pueden ser tenidos en cuenta puesto que también se analiza el comportamiento de bloques. Las metodologías de fabricación y ensayos de compresión, humedad, densidad y absorción será la misma.



1.2. ESTADO DEL ARTE

A continuación, se hará una breve descripción de los estudios e investigaciones que se han adelantado en el campo de los diseños de mezcla de hormigón adicionados con materiales no convencionales para mejorar sus caracterizas y/o abaratar sus costos, además en lo referente a esta investigación se describirán estudios relacionados con la aplicación de vidrio en hormigón.

APLICACIÓN DE MATERIAL PLÁSTICO RECICLADO EN ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS A BASE DE CEMENTO (Gaggino, Arguello y Berretta, 2007).

El trabajo muestra los resultados de una investigación, en la cual se han desarrollado elementos constructivos elaborados con plásticos reciclados. Estos elementos son ladrillos, bloques y placas que se utilizan como cerramiento lateral no portante en viviendas económicas.

La materia prima principal para su elaboración, el plástico, proviene de envases descartables de bebidas (residuo postconsumo) y de envoltorios de alimentos (residuo de fábrica por defectos de espesor o entintado). El ligante que se utiliza es cemento Portland común. En el agua de mezclado se incorporan aditivos químicos que mejoran las propiedades técnicas.

Su procedimiento de elaboración es similar al de un hormigón común, reemplazando los áridos pétreos por los plásticos triturados.

La máquina que se utiliza para la postura de los mampuestos es una bloquera como la que se emplea para bloques de mortero de cemento, con un molde adaptado en el caso de la fabricación de ladrillos.

Luego de la postura, se dejan en reposo los mampuestos durante un día y se los moviliza hasta una pileta de curado con agua, en donde permanecen diez días. Después de este tiempo, se los retira y pueden ser almacenados en pilas a cubierto. A los 28 días de haber sido elaborados pueden ser llevados a obra para su uso en mamposterías de elevación, o en el caso de los ladrillos, para fabricar placas.



Después de fabricados los bloques se realizaron ensayos para determinar su peso específico, conductividad térmica, absorción de agua, permeabilidad, resistencia acústica, comportamiento a la intemperie, aptitud para el clavado y aserrado, adherencia de revoques y resistencia al fuego, obteniendo un peso específico de 425 kg/m^3 , $0,15 \text{ W/mk}$ de conductividad térmica, una resistencia a la compresión $1,02 \text{ Mpa}$, $15,96\%$ de absorción de agua y se determinó que tiene una buena resistencia al fuego de acuerdo al ensayo de Propagación de Llama. Los resultados obtenidos fueron destacables logrando así, la aceptación de esta tecnología como materiales para la construcción de viviendas de escasos recursos, siendo ya utilizados en varios proyectos.

En lo que respecta a esta investigación, este trabajo sirvió de apoyo, ya que el comportamiento de bloques adicionados con plástico fue satisfactorio sirviendo de parámetros de comparación los de ensayos que se refieren a la absorción, aptitud para el clavado, resistencia mecánica y peso específico.

STRENGTH AND DURABILITY OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE CONTAINING MILLED GLASS AS PARTIAL REPLACEMENT FOR CEMENT (Resistencia y durabilidad de hormigón con agregado reciclado de vidrio molido como reemplazo parcial para cemento) (Nassar & Soroushian, 2011).

Se usó residuo de vidrio molido como material cementoso secundario para la producción de agregado reciclado para concreto con atributos mejorados de resistencia y durabilidad. La investigación experimental del nuevo concepto de utilización de residuo de vidrio molido, como sustitución parcial de cemento, para superar los inconvenientes de reciclado y el concreto resultante, mostró que los residuos de vidrio, cuando se muele a micro-escala de partículas experimentan reacciones puzolánicas con hidratos de cemento, formando calcio secundario Hidrato de silicato (C-S-H). Estas reacciones provocan cambios favorables en la estructura de la pasta de cemento y las zonas de transición interfacial en el hormigón de agregado reciclado.

Se calcula que el uso de residuo de vidrio molido, como sustitución parcial del cemento, produce ganancias en resistencia y durabilidad del hormigón de agregado reciclado. Los resultados alentadores de los ensayos se consideran para facilitar el uso generalizado de agregado y el desvío de grandes cantidades de vidrio de residuos de colores mezclados de



vertederos aportan un valor agregado para producir hormigón de agregado reciclado que incorpora residuos de vidrio molido.

Esta investigación concluye que el efecto de agregar vidrio al concreto genera un aporte en los atributos de resistencia y durabilidad del conjunto resultante detallando las reacciones que se generan dentro del concreto debido a la adición, lo cual es de importante consideración para lo esperado en los bloques, sin embargo, para los ensayos de la investigación se usaron partículas con tamaños menores a los que se agregarán a la matriz del concreto para los bloques.

ANALISIS DE LA INFLUENCIA DEL VIDRIO MOLIDO SOBRE LA RESISTENCIA AL DESGASTE EN ADOQUINES DE HORMIGON TIPO A. (Poveda, Granja y Avila, 2015).

El proyecto se enfocó en el análisis del uso de vidrio molido como sustituto parcial a los agregados tradicionales empleados en la fabricación artesanal de adoquines, analizando las propiedades mecánicas de los adoquines para verificar el cumplimiento de los estándares nacionales e internacionales.

La fabricación de los adoquines fue realizada en la empresa LOMSA S.A., ubicada en Alangasí, Pichincha, entidad que facilitó los equipos y materiales para el desarrollo del proyecto. El vidrio usado reemplaza en forma parcial a los agregados tradicionales. Este proviene en su mayoría de vidrierías y botellas desechadas en viviendas. Este se procesa y homogeneiza, para así obtener dos granulometrías diferentes que permitan usarlo como agregado. Los materiales ajenos al vidrio se retiran de forma manual, a fin de evitar contaminantes que incidan en las etapas de fabricación.

El vidrio desechado se encuentra en diversos tamaños, por lo general superando los 50 mm, razón por la cual el vidrio debe ser triturado y/o molido. Se busca alcanzar una granulometría que cumpla los requisitos para ser empleada como agregado en el adoquín.

Para los ensayos de resistencia a la compresión se obtuvo que tanto con vidrio fino como grueso presentan la mayor resistencia al desgaste, frente a las probetas elaboradas con la mezcla base.

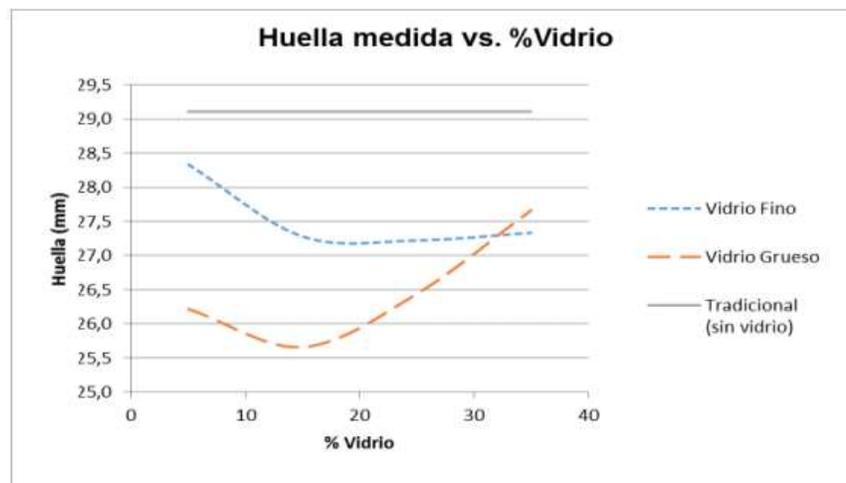


Identificación de probeta	T	F25%	G15%
Resistencia característica, fck	42 MPa	44 Mpa	43 Mpa
Resistencia promedio, fcm	44,6 Mpa	45,4 Mpa	45 Mpa
T: Adoquines elaborados con la mezcla base, sin adición de vidrio			
F25%: Adoquines elaborados con 25% en peso de vidrio de grano fino			
G15%: Adoquines elaborados con 15% en peso de vidrio de grano grueso			

Tabla 1 Resultados de la resistencia a la compresión promedio para las distintas dosificaciones. Fuente: Poveda., Granja, Hidalgo, Ávila.

La resistencia a la compresión para los adoquines elaborados con la mezcla tradicional es 5% superior al valor establecido, y para aquellos elaborados con vidrio de granulometría fina y gruesa, 10% y 7,5% superior, respectivamente. Al comparar la resistencia a la compresión entre los diferentes adoquines con vidrio, se establece que aquellos con vidrio fino son 2,3% superiores respecto a aquellos con vidrio grueso.

Los ensayos de resistencia al desgaste fueron realizados aplicando el ensayo de rueda abrasiva que rige la norma EN 1338



Grafica 3 Curvas de la huella medidas promedio. Fuente: Poveda, Granja, Hidalgo, Ávila.

En la figura se observa que la longitud de huella dejada en los adoquines con vidrio es menor a la dejada en aquellos adoquines elaborados sin adición de vidrio. Esto implica que la resistencia al desgaste mejora con la adición de vidrio, independientemente de su granulometría. Se observa también que la resistencia al desgaste para ambas granulometrías



mejora con la adición de vidrio, hasta llegar a un punto de inflexión luego del cual la resistencia al desgaste comienza a decaer. La inflexión de la curva se produce a un porcentaje menor cuando se emplea vidrio grueso (15% frente a 18% para vidrio fino). También se nota que el incremento de vidrio en la mezcla se torna perjudicial de manera más acentuada con el vidrio grueso que con el fino. Finalmente, se evidencia que el uso de vidrio con una granulometría gruesa presenta un efecto positivo en la resistencia al desgaste, mejor que el vidrio de grano fino hasta antes de constituir un 32% de los agregados totales de la mezcla.

En lo concerniente a la investigación de Poveda, Granja, Hidalgo y Ávila, los resultados obtenidos sirvieron como guía fundamental para el análisis de la influencia del vidrio molido en el comportamiento mecánico de los bloques, puesto que encontró que para los adoquines ensayados a compresión, se vio favorecida su resistencia luego de la adición del material, lo que llevó a esperar que para el ensayo en los bloques se presente un aumento de las propiedades mecánicas gracias a las características que pueda aportar el vidrio al conjunto. En cuanto al ensayo de desgaste para adoquines no fue posible aplicar el ensayo de rueda abrasiva a los bloques debido a que difiere el uso de los elementos puesto que los bloques no sufrirían abrasión por efecto del constante paso de vehículos el cual fue el fin del ensayo realizado por Poveda, Granja, Hidalgo y Ávila.

1.3. MARCO TEÓRICO

1.3.1. Cambio climático

El cambio climático es uno de los mayores desafíos de nuestro tiempo y supone una presión adicional para nuestras sociedades y el medio ambiente. Desde pautas meteorológicas cambiantes, que amenazan la producción de alimentos, hasta el aumento del nivel del mar, que incrementa el riesgo de inundaciones catastróficas, los efectos del cambio climático son de alcance mundial y de una escala sin precedentes. Si no se toman medidas drásticas desde hoy, será más difícil y costoso adaptarse a estos efectos en el futuro (Naciones Unidas, 2017).



Si no se toman medidas rápidas a partir de ahora, será más dificultoso y costoso adaptarse a estos efectos en el futuro. El sexto informe sobre cambio climático publicado por las naciones unidas en 2014, establece que la influencia humana en el sistema climático es clara, y las emisiones antropógenas recientes de gases de efecto invernadero son las más altas de la historia. Los cambios climáticos recientes han tenido impactos generalizados en los sistemas humanos y naturales. El calentamiento en el sistema climático es inequívoco, y desde la década de 1950 muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido y el nivel del mar se ha elevado (Naciones Unidas, 2017).

Colectivamente, los instrumentos económicos y de regulación, los países miembros de la ONU están iniciando acuerdos circunstanciales con la industria y las autoridades públicas. Otras de las medidas acogidas están relacionadas con la investigación y desarrollo, la información y educación. Se están poniendo en prácticas medidas específicas para la mayor parte de los vitales sectores económicos. Las políticas para los sectores de energía encierran la utilización de poco o ningún combustible de carbono, la liberación del mercado de la energía, y la eliminación de las subvenciones al carbón. Estas políticas están basadas en acuerdos voluntarios, implementación de normas de eficiencia, algunos incentivos financieros.

Se tiene una gran cantidad de alternativas que servirán definitivamente para mitigar las emisiones a través un manejo final efectivo de la energía en las edificaciones, los transportes y la industria manufacturera. No obstante, cada país deberá suscitar prontamente estas soluciones.

Es un proceso que se debe desarrollar en conjunto como sociedad pues afecta a todos por igual. Por esta razón, no se le debe delegar toda la responsabilidad al gobierno o a las entidades competentes. Se debe llevar a cabo todo un proyecto de concientización, con el fin de hacer llegar a todos los habitantes datos relevantes y razones del por qué deben aportar a mejorar este escenario. Es apremiante que este proceso llegue a todos para hacer pequeños cambios en nuestro estilo de vida, de modo que realizados en masa se generen grandes repercusiones. Es aquí donde la población en general debe ayudar usando



utensilios más eficientes y desarrollar nuevas tecnologías que permitan la reutilización de los materiales para disminuir la necesidad de explotar los recursos naturales.

1.3.2. Desarrollo sustentable

El desarrollo sustentable es un proceso integral que exige a los distintos actores de la sociedad compromisos y responsabilidades en la aplicación del modelo económico, político, ambiental y social, así como en los patrones de gasto que determinan la calidad de vida (Innovacion Educativa, 2008).

El desarrollo sustentable envuelve pasar de un desarrollo proyectado en términos cuantitativos cimentado en el incremento económico a uno de tipo cualitativo, donde se instauren ceñidos nexos entre aspectos económicos, sociales y ambientales, en un renovado marco institucional democrático y participativo, capacitado para aprovechar las oportunidades que presume prosperar paralelamente en estos tres ámbitos, sin que se vea afectado el avance de uno con respecto al otro.

Para que este desarrollo sea efectivo, debe integrar ciertos requerimientos, además de ser específico y autosuficiente, es decir, planificado ejecutado y administrado por los propios sujetos del desarrollo:

- **Sustentabilidad científica:** Se debe tener un apoyo constante y celoso de la ciencia tanto como en su aplicación como en el descubrimiento de nuevos conceptos, sin permitir que la primera se vea orientada exclusivamente por criterios de rentabilidad inmediata y cortoplacista. La sustentabilidad supone un cambio organizado en la manera de ver el desarrollo, en la medida en que establece límites al crecimiento productivo, a la utilización de recursos y a los impactos ambientales por encima de la capacidad ecosistema.
- **Sustentabilidad ecológica:** Es requerida para proteger la fuente de los recursos naturales con proyección futura y precaviendo, los recursos genéticos (sean humanos, forestales, pesqueros), agua y suelo.



- **Sustentabilidad social:** Debido a que los modelos de desarrollo sean equitativos, es decir, beneficien a todos por igual.
- **Sustentabilidad energética:** Investigando, diseñando y utilizando tecnologías que consuman igual o menos energía que la que producen, fundamentales en el caso del desarrollo rural y que, además, no agredan mediante su uso a los demás elementos del sistema.
- **Sustentabilidad económica:** Para que exista equilibrio en los procesos que manejan los recursos.
- **Sustentabilidad cultural:** Previendo la diversidad y características de las manifestaciones sociales en ámbitos locales, nacionales e internacionales, sin limitar la cultura a un nivel específico de actividades, sino incluyendo en ella la mayor variedad de actividades humanas.

La sustentabilidad según el informe Brundtland, realizado en 1987 por distintas naciones para la ONU (Organización de Naciones Unidas), es “la capacidad de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones” (Fernandez, 2012).

Es decir, el desarrollo sustentable está definido por tres pilares que se retroalimentan: el social, el económico y el ambiental; estos mismos deben estar en iguales condiciones, y para ello se debe tener en cuenta la incorporación de variables a la idea de desarrollo, dejando atrás los sistemas convencionales constructivos.

Según Haughton y Hunter, tres principios importantes ayudan a dar un marco conceptual para la sustentabilidad. El primero (Principio de futuro, de la equidad entre generaciones) considera que las actuales actividades no deben interferir con las necesidades y las aspiraciones futuras, el segundo (Principio de la justicia social o equidad intergeneracional) se concentra en las necesidades básicas de las generaciones actuales, y por último, el tercero (Principio de la responsabilidad trans-fronteras) implica la preocupación ambiental global amplia, cómo los impactos de la actividad humana en un área afectan y distorsionan otras, poniendo la responsabilidad primaria en los países poderosos (Evans, 2010).



1.3.3. Residuos sólidos

Los residuos sólidos de las ciudades son materiales provenientes de la actividad del hombre en su vida cotidiana, que no reúnen características infecciosas, radioactivas y/o corrosivas. Estos residuos se originan en los hogares, restaurantes, edificios administrativos, hoteles, industrias, etc. Y son restos de comidas, papel, cartón, botellas, embalajes de diversos tipos, entre otros (Bermudez, 2007).

Los residuos sólidos incluyen todos los materiales sólidos o semisólidos que ya no tienen ningún uso, lo que presupone un deseo de eliminarlo, de deshacerse de él, de desaparecerlo ya que el poseedor no le atribuye ningún valor para conservarlos, estos sugieren suciedad, falta de higiene, mal olor, desagrado a la vista, contaminación (Gonzalez, 2005).

1.3.4. Vidrio

El vidrio es una sustancia dura, frágil, transparente por lo común, de brillo especial, insoluble en casi todos los cuerpos conocidos y fusible a elevada temperatura. Está formada por la combinación de sílice con potasa o soda y pequeñas cantidades de otras bases, y se fabrica generalmente en hornos y crisoles.

El vidrio es un material que por sus características es fácilmente recuperable. Concretamente el vidrio es 100 % reciclable, es decir, que a partir de un envase utilizado, puede fabricarse uno nuevo o en su defecto productos que pueden tener las mismas características del primero. Esta facilidad de reutilización del vidrio abre un amplio abanico de posibilidades para que la sociedad y las administraciones afectadas puedan autogestionarse de una manera fácil para el beneficio de su medioambiente.

Es además un material obtenido por la fusión de compuestos inorgánicos a altas temperaturas, y el enfriamiento de la masa resultante hasta un estado rígido, no cristalino. El principal componente del vidrio es la sílice (SiO_2). La sílice, sola, sería un vidrio ideal para muchas aplicaciones, pero las altas temperaturas necesarias para su fusión y las dificultades para darle forma limitan su uso a algunas aplicaciones especiales. Para reducir



la temperatura de fusión de la sílice, es necesario utilizar un fundente, y para ello sirve el óxido de sodio (Na_2O).

Como el conjunto $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}$ es soluble en agua, se añade un tercer elemento, el óxido de calcio (CaO), que le confiere al vidrio la estabilidad química necesaria.

El vidrio como unos de los materiales que tienen muchas transformaciones, entre estas se encuentran:

1.3.4.1. Tipos de vidrio

- Vidrio duro: Este vidrio es de elevado punto fusión, contiene carbonato potásico y sirve para fabricar tubos y utensilios de laboratorio que han de resistir altas temperaturas.
- Fibra de vidrio: filamentos que son utilizados frecuentemente en láminas para la construcción de embarcaciones pequeñas.
- Vidrio Flint: vidrio especial con un elevado índice de refracción. Es muy utilizado en óptica y también se emplea con fines decorativos.
- Vidrio ligero: es utilizado generalmente en la fabricación de envases.
- Vidrio Pyrex: nombre comercial del vidrio con pequeño coeficiente de dilatación térmica, por lo que es muy resistente a las altas temperaturas
- Vidrio de Jena: de gran resistencia a los agentes químicos y de bajo coeficiente de dilatación, se utiliza en la fabricación de utensilios para laboratorio.
- Vidrio de seguridad: el que, en caso de rotura, se reduce a fragmentos pequeños no cortantes, Para su obtención, en vez de sufrir el tratamiento de recocido, se enfría bruscamente desde temperaturas próximas al reblandamiento, con lo que las superficies exteriores adquieren un estado de tensión.
- Vidrio Calizo: es el vidrio común. Está formado de manera dominante por sílice, así como por calcio y sodio. El vidrio calizo sirve para la fabricación de vasos, vajillas, mesas, ventanas y otros enseres. Actualmente su



elaboración ha mejorado considerablemente, ya que si se le agrega una mayor cantidad de sílice, experimenta una resistencia al choque térmico superior. Como ejemplo se pueden mencionar algunos productos de CRISA (tazas, vasos, etcétera), que resisten con facilidad líquidos calientes, fríos y soportan los impactos.

- Vidrio de borosilicato: es un tipo de vidrio que posee un coeficiente de expansión muy bajo y por tal razón resiste el choque térmico provocado por los cambios de temperatura. Actualmente, el vidrio de borosilicato se utiliza como material de laboratorio y en la fabricación de los utensilios de cocina llamados refractarios, los cuales son respaldados por las firmas Pirex, Visions y Corning.
- Vidrio de Uso Farmacéutico: El vidrio, por ser un material inerte es muy higiénico y no causa ninguna reacción química con sus contenidos, protegiéndoles de alguna contaminación u alteración.

1.3.4.2. Fabricación del vidrio

El vidrio surge de la fusión a alta temperatura de una mezcla de arena sílica, carbonato de calcio y carbonato de sodio dentro de un horno. El punto en el que la mezcla vítrea pasa de estado sólido a líquido viscoso, varía entre los 1300 y 1500 grados centígrados. Después, vuelve a tomar la consistencia sólida de forma gradual mediante un proceso de lento enfriamiento hasta alcanzar su aspecto característico de material sólido transparente.

1.3.4.3. Resistencia del vidrio al frío y al calor

Debido a variaciones en la fórmula y a la diferencia en el coeficiente de expansión (el coeficiente de expansión: medida que define el grado de expansión o contracción que un material sufre al exponerse al frío o al calor). A menor coeficiente de expansión mayor es la resistencia a un cambio brusco de temperatura.

El vidrio templado es un vidrio calizo que tiene una resistencia cinco veces mayor de lo normal, puesto que su proceso de enfriamiento es más largo y controlado, lo que hace que



al romperse no se fracture en pedazos cortantes, sino en cientos de pequeños trozos inofensivos.

El vidrio de seguridad, que puede o no ser templado, se fabrica principalmente para uso automotriz. Para esto es necesario colocar entre dos vidrios una hoja de polyvinyl butiral (PVB) o de resina plástica, que sirve para evitar en caso de un golpe, que los pedazos pequeños de vidrio se dispersen y por lo contrario se mantengan adheridos a la pantalla de plástico. Por último, se introduce en el horno de precocimiento. Casi todo el vidrio plano que se fabrica actualmente es mediante el proceso de flotado. Al vidrio flotado se le da forma moldeando una amplia lámina de vidrio líquido dentro de un horno que contiene un baño de estaño derretido.

1.3.4.4. Vidrio de desecho

Cualquier objeto de vidrio se puede quebrar convirtiéndolo en vidrio de desecho, pero no todos producen material libre de impurezas que puedan ser utilizadas para la fabricación de láminas de vidrio.

Tipos de vidrio de desecho adecuado para la producción:

- Pedazos rotos de una fábrica o taller de vidrio
- Pedazos rotos de una planta embotelladora, siempre y cuando estén sin las tapas, las etiquetas se queman en la caldera y no tienen importancia.
- Botellas y jarros de comidas usados sin sus tapas metálicas
- Loza de vidrio y utensilios del hogar, tales como jarrones.

Incluidos bajo supervisión:

- Vidrio de venta roto
- Sobrantes de los talleres de vidrio
- Farolas de carros

Los que nunca se deben incluir:

- Ventanas y parabrisas de automóviles o camiones.



- Vidrios de las luces traseras y direccionales de vehículos
- Bombillas eléctricas
- Objetos de vidrio de color fuerte
- Vidrio revestido de alambre.

Pureza y limpieza son de gran importancia. El hecho más conocido acerca del vidrio transparente es que cualquier impureza lo afectará. Los metales en el lote o en el vidrio de desecho pueden dañar la caldera en la cual se derrite el vidrio. Materiales orgánicos como madera o paja se quemarán, pero pueden dejar ceniza que decolorará el vidrio o despedirá burbujas de gas. Materiales orgánicos como piedras o ladrillo también dañan la pureza del vidrio. El vidrio de desecho se puede lavar con agua fácilmente; se puede lavar con manguera en un montón, o también se puede lavar en una planta especialmente fabricada para este fin.

En cuanto al proceso de recolección, el transporte, almacenamiento y ropa protectora, son asunto exclusivo del proveedor.

La fundición de las materias primas para la producción de vidrio requiere de un monitoreo y una supervisión constante.

1.3.4.5. Propiedades del vidrio.

PROPIEDAD	Valor	Unidad
Punto de Ablandamiento	730	°C
Densidad a 25 °C	2,49	g/cm ³
Dureza	6,5	Mohs
Módulo de elasticidad a 25 °C	719	Kbar
Módulo de Poisson a 25 °C	0,22	-
Módulo de Young	120.000	Kg/cm ²
Resistencia a la tracción a 25 °C (aprox)	900	Bar
Resistencia a la compresión (Para cubo 1 cm de lado)	10.000	Bar



Coefficiente de dilatación lineal a 25 °C	8,72x10-6	°C-1
Calor específico a 25 °C	0,2	cal/g/°C
Conductividad térmica a 25 °C	0,002	cal/cm.s.°C
Atacabilidad química DIN 12111	13,52	mL de HCL
Tensión superficial a 1200 °C	319	dinas/cm
Índice de refracción (a 589,3 mm)	1,52	-

Tabla 2 Propiedades del vidrio. Fuente. Ramírez, 2007

1.3.4.6. Etapas el aprovechamiento de los residuos

- Aprovechamiento: “Es la recuperación eficiente de diferentes materiales presentes en los desechos, la cual puede realizarse mediante la reutilización, reciclaje, la incineración con generación de energía y compostaje” (Minambiente, 1995).
- Producción: Se inicia con la producción de las basuras que en un país subdesarrollado como Colombia varían dependiendo del estrato socioeconómico en que se producen.
- Recolección: Es la etapa en donde intervienen las entidades encargadas de la prestación del servicio público de aseo, mediante un proceso en donde se organizan horarios y rutas para recoger los residuos de viviendas, fábricas y establecimientos comerciales.
- Recuperación: Una vez recolectados los residuos se procesó a una etapa de recuperación que se puede hacer mediante diferentes mecanismos. El mecanismo más útil y el cual es el tema central de este trabajo es el reciclaje, “sistema de consta de varias etapas: proceso de tecnología limpia y reconversión industrial, la separación, el acopio, el reusó, la comercialización y la transformación” (Jaramillo, 1995).
- Disposición: En esta etapa final se colocan los residuos que no han sido reutilizados, acabando así con su vida útil.



1.3.5. Reciclaje

El reciclaje es un proceso cuyo objetivo es convertir desechos en nuevos productos o en materia para su posterior utilización.

Gracias al reciclaje se previene el desuso de materiales potencialmente útiles, se reduce el consumo de nueva materia prima, además de reducir el uso de energía, la contaminación del aire (a través de la incineración) y del agua (a través de los vertederos), así como también disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con la producción de plásticos.

Los materiales reciclables son muchos, e incluyen todo el papel y cartón, el vidrio, los metales ferrosos y no ferrosos, algunos plásticos, telas y textiles, maderas y componentes electrónicos. En otros casos no es posible llevar a cabo un reciclaje debido a la dificultad técnica o alto coste del proceso, de modo que suele reutilizarse el material o los productos para producir otros materiales y se destinan a otras finalidades, como el aprovechamiento energético.

1.3.6. Bloques

El bloque (unidad de mampostería de perforación vertical), es un prisma recto de concreto, prefabricado, con una o más perforaciones verticales, que se usa para construir mamposterías (por lo general muros). Esto implica que sus 6 lados deben formar ángulos rectos con los demás, y que sus perforaciones deben tener, al menos, una cuarta parte (25%) de su área bruta (la que resulta de multiplicar la longitud x el ancho del bloque) (CONCRETODO).

1.3.6.1. Fabricación

La fabricación de bloques de concreto depende del tipo de equipo de producción y de los procesos de curado, almacenamiento y despacho. Los equipos deben ser los adecuados en tamaño, tecnología y costos para el medio que se va a suministrar o el proyecto que se va a construir. Adicionalmente se debe cuidar lo siguiente:



- Los agregados deben ser de buena calidad, limpios, y con la granulometría correcta según el espesor de las paredes y tabiques de los bloques y la resistencia y la textura esperadas.
- Los otros materiales también se deben escoger con cuidado como los cementos, aditivos, y pigmentos, lo mismo que la forma de mezclarlos y su relación entre costo y efectividad.
- La dosificación de los materiales y del agua se debe hacer según las características esperadas para el bloque.
- Los agregados se introducen en una mezcladora, en las cantidades calculadas (en peso), y en una secuencia correcta. Allí se le agrega el agua y el cemento, en las cantidades calculadas.
- Los aditivos se adicionan en forma líquida en la mezcladora o mezclados con agua, en ambos casos, reemplazando parte de ésta.
- Los pigmentos se adicionan en polvo, gránulos o suspensión, directamente a la mezcladora.
- Según el tipo de bloque que se vaya a producir varía el proceso de mezclado en secuencia y duración, hasta obtener el concreto deseado, homogéneo en composición y color.
- La mezcla pasa a una máquina vibrocompresora, que moldea las unidades con vibración y compresión, usando mol-des precisos. Las unidades salen de la máquina sobre placas de acero, que se llevan a una cámara de curado, don-de se colocan en estanterías y se les aplica humedad por micro aspersion de agua durante 24 horas.
- Las unidades, que salen secas de las cámaras, se acomodan sobre estibas conformando cubos, los cuales se forran con láminas de plástico “estirable” para poder manejarlas más eficientemente.
- Los cubos se almacenan en arrumes, y se continúa su curado hasta que las unidades alcancen la resistencia adecuada. Luego se empacan para su despacho.
(CONCRETODO, S.f.)



1.3.6.2. Propiedades

Las características que deben tener los bloques de concreto están definidas por la NTC 4026, cuando se va a construir mampostería estructural; y por la NTC 4076, cuando se va a construir mampostería no estructural (divisoria). Estas características son las mismas que se piden en la Norma Sismo Resistente NSR10, que rige el diseño y construcción de estructuras en Colombia. Los ensayos para definir estas características están presentados en la NTC 4024.

Densidad (peso) (D).

La densidad de un bloque depende del peso de los agregados, del proceso de fabricación y de la dosificación de la mezcla. La densidad debe ser la máxima que se pueda alcanzar, pues de ella dependen sus otras características como: resistencia a la compresión, absorción, permeabilidad, durabilidad y comportamiento al manejo durante su producción, transporte y manejo en obra; capacidad de aislamiento térmico y acústico, y textura y color de su superficie, etc.

CLASE	PESO LIVIANO	PESO MEDIANO	PESO NORMAL
Densidad, kg/m ³	1680 o menos	1680 hasta menos de 2000	2000 o mas

Tabla 3 Densidad de los bloques de concreto. Fuente: NTC 4026.

Resistencia a la compresión (Rc28).

La resistencia a la compresión es la principal propiedad que deben tener los bloques, y en base a esta se determinara si se pueden usar para mampostería estructural (portante) o divisoria (no portante o no estructural).

En los bloques para mampostería estructural se tienen dos clases de resistencias: alta y normal. La resistencia alta se usa para todo tipo de construcciones, incluyendo edificios de mampostería estructural. La baja se usa fundamentalmente para construcciones de uno y dos pisos. El uso de una u otra depende de las necesidades estructurales, sin importar la exposición a la intemperie o el recubrimiento que vaya a tener el muro.



La resistencia a la compresión está especificada para ser alcanzada a los 28 días de producidos los bloques; pero se pueden pegar en el muro a edades menores cuando se tenga un registro sobre la evolución de la resistencia de bloques de iguales características, y éste indique que alcanzarán dicha resistencia, lo que no exime de la verificación directa de la calidad de los bloques.

Se pueden especificar resistencias a la compresión mayores que la máxima, cuando lo requiera el diseño estructural; pero se debe consultar antes a los productores locales, sobre la posibilidad de fabricarlos.

La resistencia a la compresión se determina mediante el ensayo descrito en la NTC 4024. (CONCRETADO).

RESISTENCIA A LA COMPRESION a los 28 d (Rc28)* evaluada sobre el área neta promedio (Anp)			ABSORCION DE AGUA (Aa), según el peso (densidad) del concreto secado en horno, kg/m ³		
*mínimo, Mpa			promedio de 3 unidades, máximo, %		
CLASE	Promedio de 3 unidades	Individual	Peso liviano, menos de 1 680 kg/m ³	Peso mediano, de 1680 kg/m ³ hasta menos de 2000 kg/m ³	Peso normal, 2000 kg/m ³ o mas
Alta	13	11	15%	12%	9%
Baja	8	7	18%	15%	12%

Tabla 4 Valor mínimo de la resistencia a la compresión de bloques de concreto. Fuente: NTC 4026.

Dimensiones

Si las dimensiones (medidas) de los bloques son variables, se altera el espesor de los muros y del mortero de pega, y se modifican sus características estructurales y constructivas (apariencia final del muro, niveles de enrase, alineación de juntas, acabados adicionales,



etc.). Para evitar esto, el sistema de bloques de concreto es rigurosamente modular y, por su proceso de fabricación, las medidas son muy precisas y constantes; pero deben estar dentro de ciertos límites.

Las dimensiones de los bloques están definidas como: espesor, altura y longitud y se expresan de tres maneras: las dimensiones reales son las que se toman directamente sobre la unidad en el momento de evaluar su calidad; las dimensiones estándar son las designadas por el fabricante en su catálogo (dimensiones de producción), y las dimensiones nominales son las dimensiones estándar más el espesor de una junta de pega, o sea 1 cm. Por ejemplo, un bloque de dimensiones nominales (espesor, altura, longitud) 20 x 20 x 40, tiene unas dimensiones estándar de 19 x 19 x 39, pero sus dimensiones reales podrán ser 19,1 x 18,9 x 39,2, todas las medidas dadas en centímetros (CONCRETODO).

Absorción (Aa%).

La absorción es la propiedad del concreto del bloque para absorber agua hasta saturarse. Está relacionada con su permeabilidad o sea la posibilidad de que haya paso de agua a través de sus paredes. Los límites de la absorción varían con el tipo de concreto del bloque.

Es importante tener la menor absorción posible en el bloque, pues mientras mayor sea, más agua succionará del mortero de pega y de inyección, y se puede reducir la hidratación del cemento en la superficie que los une, perdiendo adherencia y originando fisuras. Por el contrario, bloques totalmente impermeables evitan el intercambio de humedad y la creación de una superficie de adherencia, resultado en uniones de baja resistencia, con fisuras permeables al agua.

Una absorción baja reduce la entrada de agua y de contaminantes en el bloque, mejorando su durabilidad. Como la absorción es inversamente proporcional a resistencia a la compresión, por lo general es mayor para las unidades de menor resistencia (CONCRETODO).



RESISTENCIA A LA COMPRESION a los 28 d (Rc28)* evaluada sobre el área neta promedia (Anp)			ABSORCION DE AGUA (Aa), según el peso (densidad) del concreto secado en horno, kg/m ³		
*mínimo, Mpa			promedio de 3 unidades, máximo, %		
CLASE	Promedio de 3 unidades	Individual	Peso liviano, menos de 1 680 kg/m ³	Peso mediano, de 1680 kg/m ³ hasta menos de 2000 kg/m ³	Peso normal, 2000 kg/m ³ o mas
Alta	13	11	15%	12%	9%
Baja	8	7	18%	15%	12%

Tabla 5 Absorción de agua (Aa%), según el peso (Densidad) del bloque Fuente: NTC 4026.

Contenido de humedad (H).

El contenido de humedad no es una propiedad del concreto del bloque sino un nivel de presencia de humedad dentro de su masa, intermedia entre saturación y estado seco al horno. Se determina mediante el ensayo correspondiente descrito en la NTC 4024. Mientras menos humedad tengan los bloques en el momento de pegarlos en el muro, y permanezca así, menos riesgo habrá de que aparezcan fisuras en los muros (CONCRETODO).

La humedad es la cantidad de agua presente en los poros saturables del bloque. Esta es una propiedad muy importante en obra debido a que de ella depende en gran parte la posibilidad de producirse fisuración en los muros. Según la norma NTC 4026, los valores permisibles de humedad del bloque a utilizar en obra van a depender de las condiciones de humedad de la obra o del sitio de uso de las unidades y de la contracción lineal por secado (Cl_s %). Para un enfoque académico la contracción lineal por secado no es relevante pues esta tiene una aplicación, más que todo, constructiva y el valor que se obtenga de este ensayo el cual esta



descrito en la ASTM C 426 no condiciona el estado de los bloques. Para esta investigación el valor de humedad se estableció con el fin de cumplir con los rangos que se tabulan en la norma la cual esta expresada como un porcentaje de la absorción máxima, cuyos valores aparecen compilados en la siguiente tabla:

Contenido de humedad (H), promedio de 3 unidades, máximo, como un % del valor total de la absorción de agua (Aa)			
Contracción lineal por secado (Cl_s)%	Condiciones de humedad de la obra o del sitio de uso de las unidades		
	Húmeda	Intermedia	Seca
De menos de 0,03	45	40	35
De 0,03 hasta menos de 0,045	40	35	30
De 0,045 hasta 0,065 (como máximo)	35	30	25

Tabla 6 Requisitos para el contenido de humedad en las unidades de mampostería fuente: NTC 4026

Aislamiento térmico

El aislamiento térmico de los muros de bloque de concreto es mayor mientras menos densos sean los bloques. Además, sus perforaciones verticales funcionan como cámaras aislantes, pues el aire es menos conductor térmico que el concreto.

Resistencia al fuego

La resistencia al fuego de un muro de bloques de concreto está relacionada con el diseño y dimensiones de éstos, el tipo de agregados usados, la relación cemento/agregados, el método de curado y la resistencia del concreto. Esta resistencia se da en función del espesor equivalente (eq) es decir, el espesor de material sólido existente en la trayectoria de calor y es el número de horas necesario para que se eleve la temperatura hasta el nivel máximo aceptado en el ensayo de resistencia al fuego. El espesor equivalente se puede estimar con



los valores de la Tabla 4, que aumentan si se inyectan las celdas. Los muros de bloques de concreto, aun cuando no tenga rellenas todas las celdas, ofrecen una resistencia al fuego aceptable, debiéndose proceder a una inyección completa para una protección elevada.

Valores de espesor equivalente (eq) expresados como horas de resistencia al fuego.					
RESISTENCIA AL FUEGO, horas	1	2	3	4	5
Espesor equivalente (eq), mm	80	100	130	170	
Espesor nominal de la unidad inyectada, mm			150	200	250

Tabla 7 Valores de espesor equivalente (eq) Fuente: Concretodo. Volumen 3

1.3.7. Materia prima

1.3.7.1. Cemento

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua (Diccionario de la lengua española, 2005).

Mezclado con agregados pétreos y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétreo, denominada hormigón o concreto. Su uso está muy generalizado en construcción. Cuenta con propiedades adhesivas y cohesivas las cuales dan la capacidad de aglutinar otros materiales para formar un todo, sólido y compacto (Rivera, 2013).

Su uso se remonta a la antigüedad, desde la época de los egipcios, griegos y romanos, ellos iniciaron por mezclar arena, agua y piedra triturada, por lo que se puede decir que este fue el primer concreto de la historia.

Se obtiene a partir de la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos, así como de otros que contengan sílice, aluminio y óxidos de fierro. Es un mineral finamente molido, usualmente de color grisáceo extraído de rocas calizas, que al triturarse hasta convertirse en polvo y ser mezclado con agua, tiene la propiedad de endurecer.



Su fabricación consiste en la trituración fina, mezclada en ciertas proporciones y calcinada en un horno rotatorio de gran dimensión, a una temperatura de 1400 °C, donde el material se sintetiza y se funde parcialmente formando bolas conocidas como Clinker, que cuando se enfría el material, se tritura hasta obtener un polvo fino al que se le añade un poco de yeso para obtenerse, como producto final, el cemento Portland (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, s.f.).

Cemento Portland.

El cemento Portland debe su nombre a la semejanza, en color y calidad, con la piedra de Portland, una caliza obtenida de una cantera en Dorset, Inglaterra. Este cemento empezó a ser desarrollado por Joseph Aspin, en 1824, (Gallo, Espino y Olvera, 2003).

El cemento portland es un ligante hidráulico inorgánico, polifásico artificial, que se obtiene a partir de un producto intermedio denominado Clinker, el cual se produce mediante la cocción a , aproximadamente, 1480 °C, generalmente en hornos rotatorios, de una mezcla en proporciones preestablecidas de carbonato de calcio (caliza) y de un aluminosilicatos (arcillas o margas) u otros materiales de una composición global similar y con la reactividad suficiente, previamente molidos y homogeneizados. Durante el proceso de cocción se produce una fusión parcial y una recombinación de los componentes de las materias primas dando lugar a nódulos de Clinker de 5-50 mm. De diámetro, que esencialmente consisten en silicatos de calcio hidráulicos. Posteriormente el Clinker mezclado con un 5 % de yeso (sulfato de calcio dihidrato) se somete a un proceso de molienda del cual resulta el cemento portland (Universidad de Oviedo, 2015).

La clasificación general para diferentes tipos de cemento de acuerdo con su propósito específico es la siguiente:

TIPO	CARACTERISTICA
1	Todo propósito
2	Resistencia a los sulfatos
3	Resistencia rápida
4	Bajo calor de hidratación



5 Resistencia a la acción de sulfatos pesados

Tabla 8 Clasificación según la característica del cemento. Fuente: Gallo, Espino y Olivera, 2003

Por otro lado, la industria de la construcción no se puede concebir sin el cemento. Su utilidad en ella lo hace irremplazable para muchos trabajos, tales como:

- Lechadas
- Morteros para tabiques
- Block
- Cimentaciones de muros
- Revestimientos

1.3.7.2. Arena

La arena o agregado fino, se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas. El agregado fino o arena se usa como llenante, además actúa como lubricante sobre los que ruedan los agregados gruesos dándole manejabilidad al concreto.

Una falta de arena se refleja en la aspereza de la mezcla y un exceso de arena demanda mayor cantidad de agua para producir un asentamiento determinado, ya que entre más arena tenga la mezcla se vuelve más cohesiva y al requerir mayor cantidad de agua se necesita mayor cantidad de cemento para conservar una determinada relación agua cemento.

Un buen agregado fino al igual que el agregado grueso debe ser bien gradado para que puedan llenar todos los espacios y producir mezclas más compactas. La cantidad de agregado fino que pasa los tamices 50 y 100 afecta la manejabilidad, la facilidad para lograr buenos acabados, la textura superficial y la exudación del concreto.

Las especificaciones permiten que el porcentaje que pasa por el tamiz No 50 este entre 10% y 30%; se recomienda el límite inferior cuando la colocación es fácil o cuando los acabados se hacen mecánicamente, como en los pavimentos, sin embargo, en los pisos de concreto acabado a mano, o cuando se desea una textura superficial tersa, deberá usarse un agregado fino que pase cuando menos el 15% el tamiz 50 y 3% el tamiz 100.



El módulo de finura del agregado fino utilizado en la elaboración de mezclas de concreto, deberá estar entre 2,3 y 3,1 para evitar segregación del agregado grueso cuando la arena es muy fina; cuando la arena es muy gruesa se obtienen mezclas ásperas (Bernal Arias, 2009).

1.3.7.3. Agua

El agua es el componente del concreto que entra en contacto con el cemento generando el proceso de hidratación, que desencadena una serie de reacciones que terminan entregando al material sus propiedades físicas y mecánicas, su buen uso se convierte en el parámetro principal de evaluación para establecer el eficiente desempeño del concreto en la aplicación.

El agua es el componente del concreto que entra en contacto con el cemento para proporcionar propiedades de fraguado y endurecimiento a fin de formar un sólido compacto con los agregados. Se clasifica como:

Agua de mezclado

Cantidad de agua que requiere el concreto por unidad de volumen para que se hidraten las partículas del cemento y para proporcionar las condiciones de manejabilidad adecuada que permitan la aplicación y el acabado del mismo en el lugar de la colocación en el estado fresco.

Agua de curado

Es la cantidad de agua adicional que requiere el concreto una vez endurecido a fin de que alcance los niveles de resistencia para los cuales fue diseñado. Este proceso adicional es muy importante en vista de que, una vez colocado, el concreto pierde agua por diversas situaciones como: altas temperaturas por estar expuesto al sol o por el calor reinante en los



alrededores, alta absorción donde se encuentra colocado el concreto, fuertes vientos que incrementan la velocidad de evaporación. Aunque en la actualidad existen productos que minimizan la pérdida superficial del agua, en el caso de que no sean utilizados se requiere adicionársela periódicamente a los elementos construidos para que alcancen el desempeño deseado.

El agua en el concreto es fundamental porque al relacionarla con la cantidad de cemento contenido en la mezcla (relación agua/cemento), es la que determina la resistencia del mismo y en condiciones normales su durabilidad. Concretos con altos contenidos de agua (relaciones agua/cemento por encima de 0,5) pueden proporcionar resistencias bajas y ser susceptibles de ser atacados fácilmente por los agentes externos. Por el contrario, relaciones agua/cemento bajas (menores de 0,45) contribuyen de forma significativa a la resistencia de los elementos, tanto a la compresión y mejor desempeño de la estructura, como al ataque de agentes que se encuentran en el medio ambiente, y en consecuencia a la durabilidad (Osorio, 2010).

Por ello, es fundamental el control de adición de agua a la mezcla durante su preparación o colocación ya que al alterar la condición inicial de esta (aumentar la relación agua/cemento) para conseguir mayor facilidad en la acomodación y el acabado, puede afectar de forma apreciable el desempeño del mismo consiguiéndose menores resistencias a la compresión o desgastes prematuros de los elementos construidos.

Si se requiere utilizar el agua de mar esta debe ser empleada en concretos que no requieran refuerzo metálico, si no, es conveniente tomar acciones encaminadas a evitar que sus sales afecten el buen desempeño de las varillas. De acuerdo con todo lo anterior, en la medida en que se establezcan controles para el uso y manejo del agua apropiados, obteniendo concretos con los desempeños deseados y evitando inconvenientes posteriores en las obras que generalmente se traducen en sobrecostos de las mismas (Osorio, 2010).

1.3.8. Análisis económico basado en el precio unitario (apu)

El análisis de precio unitario es el costo de una actividad por unidad de medida escogida. Usualmente se compone de una valoración de los materiales, la mano de obra, equipos y



herramientas. La aplicación de análisis de precios unitarios sirve como una guía en la elaboración de presupuestos de obra, la misma se transforma en la lista de precios de la compañía y establece una línea base de trabajo.

El precio unitario se integra por el costo directo, el costo indirecto, el costo por financiamiento, el cargo por la utilidad y los cargos adicionales (Escarrega, 2012):

Costo Directo: El costo directo por mano de obra es el que se deriva de las erogaciones que hace el contratista por el pago de salarios reales al personal que interviene en la ejecución del concepto de trabajo de que se trate, incluyendo al primer mando, entendiéndose como tal hasta la categoría de cabo o jefe de cuadrilla de trabajadores. No se considerarán dentro de este costo las percepciones del personal técnico, administrativo, de control, supervisión y vigilancia que corresponden a los costos indirectos.

Costo Indirecto: Corresponde a los gastos generales necesarios para la ejecución de los trabajos no incluidos en los costos directos que realiza el contratista, tanto en sus oficinas centrales como en el sitio de los trabajos y comprende entre otros: los gastos de administración, organización, dirección técnica, vigilancia, supervisión, construcción de instalaciones generales necesarias para realizar conceptos de trabajo, el transporte de maquinaria o equipo de construcción, imprevistos y, en su caso, prestaciones laborales y sociales correspondientes al personal directivo y administrativo.

Costo por Financiamiento: El costo por financiamiento debe estar representado por un porcentaje de los costos directos e indirectos y corresponde a los gastos derivados por la inversión de recursos propios o contratados que realice el contratista para dar cumplimiento al programa de ejecución de los trabajos calendarizados y valorizados por periodos.

Utilidad: El cargo por utilidad es la ganancia que recibe el contratista por la ejecución del concepto de trabajo, es fijado por el propio contratista y está representado por un porcentaje sobre la suma de los costos directos, indirectos y de financiamiento.

Cargos Adicionales: Aquellos gastos que se adicionan al final a un precio unitario.

La elaboración de los precios unitarios, es la etapa dentro del proceso constructivo, que se inicia con la investigación o estudio de factibilidad de realizar una obra, y que termina con la construcción, operación y mantenimiento de la misma (Rayon, 2007).



ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LA FABRICACION DE BLOQUES DE MORTERO ESTRUCTURAL ADICIONADOS CON VIDRIO MOLIDO COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA CONSTRUCCIÓN



NOMBRE DEL ITEM
Unidad M2

MATERIALES	UNID	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Subtotal Materiales \$-				

HERRAMIENTAS	UNID	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Subtotal Herramientas \$-				

MANO DE OBRA	UNID	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
Subtotal MO \$				

Tabla 9 Modelo de APU Fuente: Autores

Se elige hacer el análisis comparativo de los precios unitarios para los bloques de mortero con reemplazo de un porcentaje en volumen de vidrio y un bloque convencional de mortero debido a que este tipo de modelo permitirá evidenciar el efecto del vidrio en el precio final de un m³ de bloque pudiendo así determinar la factibilidad económica de bloques de mortero adicionados con vidrio molido como alternativa sostenible para la construcción.



2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar, a través de ensayos de compresión, densidad, absorción y humedad, la factibilidad técnica y económica del uso de vidrio molido como reemplazo parcial del agregado fino en la fabricación de bloques estructurales # 6, con el fin de promover su uso como alternativa sustentable en el sector de la construcción.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el vidrio, el cemento y los agregados a utilizar en la fabricación de los bloques.
- Establecer las distintas proporciones de los materiales para la fabricación de los bloques a estudiar.
- Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los bloques fabricados para cada proporción de vidrio molido en mezcla de mortero.
- Definir la proporción óptima de vidrio molido en reemplazo de una porción de agregado fino en la mezcla de mortero para la fabricación de bloques.
- Realizar un análisis comparativo de precios entre los APUs de los bloques con la proporción óptima y los convencionales.



3. ALCANCE

El proyecto investigativo se llevó a cabo bajo las condiciones ambientales de la ciudad de Cartagena de Indias D. T. y C., Colombia, ubicada al nivel del mar con un clima tropical húmedo, una temperatura promedio de 29 °C y una humedad relativa de 89% aproximadamente. El proyecto se llevó a cabo durante el primer periodo académico del año 2018 entre los meses febrero y mayo con precipitaciones promedio de 12 mm de lluvia al mes.

El bloque finalizado fue un bloque #6 estructural al cual se le varió el porcentaje en volumen de vidrio en reemplazo de una parte de agregado fino, obteniendo así 10 muestras por cada dosificación de vidrio y 10 para los bloques de control (sin añadido de vidrio) obteniendo así un total de 40 bloques para la realización de los ensayos correspondientes. La elaboración de los bloques se realizó en la empresa PREFABRICADOS Y EQUIPOS DEL CARIBE ubicada en el barrio Villa Estrella Calle 32 N°91-65 y los ensayos a los bloques se realizaron en el laboratorio de geotecnia y materiales de la universidad de Cartagena sede Piedra de Bolívar.

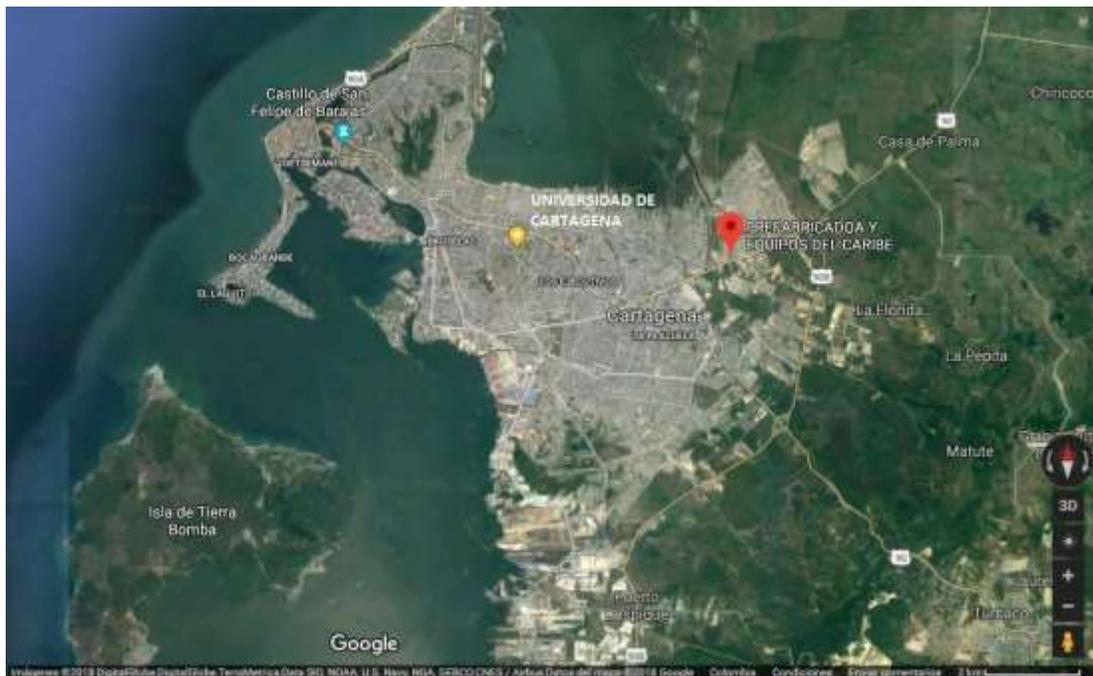


Ilustración 1 Cartagena De Indias *Fuente:* Google maps.



Se realizó la caracterización previa de la materia prima para la fabricación de los bloques. Al cemento se le realizaron dos ensayos; uno para medir su consistencia normal y otra para determinar el tiempo de fraguado. Los métodos de ensayo fueron los descritos en las normas INV E-310 (Método para determinar la consistencia normal en cemento hidráulico) y NTC 118 (Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante aguja de Vicat). En lo correspondiente a la arena, los ensayos a los que se sometió fueron los de determinación de humedad, índice de gradación y cantidad de materia orgánica, descritos en las normas NTC 1776, NTC 77 e ICONTEC 127 respectivamente además de su densidad. Para el vidrio molido se determinó su densidad midiendo la cantidad de masa por unidad de volumen e índice de gradación siguiendo el proceso descrito en la norma NTC 77. Los bloques se sometieron a los ensayos de resistencia a la compresión, densidad, absorción y humedad, estos resultados variaron según el porcentaje de vidrio molido que se usó en la elaboración del bloque.

Los datos de absorción y humedad dependen de la densidad, pues de esta forma se clasifica el bloque.

CLASE	PESO LIVIANO	PESO MEDIANO	PESO NORMAL
Densidad, kg/m ³	1680 o menos	1680 hasta menos de 2000	2000 o mas

Tabla 10 Clasificación del bloque según su peso Fuente: NTC 4026.

En los bloques para mampostería estructural se tienen dos clases de resistencias: alta y baja. La resistencia alta se usa para todo tipo de construcciones, incluyendo edificios de mampostería estructural. La baja se usa fundamentalmente para construcciones de uno y dos pisos. De acuerdo a esta clasificación los bloques a estudiar fueron de clase alta.

La absorción esperada depende de la clase del bloque a desarrollar, para un bloque de clase alta se espera una absorción de 15%.

PESO	LIVIANO, Menos DE 1680	MEDIANO, De 1680 hasta menos de 2000	NORMAL, 2000 o mas
CLASE Alta	15	12	9
CLASE Baja	18	15	12

Tabla 11 Absorción máxima de los bloques según clase. Fuente:NTC 4026.



Una vez realizados los ensayos, se organizó un informe donde se congregó toda la información obtenida. Luego se presentó el análisis comparativo de los valores obtenidos mediante los ensayos descritos realizados a los bloques con las respectivas proporciones, para de este modo determinar cuál es la proporción optima de vidrio molido en la matriz de mortero de modo que cumplan con la normatividad.

Como limitación para la elaboración de los bloques con una parte de agregado de vidrio molido no se añadió a la matriz de mortero ninguna clase de aditivo que ayude a mejorar la adherencia del vidrio con el mortero. Por otra parte, no se realizaron pruebas de resistencia al fuego ni de transmisibilidad térmica debido a la dificultad y los riesgos que el desarrollo de estos ensayos representa para los investigadores y, además, por motivos de falta de implementos y equipos no se tomaron en cuenta los valores de deformación que se presentaron al ensayar los bloques.

Este proyecto sienta las bases para futuras investigaciones que busquen enriquecer, profundizar y mejorar las características de la mampostería estructural, buscando alternativas con otros materiales que puedan aportar mejores propiedades a estos. Además, podrán complementar este estudio realizando ensayos de resistencia al fuego y de abrasión los cuales no serán realizados en este. En cuanto al vidrio, esta investigación permitirá comenzar a estudiar la utilización de este en otras configuraciones junto con el cemento, como pañetes, mortero de pega e incluso en concreto estructural.



4. METODOLOGÍA

El carácter de esta investigación es mixto, debido a que consta de un aspecto descriptivo y otro experimental, donde mediante ensayos se obtuvieron las características físicas y mecánicas de los bloques que se realizaron con las diferentes proporciones de vidrio molido, luego se hizo un análisis de los resultados obtenidos comparando los parámetros especificados para mampostería estructural descritos en la NSR-10 y las normas técnicas colombianas NTC. Posteriormente, se hizo una comparación entre los análisis de precios unitarios de un bloque con la proporción óptima vidrio molido que se espera encontrar, contra el APU de un bloque convencional y así determinar la viabilidad económica de la implementación en el mercado de los bloques a realizar de acuerdo con el precio y sus características mecánicas y físicas.



Ilustración 2. Esquema de la metodología a seguir Fuente: autores.



4.1. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

Los documentos que se tuvieron como referencia para la recopilación de la información fueron los correspondientes a las investigaciones relacionadas con el uso de vidrio en mortero y hormigón, así como las correspondientes a la inclusión de cualquier otro material en la matriz de mortero que tuviese como fundamento la fabricación de bloques. Por otro lado, otros documentos de análisis fueron los concernientes a la normatividad vigente en Colombia que se tuviesen que tener en cuenta para la realización de los ensayos a los materiales con los cuales se construyeron los bloques, la realización de los mismos y su posterior ensayo. Dentro de esta normatividad se encuentran la Norma sismo resistente 2010 (NSR-10), las Normas Técnicas Colombianas (NTC) del ICONTEC y las normas INVIAS (INV) las cuales contemplan procedimientos y parámetros para los resultados obtenidos.

Se hizo una revisión bibliográfica del comportamiento del hormigón y el mortero al ser adicionados con distintos materiales que pudiesen mejorar algunas características de estos, recopilando metodologías, proporciones y análisis de resultados para la ejecución de esta investigación, con el fin de determinar la metodología más apropiada, en concordancia con las normas y ensayos técnicos necesarios para evaluar las características físicas y mecánicas de los materiales y de los bloques añadidos con las distintas proporciones de vidrio molido.

4.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE MATERIALES

La elaboración de los bloques hace necesaria la obtención de 3 materiales: Cemento, arena y vidrio molido. La obtención del vidrio molido se hizo mediante la molienda en la máquina de los Ángeles del material previamente obtenido de un centro de reciclaje en el barrio Henequén, donde se hacen los procesos de selección, lavado y secado del vidrio. El cemento utilizado fue Argos estructural y la arena fue obtenida de la cantera Ingecost S.A.



Ilustración 3 Maquina de los ángeles Fuente: autores

4.3. DETERMINACION DE LAS PROPORCIONES DE ESTUDIO Y ELABORACIÓN DE LOS BLOQUES

Para la elaboración de los bloques fue necesaria establecer una dosificación de manera tal que se cumpliera con la norma NTC 4026 y con los porcentajes propuestos (0%, 10%, 20% y 40%). Cabe resaltar que el análisis de resultados de los distintos grupos de bloques con reemplazos en volumen de arena por vidrio se hizo tomando como referencia los resultados obtenidos en los bloques patrón, aquellos con reemplazo de 0% de vidrio. De acuerdo con el trabajo de grado “Elaboración de bloques en cemento reutilizando el plástico polietilentereftalato (PET) como alternativa sostenible para la construcción” de Caballero y Flórez, se tomó la dosificación utilizada para el bloque patrón: una relación cemento y arena de 1:4 con cantidades de 364 kg de cemento, 1.16 m³ de arena y 220 litros de agua para un metro



de mortero de 8 Mpa. Teniendo especial cuidado con la etapa de curado durante los 7 días posteriores a la elaboración de los bloques. Esta dosificación fue propuesta a la empresa que realizo los bloques, quienes dieron aval al uso la misma por el cuerpo de ingenieros a cargo de la producción de los bloques.



Ilustración 4 Máquina de fabricación de bloques vibrados *Fuente:* Autores



Ilustración 5 Máquina mezcladora de materiales *Fuente:* Autores

Debido al postulado inicial basado en la revisión y análisis de la bibliografía existente de trabajar con cuatro dosificaciones de vidrio correspondientes a un reemplazo en volumen de arena por vidrio (0%, 10%, 20% y 40%), se hizo necesario la confección de un sistema de



dosificación basado en los métodos volumétricos de medición usados en la empresa con la que se trabajó en colaboración para la realización de los bloques. La unidad de medida básica que se tomo fue “un balde”, es decir, que teniendo como referencia una relación 1:4 en volumen para un metro cubico de mortero se requerirían un balde de cemento por cada cuatro baldes de arena, esto para la dosificación con 0% de reemplazo. Basados en la dosificación utilizada se determinó que para la producción de 12 bloques se requerían 103,14 kg de arena, los cuales se repartieron en 10 baldes de igual tamaño y peso, por consiguiente, el reemplazo de vidrio por arena se realizó restando baldes de arena a la dosificación y reemplazándolos por baldes de vidrio molido cuya medida en volumen fuese igual a la de los baldes patrones de arena de 10,314 kg cada uno.

Valores expresados en numero de baldes.				
DOSIFICACIÓN	0%	10%	20%	40%
Cemento	2.5	2.5	2.5	2.5
Arena	10	9	8	6
Vidrio	0	1	2	4

Tabla 12 Numero de baldes requeridos para cada dosificación de vidrio. Fuente: Autores

Cabe resaltar, y es de entero conocimiento, que esta metodología no resulta ser la más exacta como pudiese ser la dosificación por pesos de cada material requerido, sin embargo esta dosificación conlleva mayores inconvenientes como una balanza dispuesta en el sitio de la fabricación de los mampuestos, además de que la mano de obra no está familiarizado ni capacitado para llevar a cabo este tipo de mediciones precisas, por ello se hizo necesaria la implementación de esta metodología que permitiera un mayor control de las cantidades de material a agregar a cada mezcla y la facilidad de comunicársela al personal que realizo los bloques.

Una vez terminados los bloques, la norma NSR-10 en su inciso D.3.7.2.6 reglamenta que el proceso de curado debe darse por 7 días a una temperatura de $21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a una humedad relativa que exceda el 90% y posteriormente con las mismas condiciones, pero con una humedad relativa que puede estar entre el 30% y 50% hasta su ensayo de compresión a los 28 días.



Curado de los bloques

El curado es de vital importancia, durante los primeros días después de la elaboración del bloque, para que se puedan desarrollar en él las propiedades de resistencia y durabilidad, este proceso se hace con el fin de mantener una temperatura y un contenido de humedad adecuados.



Ilustración 6 Zona de curado Fuente: Autores

Los bloques resultados fueron almacenados sobre tablonces de madera en una habitación cubierta con el propósito de que no recibieran luz solar que pudiese afectar la temperatura y humedad de estos, y cuidando que no quedaran apilados donde permanecieron para llevar a cabo el proceso de curado.

El curado de los bloques fue realizado 4 veces al día teniendo especial cuidado durante las horas de 10:00 am a 2:00 pm las cuales son las que presentan mayores temperaturas en la ciudad, este procedimiento fue realizado esparciendo abundante agua sobre los bloques a través de mangueras con aspersores en el extremo de manera que no se viera afectada la integridad del bloque al momento de recibir el impacto del agua con la superficie de este.

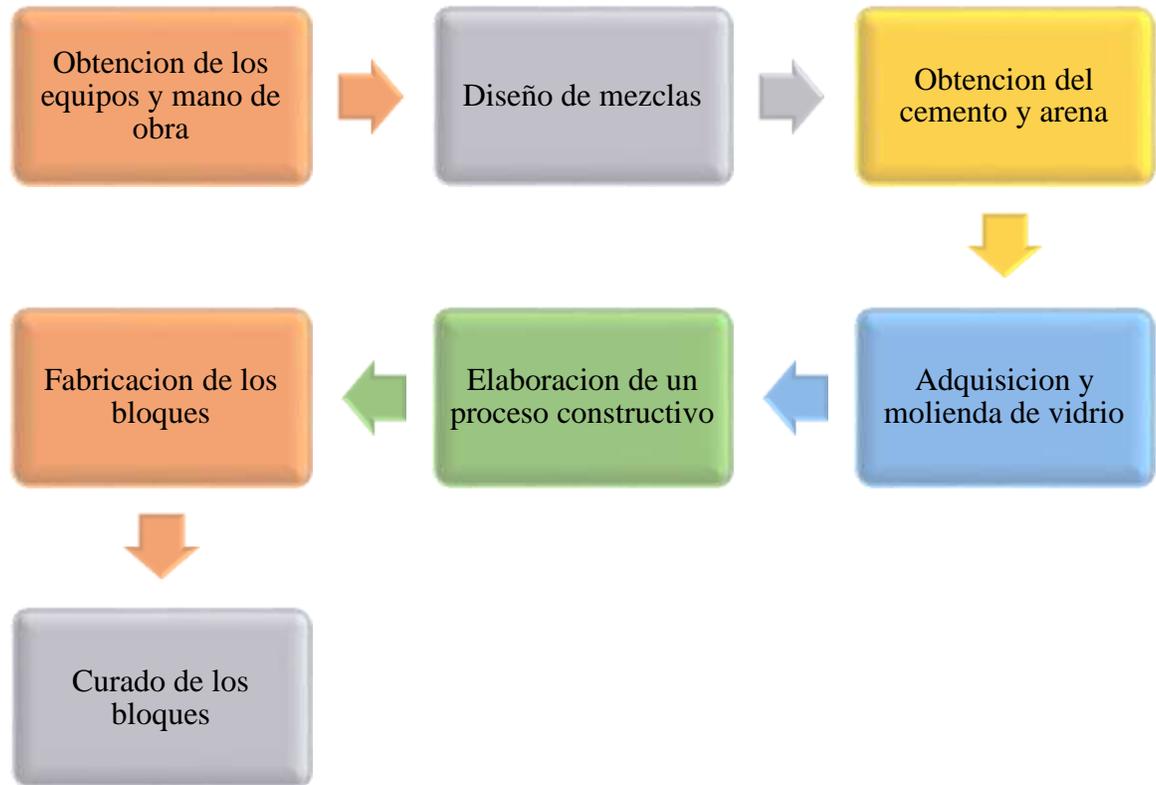


Ilustración 7 Esquema de la metodología a seguir para la realización de los bloques.

Fuente: Autores

4.4. REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS FÍSICO MECÁNICOS

Para esta fase se llevaron a cabo los ensayos físicos y mecánicos propuestos tanto en la norma NSR-10 como en las Normas Técnicas Colombianas NTC del ICONTEC. Esto con el propósito de tener sus propiedades y poder hacer una comparación entre los resultados obtenidos y los aceptados en dichos documentos. Los bloques de mortero se ensayaron bajo la norma colombiana NTC 4024 y NTC 4026.



Se realizó la caracterización previa de la materia prima para la fabricación de los bloques. Al cemento se le realizaron dos ensayos; uno para medir su consistencia normal y otra para determinar el tiempo de fraguado. Los métodos de ensayo fueron los descritos en las normas INV E-310 (Método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico) y NTC 118 (Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante aguja de Vicat). En lo correspondiente a la arena, los ensayos a los que se sometió fueron los de determinación de humedad, índice de gradación y cantidad de materia orgánica, descritos en las normas NTC 1776, NTC 77 e ICONTEC 127 respectivamente además de su densidad. Para el vidrio molido se determinó su densidad midiendo la cantidad de masa por unidad de volumen e índice de gradación siguiendo el proceso descrito en la norma NTC 77. Los bloques se sometieron a los ensayos de resistencia a la compresión, densidad, absorción, y humedad descritos en la norma NTC 4024.

Estos ensayos fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Cartagena, los cuales se encuentran dotados de los implementos necesarios para su elaboración, y se realizaron en el primer semestre del año 2018, empezando el día 15 de febrero del 2018 y finalizando el 2 de mayo del 2018

4.4.1. Ensayos a los materiales.

Estos ensayos se realizaron con la finalidad de determinar las características físicas y mecánicas de los materiales y a su vez corroborar la calidad de estos a fin de obtener resultados confiables y que no se vea comprometida la calidad de los bloques a ensayar los cuales son el objetivo de esta investigación.

4.4.1.1. Cemento.

NTC 118: Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante aguja de Vicat

Esta norma establece el método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat. Existen dos métodos de ensayo; El Método “A”, que es el de referencia, utiliza el aparato de Vicat Manual y el Método “B”



que permite la utilización de aparato Vicat automático, que cumpla con la calificación de desempeño establecida en este método. Se utilizó el método “A”, con el aparato de Vicat manual el cual se encuentra en el laboratorio de geotecnia y materiales de la Universidad de Cartagena. Se anotan los registros de todas las penetraciones de la aguja de 1mm de diámetro cada 15 minutos y por interpolación se determina el tiempo obtenido para una penetración correspondiente a 25 mm, el cual indica el tiempo de fraguado inicial. El tiempo de fraguado final se toma cuando la aguja no deja marca visible sobre el espécimen.

INV E-310: Método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico

Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat o determinar la cantidad de agua requerida para preparar pastas de cemento hidráulico, de consistencia normal, para su posterior ensayo. Se anotan los registros de todas las penetraciones de la aguja de 10mm de diámetro cada 15 minutos y por interpolación se determina el tiempo obtenido para una penetración correspondiente a 10 mm, el cual indica la cantidad de agua necesaria para obtener una pasta de consistencia normal.

4.4.1.2. Arena

NTC 1776: Humedad

Se determinó el contenido total de humedad en porcentaje basados en el procedimiento descrito en la NTC 1776, el cual consiste en determinar el peso de una cantidad establecida de arena, pesarla en una balanza y luego colocar al horno para luego obtener su peso seco, en base a la relación de los dos pesos se calcula el porcentaje que representa la humedad. para esto se aplica la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso Humedo} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \times 100$$

NTC 77: Índice de gradación

Para el índice de gradación se hizo el ensayo de finura usando tamices con los tamaños establecidos en la norma NTC 77: 3/8, #4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200, haciendo pasar



la muestra de arena y registrando los pesos retenidos en cada uno para luego graficarlos y determinar la curva granulométrica.

ICONTEC 127: Cantidad de materia orgánica

El principal valor de esta norma es el advertir la presencia de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas. La determinación del contenido de materia orgánica se hizo siguiendo el procedimiento descrito en la norma ICONTEC 127 que se realiza colocando una muestra de arena en un recipiente cilíndrico al que se le añade una solución de hidróxido de sodio al 3%, se agita y se deja en reposo por 24 horas, pasado este tiempo se compara el color que ha tomado la solución con el de una muestra patrón: Si es más claro, el agregado fino no presenta cantidades perjudiciales de materia orgánica.

Densidad

Se determinó la densidad de la arena, tomando una cantidad considerable y pesándola en un recipiente aforado, obteniendo así la masa y volumen de la muestra escogida, lo que permitió calcular la densidad del material en Kg/m^3 .

4.4.1.3. Vidrio molido

Para el vidrio molido se determinó su densidad e índice de gradación siguiendo el mismo procedimiento que con la arena.

4.4.2. Ensayos a los bloques

Se elaboró un conjunto de bloques para cada grupo de proporciones de vidrio molido y a estos se le realizaron los siguientes ensayos:

4.4.2.1. Resistencia a la compresión

Este ensayo se hizo cumpliendo la metodología descrita en la norma NTC 4024, la cual se describe a continuación:



Máquina de ensayo

La máquina de ensayo debe tener una precisión de $\pm 1,0\%$ del rango de carga anticipado. El bloque superior de transferencia de carga, de metal endurecido, debe estar apoyado sobre una esfera y debe estar firmemente unido a la cabeza superior de la máquina. El centro de la esfera debe coincidir con el centro de la superficie que se apoya sobre su asiento esférico, pero debe tener libertad de girar en cualquier dirección, y su perímetro debe tener una holgura de, al menos, 6,3 mm contra la cabeza de la maquina con el fin de poder acomodar especímenes cuyas superficies de apoyo no sean paralelas. El diámetro del bloque superior debe ser de, al menos, 150 mm. Se puede utilizar una platina (lamina delgada) de acero, debajo del espécimen para minimizar el desgaste del bloque inferior de la máquina.

Cuando el área de soporte de los bloques superior e inferior no son suficiente para abarcar el área del espécimen se debe colocar una placa de acero suplementario, entre los bloques de la máquina de ensayo y el espécimen refrentado con un espesor de al menos la mitad de la distancia del borde del bloque correspondiente a la esquina más distante del espécimen. La longitud y el ancho de la placa de acero debe ser de al menos 6mm mayor que la longitud y espesor de las unidades.

La máquina que se utilizo fue una Emerson Modelo C63BXJKS-5427 de 1 HP, la cual cumple con todos los requerimientos descritos por la norma, por ende, los datos obtenidos de los ensayos que se realizaron en ella son fehacientes.

Procedimiento

Los especímenes al momento de su ensayo se alinearon verticalmente los centroides de sus superficies de soporte, con el centro de aplicación de carga del bloque. Cabe resaltar que por ser unidades de mampostería con perforaciones verticales se ensayaron en la misma dirección para la cual actuaría la carga de trabajo en estos.

Luego de realizado el montaje se procedió a aplicar una carga vertical, que se registraba en KN, y aumentándola constantemente hasta que el bloque llegara hasta su estado límite de resistencia a la compresión. Al final este dato se registró, se realizaba el desmonte de la



unidad ensayada y se limpiaba la máquina, y se preparaba el siguiente montaje, así hasta terminar con la totalidad de los especímenes a ensayar. Para la comparación de los resultados entre ensayos se compararon los valores obtenidos con los establecidos en la tabla 4: *Valor mínimo de la resistencia a la compresión de bloques de concreto*

4.4.2.2. Densidad

El valor de la densidad en Kg/m^3 se determinó mediante el ensayo correspondiente descrito en la NTC 4024, el cual consiste en la obtención del peso del bloque secado al horno utilizando una báscula digital y luego dividir este valor entre su volumen neto el cual es equivalente al volumen bruto menos las perforaciones verticales. Permite determinar si el bloque es pesado, liviano o normal y con esto el índice de esfuerzo en su fabricación. Para la comparación de los resultados entre ensayos se compararon los valores obtenidos con los establecidos en la tabla 3: *Densidad de los bloques de concreto*.

4.4.2.3. Absorción

Para determinar esta propiedad se tuvo en cuenta la NTC 4024, que brinda un método de ensayo para obtener la absorción de agua en porcentaje (%). Para la realización de este ensayo se contó con una balanza electrónica para la toma de los pesos, un horno de secado ventilado y regulado entre $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 115 ° y una piscina dispuesta con agua para sumergir los bloques. Inicialmente, se secan todos los bloques en un horno de secado, por lo menos 24 h y hasta que dos pesadas sucesivas a intervalos de dos horas indiquen una pérdida de peso no mayor del 0.2 % del peso inmediato anterior del espécimen. Se registra la masa de los bloques secos al horno como el peso secado al horno. Posterior a esto se sumergieron los bloques en agua a una temperatura de $16\text{ a }27\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 24 horas, una vez cumplido este tiempo se removió el agua los bloques, y se dejaron drenar por 60 ± 5 segundos, sobre una malla de $\frac{3}{8}$ " (9.5 mm) o mayor, y con un paño se secó el agua superficial visible y se determinan las masas en Kg, y se registra como peso saturado.

Para la determinación de la absorción de cada tipo de bloque, se utilizó la siguiente expresión:



$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Peso Saturado} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \times 100$$

La comparación de los resultados entre ensayos se hace mediante el cotejo de los valores obtenidos con los establecidos en la tabla 5: *Absorción de agua (Aa%)*, según el peso (Densidad) del bloque.

4.4.2.4. Humedad

Se determina mediante el ensayo correspondiente descrito en la NTC 4024, y la INV E-122-07. El nivel de presencia de humedad en porcentaje dentro de la masa del bloque, intermedia entre saturación y estado seco al horno. Para ello se escoge una muestra de ensayo representativa, luego se determina el peso del bloque usando una balanza apropiada, posteriormente se coloca el espécimen húmedo en el horno para secar el material hasta obtener una masa constante. El horno secador se mantiene a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$ C, a no ser que se especifique otra cosa. El tiempo requerido para obtener una masa constante puede variar dependiendo del tipo de material, tamaño del espécimen, tipo de horno y su capacidad, y otros factores. La influencia de estos factores puede establecerse generalmente usando buen juicio y con la experiencia adquirida con los materiales que están siendo probados y el equipo que se use. Para esta investigación, apoyándose en la bibliografía existente, se determinó que los bloques debían permanecer en el horno por un periodo de 24 horas, para asegurar la total inexistencia de agua en los poros saturables del bloque. Después de que el material se haya secado a masa constante Se permite que el material se enfríe a la temperatura ambiente Se determina la masa de la muestra secada en el horno usando la misma balanza que se usó para obtener su masa húmeda.

Una vez finalizado el ensayo se determinó el contenido de humedad del bloque según la siguiente expresión:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso Humedo} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \times 100$$



Para la corroborar los resultados obtenidos se compararon estos valores con los consignados en la tabla 6 teniendo en cuenta que en esta aparecen los valores de humedad como un porcentaje del valor total de la absorción, es decir:

$$\%Humedad\ requerido = \frac{Peso\ humedo - Peso\ seco}{Peso\ saturado - Peso\ seco} \times 100$$

4.5. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez obtenidos los datos de la fase anterior, se procedió a efectuar el análisis de los mismos; se utilizaron herramientas como Excel y Word para facilitar el desarrollo de todo el proyecto. Con base en las tabulaciones hechas en los programas mencionados se compararon los resultados obtenidos de resistencia a la compresión, a la absorción, densidad y humedad con los resultados de un bloque convencional usado para la construcción.

4.6. ANALISIS ECONOMICO

El análisis económico se llevó a cabo a través de la comparación directa de los APUs para la fabricación de los bloques con cada dosificación de vidrio molido agregado contra el APUs de un bloque convencional. En otras palabras, cuánto cuesta la fabricación de un bloque para cada dosificación, contra el precio de uno convencional. Estos precios incluyen: Materiales, mano de obra, transporte y herramientas. Esto con el fin de determinar si el reemplazo de un porcentaje de arena por vidrio resulta más viable económicamente

4.7. PREPARACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL INFORME FINAL

Luego de haber cumplido cada una de las fases anteriores, desarrollados los objetivos propuestos y al llegar a una conclusión sobre la solución del interrogante planteado para el



**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LA FABRICACION DE BLOQUES DE MORTERO
ESTRUCTURAL ADICIONADOS CON VIDRIO MOLIDO COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE
PARA LA CONSTRUCCIÓN**



desarrollo de esta investigación, se procedió a preparar el informe final, donde se exponen todos los resultados obtenidos al final de este proceso investigativo, las recomendaciones pertinentes y todos los detalles importantes que conciernen al mismo.



5. RESULTADOS Y DISCUSION

Después de realizar los ensayos de laboratorio oportunos para el progreso de la investigación se obtuvieron los resultados que se establecen a continuación, tales resultados se establecieron según el material que fue estudiado.

5.1. ENSAYOS A LOS MATERIALES

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los ensayos realizados a los materiales para la fabricación de los bloques los cuales fueron suministrados por la empresa colaboradora PREFABRICADOS Y EQUIPOS DEL CARIBE SAS. Estos ensayos se realizaron con la finalidad de determinar las características físicas y mecánicas de los materiales y a su vez corroborar la calidad de estos a fin de obtener resultados confiables y que no se vea comprometida la calidad de los bloques a ensayar los cuales son el objetivo de esta investigación.

5.1.1. Ensayos al Cemento

Consistencia normal

El procedimiento utilizado para hallar la consistencia normal de la muestra de cemento es el establecido por la norma INV-E-310. Para ello se tomaron muestras de 500g de cemento y se les agrego distintos porcentajes de agua: 23% y 33%, consiguiendo pastas con diferentes consistencias. Finalmente se calibró el aparato, se descendió la aguja hacia la pasta, se esperaron 30 segundos y se toman las lecturas.



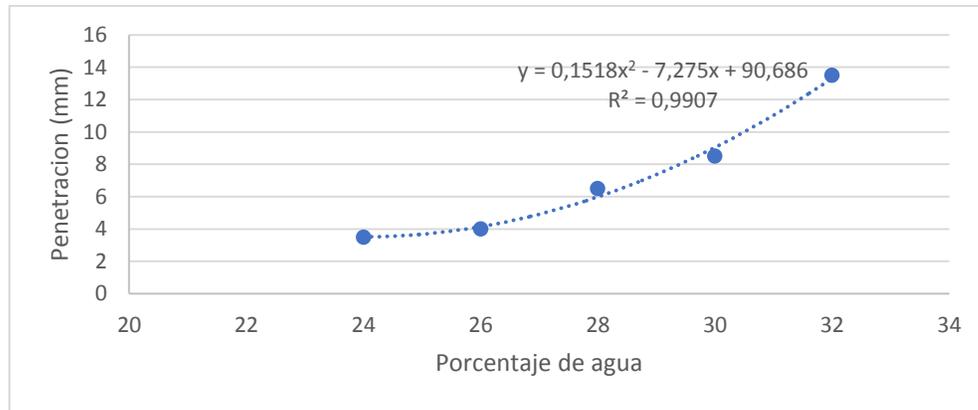
Ilustración 8 Montaje del ensayo de Consistencia normal Fuente: Autores

En la siguiente tabla se presentan los datos de penetración:

Masa (g)	Vol. de agua (mL)	% de agua	Penetración (mm)
500	120	24	3,5
	130	26	4
	140	28	6,5
	150	30	8,5
	160	32	13,5

Tabla 13. Valores de penetración Fuente: Autores

Para obtener el porcentaje de agua para una penetración de 10mm se hace de la siguiente gráfica:



Grafica 4 Penetración Vs Porcentaje de agua Fuente: Autores

Resolviendo la ecuación de la línea polinómica de segundo grado para una penetración de 10mm se obtiene el valor de porcentaje de agua para obtener una pasta de cemento de consistencia normal. Para este ensayo dio un valor de 30,5% de agua.

Tiempo de fraguado

El procedimiento utilizado para hallar el tiempo de fraguado inicial y final para una muestra de cemento sigue los parámetros de la norma técnica colombiana NTC-118. Consiste en preparar tres muestras de consistencia normal de cemento y agua las cuales se introducen en una cámara humedad para evitar la pérdida de humedad, se esperan 30min, se calibra el aparato de Vicat y con la aguja de 1mm de diámetro se toman medidas de penetración cada 15min hasta que la penetración sea menor a 25mm o menos, esto para determinar la fragua inicial. Para el fraguado final se toman medidas hasta que no se aprecie una marca de penetración en la pasta de cemento.



Ilustración 9 Montaje del ensayo de Tiempo de fraguado Fuente: Autores

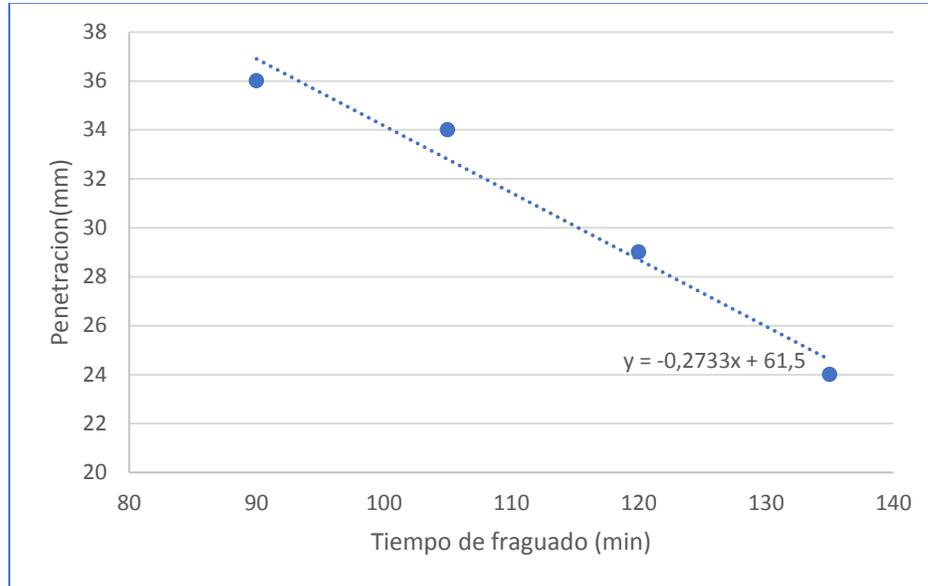
El ensayo se realizó para dos muestras de pasta de consistencia normal. Después de la realización del procedimiento se obtiene los siguientes datos:

SONDEO	TIEMPO (Min)	PENETRACION (mm)	
		Muestra 1	Muestra 2
1	90	36	31
2	105	34	26
3	120	29	24
4	135	24	21
5	150	19	19
6	165	4	1
7	180	2	0,5
8	195	0,1	0,3
9	210	0,1	0,1
10	225	0	0

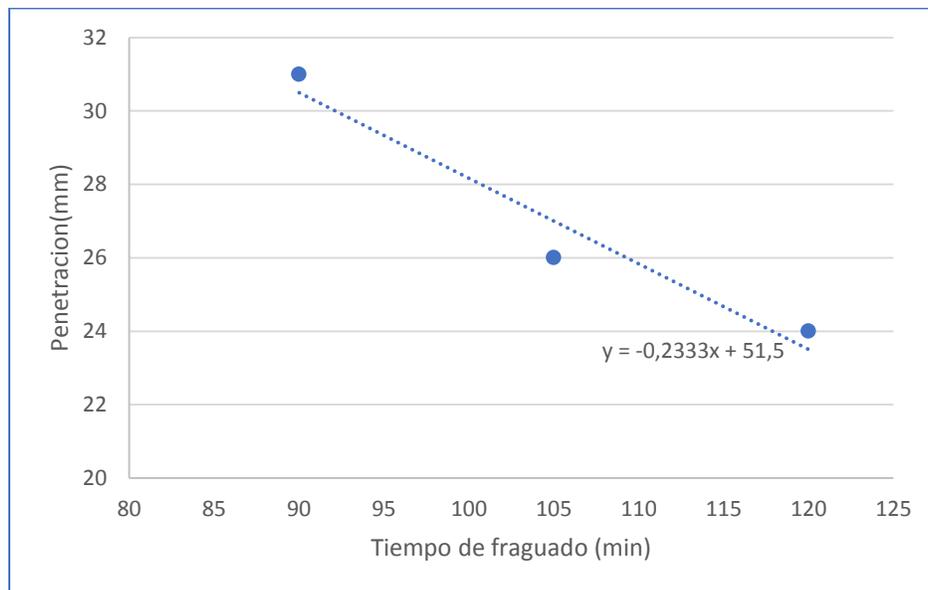
Tabla 14. Resultado del ensayo de tiempo de fraguado Fuente: Autores



Para determinar el tiempo de fraguado inicial se grafican los valores obtenidos y se obtiene la ecuación del comportamiento de fraguado de la pasta y se obtiene el valor para una penetración de 25mm.



Gráfica 5 Muestra 1: Penetración Vs tiempo de fraguado Fuente: Autores



Gráfica 6 Muestra 2: Penetración Vs tiempo de fraguado Fuente: Autores

Resolviendo la ecuación de la línea de tendencia de datos, para una penetración de 25 mm en la pasta de cemento corresponde un tiempo de fraguado inicial de 133.6 minutos para la



muestra 1 y de 113.6 minutos para la muestra 2. Según los valores arrojados por el ensayo el fraguado final de la muestra de cemento se da a los 225 minutos para ambas muestras.

Para la comprobación de los datos, estos deben estar en el rango de 49 a 202 min para tiempo inicial de fraguado, y para el tiempo final de fraguado en el rango de 185 a 312 min. Por lo tanto, los resultados de dos pruebas conducidas correctamente por el mismo operador para el tiempo inicial de fraguado sobre pasta similar no deben diferir el uno del otro en más de 34 min, y para tiempo final de fraguado sobre pasta similar no deben diferir el uno del otro en más de 56 min según la INV E-305-07.

Los tiempos de fraguados inicial y final varían la una de la otro 20 minutos y 0 minutos respectivamente lo que indica, bajo lo establecido en la INV E-305-07, que el ensayo se realizó correctamente. Al encontrarse los valores para tiempo de fraguado inicial y final dentro de los rangos tolerables se puede concluir que el tiempo de fraguado para la muestra ensayada es aceptada por la norma de referencia.

5.1.2. Ensayos a la arena

Para caracterizar la arena usada en la elaboración de los bloques ensayados dentro de la investigación se realizaron los ensayos correspondientes a contenidos de materia orgánica, humedad, densidad y granulometría, esto con el fin de evaluar la calidad de esta.

Granulometría

El análisis granulométrico de la arena se hace siguiendo el procedimiento descrito en la NTC-77 para evaluar el agregado fino. El procedimiento en hacer pasar un mínimo de 300 gramos de material a través de una serie de tamices de la siguiente forma: 3/8, #4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200 en ese orden.

Los resultados se registraron en la siguiente tabla donde se tabularon los pesos retenidos en cada tamiz y con estos valores se obtuvieron las columnas de porcentaje retenido, porcentaje retenido acumulado y porcentaje que pasa.



Ilustración 10 Serie de tamices granulométrica Fuente: Autores

Tamiz	Peso retenido (g)	% retenido	% Retenido acumulado	% pasa
3/8	0	0,00%	0,00%	100,00%
4	20	1,51%	1,51%	98,49%
8	252	19,03%	20,54%	79,46%
16	306	23,11%	43,66%	56,34%
30	254	19,18%	62,84%	37,16%
50	260	19,64%	82,48%	17,52%
100	198	14,95%	97,43%	2,57%
200	18	1,36%	98,79%	1,21%
Fondo	16	1,21%	100,00%	

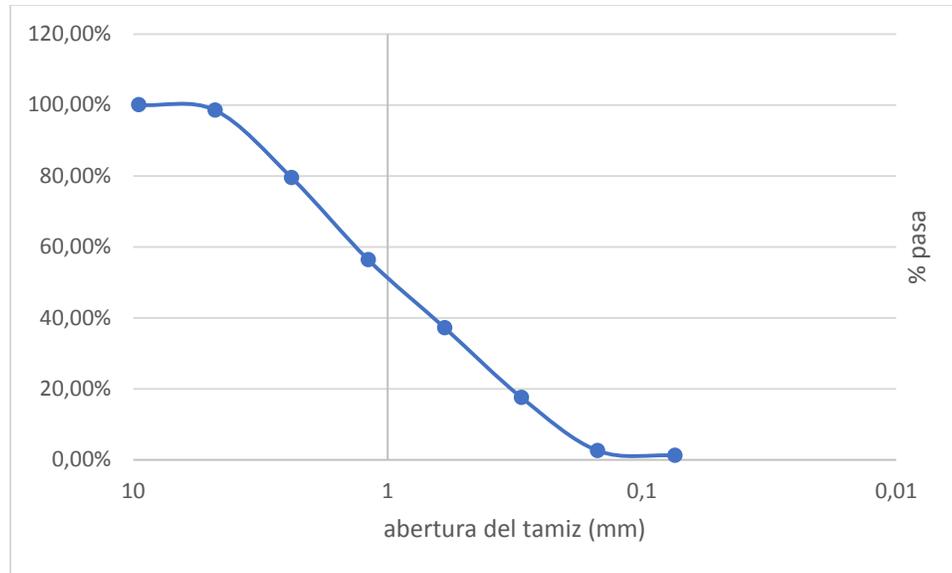
Tabla 15. Granulometría de la arena Fuente: Autores

El módulo de finura corresponde a la suma de los porcentajes retenidos acumulados del tamiz #4 hasta el #100 dividido entre 100. Este valor debe estar entre 2.3 y 3.1 según la norma NTC 77.

Módulo de finura = 3.08



De acuerdo al resultado del módulo de finura se determinó que la arena a usar en la fabricación de los bloques cumple con la norma establecida. Además, por el análisis de la curva granulométrica se pudo concluir que es una arena bien gradada.



Gráfica 7 Curva granulométrica de la arena Fuente: Autores

Densidad

Debido a que la determinación de las cantidades de arena a agregar y a reemplazar de esta por vidrio se hace por volumen se hace necesario tener el valor de la densidad de la arena. Este procedimiento se realizó tomando 300 g de arena y obteniendo su volumen por medio de una probeta graduada.



Ilustración 11 Ensayo volumen de arena Fuente: Autores

Densidad = 300 g/178 mL

Densidad = 1,6853 g/mL

Contenido de materia orgánica

La determinación del contenido de materia orgánica se hace siguiendo el procedimiento descrito por la norma ICONTEC 127, colocando una muestra de arena en un frasco de vidrio normalizado al que se le añade una solución de hidróxido de sodio, se agita y se deja en reposo por 24 horas, pasado este tiempo se compara el color que ha tomado la solución con el de los vidrios de referencia.



Ilustración 12 Ensayo de contenido de materia orgánica Fuente: Autores

Pasadas las 24 horas se hace la comparación visual entre el color del agua de la muestra con el de los vidrios de referencia y se observó que la arena no presenta cantidad alguna de materia orgánica, debido a que el color resultante es así claro que el del vidrio No. 1 lo que debe interpretarse que la arena puede ser utilizada para concreto o morteros, en este caso para la fabricación de los bloques, ya que en la ICONTEC 127 estima que se rechazarán aquellas muestras ensayadas cuyo color sea más oscuro que el estándar (No. 3).

Humedad

El procedimiento para determinar el contenido de humedad consiste en conocer la cantidad de agua en una muestra de arena húmeda, para esto se aplica la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso Humedo} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \times 100$$

Los datos obtenidos en el laboratorio para una muestra de 200 g fueron de:



Peso Húmedo = 200 g

Peso Seco = 187,4 g

Aplicando la ecuación resulta un porcentaje de humedad del 6,7%.

5.1.3. Ensayos al vidrio molido

Densidad

Para una muestra de 300 g de vidrio molido se procede a obtener su volumen con una probeta graduada, resultando de 182 cm³ obteniendo así que la densidad del vidrio molido es de 1,65 g/cm³



Ilustración 13 Volumen de vidrio Fuente: Autores

Granulometría

Para la determinación de esta distribución el procedimiento seguido es igual al de la granulometría de la arena descrito por la NTC-77. Este ensayo se hace con la finalidad de



conocer cómo quedan distribuidas las partículas de vidrio luego del proceso de molienda, debido a que el reemplazo en volumen se hará en la arena se considera que este debe cumplir el parámetro de módulo de finura que considera la norma NTC para agregados finos (entre 2.3 y 3.1).

Igual que con la arena luego del proceso de tamizado el cual se realizó en dos fases: una utilizando la tamizadora durante 5 minutos y otra manual hasta que no hubiera material pasando a través de los tamices, resultan pesos retenidos de material por cada tamiz y con estos datos se procede a calcular el porcentaje retenido, retenido acumulado y porcentaje que pasa, resultando la siguiente tabla:



Ilustración 14 Serie de tamices para granulometría y maquina tamizadora. Fuente: Autores



Ilustración 15 Material retenido por tamices Fuente: Autores

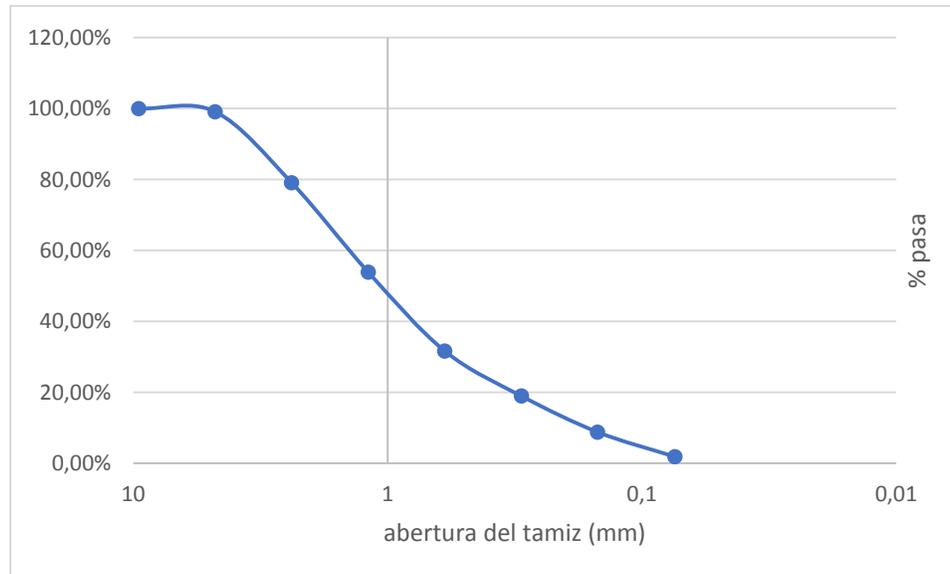
Tamiz	Tamaño (mm)	Peso retenido (g)	% retenido	% Retenido acumulado	% pasa
3/8	9,5	0	0,00%	0,00%	100,00%
4	4,76	9,1	0,91%	0,91%	99,09%
8	2,38	200,1	20,04%	20,95%	79,05%
16	1,19	251,6	25,20%	46,15%	53,85%
30	0,595	221,9	22,22%	68,37%	31,63%
50	0,297	126,6	12,68%	81,05%	18,95%
100	0,149	101,3	10,15%	91,20%	8,80%
200	0,074	69,4	6,95%	98,15%	1,85%
Fondo		18,5	1,85%	100,00%	0%

Tabla 16 Granulometría del vidrio Fuente: Autores

El módulo de finura corresponde a la suma de los porcentajes retenidos acumulados del tamiz #4 hasta el #100 dividido entre 100.

Módulo de finura = 3.08

De acuerdo al módulo de finura obtenido se observa que la arena cumple con la norma técnica colombiana NTC-77, por tanto, se concluye que el vidrio molido es apto para la fabricación de los bloques de mortero.



Grafica 8 Curva granulométrica del vidrio molido Fuente: Autores

5.2. ENSAYOS A LOS BLOQUES

Luego de realizados los ensayos a los materiales suministrados por la empresa “Prefabricados y equipos del caribe S.A.S.” con la cual se trabajó en colaboración para la realización de los bloques y su correspondiente análisis para la verificación del cumplimiento de la normativa que rige los estándares de calidad de la arena y cemento y vidrio, se procedió a la realización de los bloques.

El método de elaboración de los bloques es el sugerido en Mampostería de bloques de concreto por CONCRETODO, el cual está regido por el Manual de construcción de mampostería de concreto por el Instituto Colombiano de Productores de Cemento. De acuerdo con la norma NTC 4026 los bloques para mampostería estructural deben tener una resistencia a la compresión mínima de 8 Mpa, para esta resistencia la relación cemento y arena es 1:4 con cantidades de 364 kg de cemento, 1.16 m³ de arena y 220 litros de agua para un metro cubico de mortero de 8 Mpa (Caballero y Florez, 2016).

El bloque que se obtuvo fue un bloque #6 de dimensiones 39cm x 14cm x 20 cm, la elaboración de estos elementos es similar a la de un bloque de mortero convencional, reemplazando proporciones de 10%, 20% y 40% de agregado fino por el vidrio molido, de



acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación de Caballero y Flórez “elaboración de bloques en cemento reutilizando el plástico polietilen-tereftalato (pet) como alternativa sostenible para la construcción”, el cemento usado fue Portland tipo I, y la arena fue la usada por la empresa “Prefabricados y equipos del Caribe SAS” obtenida de la cantera Ingecost S.A. Para la fabricación se empleó la máquina de vibrado que se utiliza para la postura de los mampuestos de la empresa “Prefabricados y equipos del Caribe SAS” ubicada en el barrio Villa Estrella.

5.2.1. Densidad

La densidad es un parámetro que nos permite clasificar los bloques según el valor de acuerdo a unos rangos especificados en la norma NTC 4026 y que están consignados a continuación:

- De peso liviano, con una densidad de menos de 1 680 kg/m³.
- De peso mediano, con una densidad entre 1 680 kg/m³ y menos de 2 000 kg/m³.
- De peso normal, con una densidad de 2 000 kg/m³ o más.

Para la determinación de este dato se hizo necesario el peso secado al horno y el volumen promedio para 3 bloques. Se presentan dos tipos según la configuración de su área neta:

Tipo I: 284 cm²



Ilustración 16 Bloque tipo 1 Fuente: Autores

Tipo II: 288 cm²



Ilustración 17 Bloque tipo 2 Fuente: Autores

Por efectos de la norma se debió determinar el área neta promedio para 3 bloques de cada tipo y así mismo para ambos tipos, obteniendo así un área neta promedio general de:

$$A_{Neta\ prom} = 286\ cm^2$$

En base al área neta promedio se determinó el volumen promedio para los bloques:

$$V_{prom} = 0.00572\ m^3$$

Luego, se procedió a determinar el peso secado al horno durante 24 horas obteniendo los siguientes valores promedio para 3 bloques para cada tipo de bloque:



Porcentaje de vidrio	Peso secado al horno (Kg)	Volumen (m3)
0%	12.080	0.00572
10%	12.492	0.00572
20%	11.772	0.00572
40%	11.626	0.00572

Tabla 17 Valores de Peso seco y volumen por dosificación de vidrio Fuente: Autores

Una vez determinados estos datos se procedió a determinar los valores de densidad de los bloques según la expresión y clasificándolos según este valor:

$$Densidad = \frac{Masa}{Volumen}$$

Porcentaje de vidrio	Densidad (Kg/m ³)	Clasificación
0%	2111,89	Normal
10%	2183,92	Normal
20%	2058,04	Normal
40%	2032,52	Normal

Tabla 18 Densidad de los bloques según dosificación y clasificación Fuente: autores

En base a la clasificación podemos apreciar que, pese a que todos los bloques son normales, incluso el bloque patrón, es evidente un aumento de densidad en el bloque de 10% con respecto al de 0%, sin embargo, este valor va en disminución a medida que se aumenta el porcentaje de vidrio en los especímenes.

En base a la densidad obtenida podemos concluir que todos los bloques se clasifican de peso normal, debido a que están en el rango superior de 2000 kg/m³. Este comportamiento de disminución de densidad probablemente obedezca a la inclusión de vidrio en la matriz de mortero, exceptuando el valor de densidad del 10% el cual aumentó de densidad y posiblemente se deba a un error de dosificación generado por el residuo presente en la maquina mezcladora después de la producción de los bloques de 0%. Los bloques con



sustitución del 40% de vidrio molido tuvieron una reducción del 3.76% densidad por unidad con referencia los bloques convencionales.

5.2.2. Resistencia a la compresión

La resistencia potencial se determina siguiendo el procedimiento normalizado y su valor es tomado como referencia de calidad (NTC 4024). Se determina a los 28 días mediante la aplicación de una fuerza de compresión en una prensa hidráulica sobre la unidad en la misma dirección en que trabaja en el muro obteniendo un valor de fuerza por unidad de área. Para la comparación de los resultados entre ensayos se compararon los valores obtenidos con los establecidos en la tabla 4: *Valor mínimo de la resistencia a la compresión de bloques de concreto.*

Los ensayos de resistencia a compresión se realizaron mediante una maquina hidráulica con carga máxima de 10000 psi, en esta máquina se alinee el bloque con ayuda de platinas de acero para que recibiera la carga de forma uniforme, posterior a esto se le aplicó una fuerza hasta completar la ruptura de los bloques, esta prueba se realizó a los 28 días después de su elaboración. Para este ensayo se pusieron a prueba 24 bloques, 6 para cada porcentaje de vidrio molido utilizado (0%,10%, 20%, 40%).



Ilustración 18 Montaje del ensayo de resistencia a la compresión. Fuente: Autores.

Una vez realizado el ensayo se registraron los datos de carga de rotura, para cada dosificación, en la siguiente tabla:

Dosificación de Vidrio molido	Carga de rotura en KN a los 28 días						Promedio de carga rotura (KN)
	Especimen						
	1	2	3	4	5	6	
0%	291,5	247,8	261,2	280,6	261,2	214,9	259,5
10%	410,2	395,1	379,2	400,5	338,4	371,9	382,5
20%	398,3	318,6	300,0	269,2	295,0	320,5	316,9
40%	278,3	267,2	290,2	275,0	277,8	262,2	277,7

Tabla 19 Carga de rotura en KN para cada dosificacion de vidrio molido. Fuente: Autores



Ilustración 19 Rotura de uno de los bloques Fuente: Autores

Posteriormente se determinó el área neta de los bloques que es igual a la superficie bruta menos la superficie de los huecos, y se calculan multiplicando el área bruta por la relación del volumen neto al volumen bruto y también dividiendo el volumen neto entre la altura del bloque, con lo cual es posible determinar la resistencia a la compresión de los bloques a los 28 días.

Para calcular la resistencia del bloque se debe calcular la resistencia del área neta así:

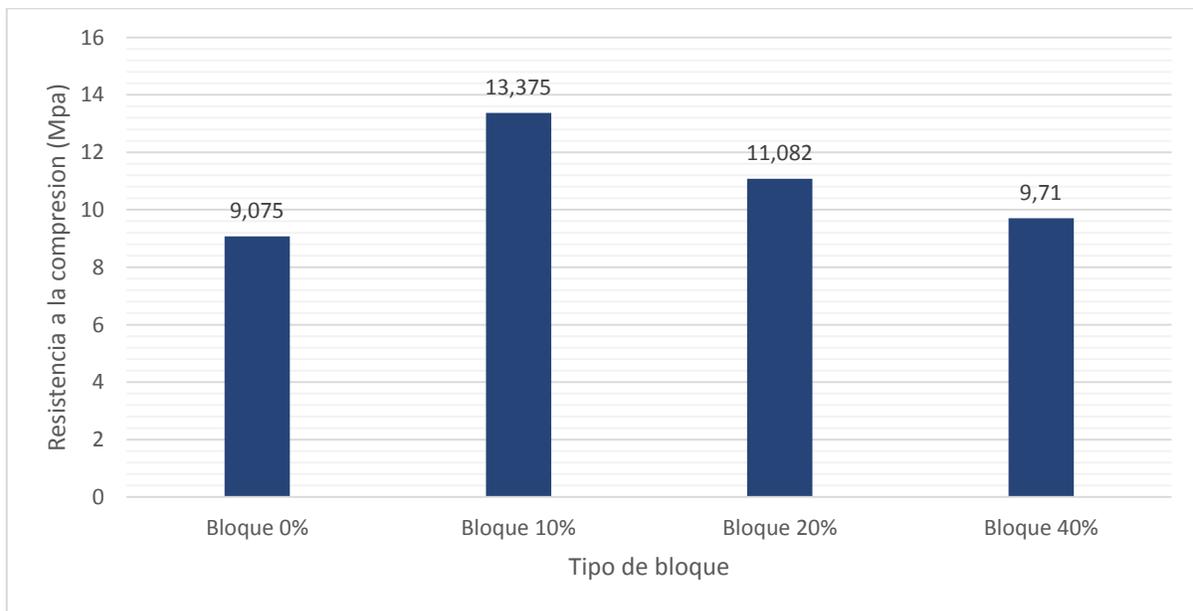
$$\text{Resistencia a la compresion del Area neta} = \frac{\text{Carga maxima de rotura}}{\text{Area neta del bloque}}$$

Una vez aplicada la formula, se compilan los datos encontrados en la siguiente tabla y se clasifican según lo establecido por la tabla 4: *Valor mínimo de la resistencia a la compresión de bloques de concreto así:*



Dosificación de vidrio molido	Área Neta (m ²)	Carga de rotura (KN)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión (MPa)	Clasificación
0%	0,0286	259,5	90,746	9,075	BAJA
10%	0,0286	382,5	133,753	13,375	ALTA
20%	0,0286	316,9	110,816	11,082	BAJA
40%	0,0286	277,7	97,103	9,710	BAJA

Tabla 20 Resistencia a la compresión de los bloques a los 28 días. Fuente: Autores



Grafica 9 Grafica de resistencia a la compresion (Mpa) Vs Tipo de bloque Fuente: autores

De acuerdo con los valores consignados en la tabla 4: Valor mínimo de la resistencia a la compresión de bloques de concreto, los bloques se clasifican como clase ALTA cuando la resistencia promedio de 3 unidades es mayor o igual a 13 Mpa pero no inferior a 11 Mpa para resultados individuales, por otra parte los bloques se clasifican como clase BAJA cuando la resistencia promedio de 3 unidades es mayor o igual a 8 Mpa pero no inferior a 7 Mpa para resultados individuales.

La clasificación para cada tipo de bloques se consignó en la tabla 20, donde se aprecia que todos los bloques pueden desarrollar una función estructural con la diferencia que los



bloques con 10% de reemplazo de vidrio obtuvieron una clasificación ALTA. Este resultado es satisfactorio, pues los bloques a los cuales se les reemplazo un 10% del volumen de arena por vidrio obtuvieron una mejora en la resistencia a la compresión a los 28 días de 47,33% con respecto al valor de los bloques cuyo reemplazo de arena por vidrio 0%:

Dosificación de vidrio molido	Mejora de la resistencia a la compresión (%)
10%	47,33
20%	22,09
40%	7,00

Tabla 21 Variación de la resistencia a la compresión de cada dosificación de vidrio con respecto al bloque patrón. Fuente: Autores.

De manera general se puede concluir que la adición de vidrio a la matriz del mortero para los 10%, 20% y 40% mejoraron la resistencia a la compresión a los 28 días de los bloques, y cumplieron con los requerimientos de la misma expuestos en la norma NTC 4026 la cual rige la calidad y las características mínimas para la mampostería estructural en el país.

5.2.3. Absorción

La absorción es el proceso por el cual el mortero ejerce atracción sobre los fluidos con los que está en contacto, de modo que las moléculas de estos penetren en él, llenando sus poros y capilares permeables, el paso de los fluidos sobre el mortero está íntimamente ligado a la durabilidad, pues mientras más absorción tenga el mortero los agentes agresores presentes en el ambiente actuaran con mayor facilidad sobre este.

Para ello se tomó el peso seco del bloque después de exponerse a una temperatura de 100°C durante 24 horas en un horno eléctrico para asegurar la total inexistencia de agua en los poros saturables del bloque. Luego se sometió a un proceso de hidratación en un estanque durante 24 horas para después registrar el peso saturado. Al final se secó superficialmente y se determinó el contenido de agua que absorbió el bloque.



Ilustración 20 Secado al horno de los bloques Fuente: Autores



Ilustración 21 Piscina de hidratación Fuente: Autores

Una vez cumplidas las etapas de secado e hidratación de los bloques se obtuvieron los datos tabulados en la siguiente tabla:



Porcentaje de vidrio	Peso secado al horno (Kg)	Peso saturado (Kg)
0%	12.080	13,732
10%	12.492	13,834
20%	11.772	13,540
40%	11.626	13,176

Tabla 22 Pesos secos y saturados para cada dosificación de vidrio. Fuente: Autores

Para la determinación de la absorción de cada tipo de bloque se utilizó la siguiente expresión, obteniendo los valores consignados a continuación:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Peso Saturado} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \times 100$$

Porcentaje de vidrio	Absorción (%)	Clasificación según resistencia	Valores máximos según NTC 4026 (%)
0%	13,67	BAJA	18
10%	10,75	ALTA	15
20%	15,02	BAJA	18
40%	13,33	BAJA	18

Tabla 23 Porcentaje de absorción para cada dosificación de vidrio. Fuente: Autores

Los valores de absorción fueron contrastados con los de la tabla 4 que establecen los límites de absorción máximos según la clasificación por densidad y resistencia a la compresión de los bloques, y se pudo concluir que los bloques cumplen con la norma NTC 4026 en lo referente a los valores máximos permitidos de absorción para un elemento de mampostería estructural.

5.2.4. Humedad

La humedad es la cantidad de agua presente en los poros saturables del bloque. Esta es una propiedad muy importante en obra debido a que de ella depende en gran parte la posibilidad de producirse fisuración en los muros. Según la norma NTC 4026, los valores permisibles



de humedad del bloque a utilizar en obra van a depender de las condiciones de humedad de la obra o del sitio de uso de las unidades y de la contracción lineal por secado (Cl_s %). Para un enfoque académico la contracción lineal por secado no es relevante pues esta tiene una aplicación, más que todo, constructiva y el valor que se obtenga de este ensayo el cual esta descrito en la ASTM C 426 no condiciona el estado de los bloques. Para esta investigación el valor de humedad se estableció con el fin de cumplir con los rangos que se tabulan en la norma la cual esta expresada como un porcentaje de la absorción máxima, cuyos valores aparecen compilados en la siguiente tabla:

Contracción lineal por secado (Cl _s)%	Contenido de humedad (H), promedio de 3 unidades, máximo, como un % del valor total de la absorción de agua (Aa)		
	Condiciones de humedad de la obra o del sitio de uso de las unidades		
	Húmeda	Intermedia	Seca
De menos de 0,03	45	40	35
De 0,03 hasta menos de 0,045	40	35	30
De 0,045 hasta 0,065 (como máximo)	35	30	25

Tabla 24 Requisitos para el contenido de humedad en las unidades de mampostería *fuente:*

NTC 4026

Para la determinación de la humedad se tomaron los datos de peso húmedo y peso secado al horno como se observa a continuación:

Porcentaje de vidrio	Peso secado al horno (Kg)	Peso húmedo (Kg)
0%	12.080	12.662
10%	12.492	12.992
20%	11.772	12.274
40%	11.626	12.130

Tabla 25 Valores de peso húmedo y peso secado al horno para cada dosificación de vidrio

fuente: Autores



El valor de humedad se determinó aplicando la siguiente expresión obteniendo para cada dosificación los valores consignados en la tabla 20:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso Humedo} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \times 100$$

Porcentaje de vidrio	Humedad (%)
0%	4,60
10%	3,85
20%	4,09
40%	4,15

Tabla 26 Porcentaje de humedad por dosificación de vidrio Fuente: autores

Para la corroborar los resultados obtenidos se compararon estos valores con los consignados en la tabla 21 teniendo en cuenta que en esta aparecen los valores de humedad como un porcentaje del valor total de la absorción, es decir:

$$\% \text{ Humedad requerido} = \frac{\text{Peso humedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso saturado} - \text{Peso seco}} \times 100$$

Porcentaje de vidrio	Humedad requerida (%)
0%	35,23
10%	37,26
20%	28,39
40%	32,52

Tabla 27 Humedad requerida para cada dosificación de vidrio Fuente: Autores

Realizando la comparación de los datos obtenidos con los valores establecidos en la tabla 21, se observó que la humedad determinada se encuentra dentro de los valores aceptados por la norma NTC 4026, los cuales varían entre 25% y 45%. Cabe resaltar que estos valores dependen, de igual forma, de las condiciones ambientales de la obra y de la contracción lineal por secado, por ende, para su utilización en un ámbito constructivo se debe realizar el



ensayo de humedad descrito en la norma NTC 4024. Esta investigación no busco establecer que la humedad natural presente en los bloques fuera correcta para su utilización constructivamente, sino que esta se encontrara dentro de los rangos establecidos en la norma, lo cual se cumplió.

5.3. ANALISIS ECONOMICO

Una vez realizados los ensayos técnicos que requerían los distintos tipos de bloques, se procedió a realizar un análisis económico para determinar el costo de producción de un bloque involucrando los factores que inciden en el precio de este como lo son la cantidad de materiales, el equipo y herramientas necesarios y la mano de obra requerida, para así establecer la influencia del reemplazo de una parte arena por vidrio en el costo de fabricación de un bloque.

Para conocer el costo de los materiales para la fabricación de un bloque se hace necesario conocer las proporciones de arena, agua, cemento y vidrio presentes en cada espécimen, al tener distintos tipos de dosificaciones se tendrán cuatro tipos de proporciones así:

DOSIFICACIÓN PARA UN BLOQUE				
% Vidrio	Arena (m ³)	Vidrio (m ³)	Cemento (Kgs)	Agua (Lts)
0%	0,0051	0	1,59	0,96
10%	0,0046	0,00046	1,59	0,96
20%	0,0041	0,00101	1,59	0,96
40%	0,0031	0,00203	1,59	0,96

Tabla 28 Cantidad de materiales para un bloque según su porcentaje de vidrio. Fuente: Autores

El costo de los materiales como la arena, el cemento y el agua fueron suministrados por la empresa “Prefabricados y equipos del caribe S.A.S.”, para el costo del vidrio debido a su condición de material en desuso, es de libre adquisición, pero no cuenta con las condiciones para ser usado en la matriz del mortero por lo que necesita pasar por un proceso de molienda para adquirir las características de granulometría que requiere en la mezcla, este proceso implica el uso de una maquina adecuada. Para fines de esta investigación la



molienda se realizó haciendo uso de la Maquina de los Ángeles por cuestiones de disponibilidad y accesibilidad ya que fue proporcionada por la Universidad de Cartagena, pero para una producción en serie de bloques con presencia de vidrio, no resultaría rentable el uso de la maquina debido a su baja tasa de producción la cual sería insostenible para una alta demanda y por ende su rendimiento no sería el mismo en el tiempo pues depende en gran medida de la destreza de los operarios, es decir no es un método automatizado y esto eleva el costo de producción del vidrio molido. Debido a esto se propone el uso de un “Molino Marca M.I.V Modelo MP60-800 Motor de 60Hp” con un costo de \$52’719.075 COP, que con una vida útil de 6 años y la capacidad de molienda con la que cuenta, resulta un costo por m³ de vidrio molido de \$10.132.



Ilustración 22 Molino Marca M.I.V Modelo MP60-800 Motor de 60Hp. Fuente: MIV. C.A.

De igual manera el costo de la mano de obra fue suministrado por la empresa “Prefabricados y equipos del caribe S.A.S.”, de acuerdo al balance general del año 2017 para el personal encargado de la fabricación de los bloques, debido a que el rendimiento de producción de bloques de la empresa está determinado por la labor de todo el personal involucrado.

Para determinar el valor unitario de los equipos y herramientas utilizados para la fabricación de un bloque se relacionó el costo de adquisición para la empresa y el



rendimiento que estas han podido desempeñar lo cual hace que este valor sea empírico, pues está basada en la experiencia de la misma empresa.

Una vez establecidos todos los valores involucrados en la fabricación de los bloques, el análisis de precio unitario para cada tipo de bloque resulta ser:

NOMBRE DEL ITEM: BLOQUE CON 0% DE VIDRIO					
Unidad: Bloque					
MATERIALES	UNID	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL	
Cemento	KG	1,6	494	790,4	
Agua	Lts	0,962	11	10,582	
Arena	m3	0,0051	24500	124,95	
Vidrio	m3	0	10132	0	
Subtotal Materiales \$				925,932	
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	UNID	CANTIDAD	VR UNITARIO	RENDIMIENTO	VR TOTAL
Herramienta menor	Global	1	4,102	1	4,102
Mezcladora	Unidad	2	50000	3000	33,33
Máquina para bloques vibrados	Unidad	3	35000	3000	34,61
Subtotal Herramientas \$				72,05	
MANO DE OBRA	UNID	CANTIDAD	VR UNITARIO	Rendimiento	VR TOTAL
Cuadrilla 1X10	Día	1	646868	3000	215,62
Subtotal Mano de obra \$				215,62	
Costo Total \$				1213,60	

Tabla 29 Análisis de precio unitario para un bloque con 0% de vidrio Fuente: Autores



NOMBRE DEL ITEM: BLOQUE CON 10% DE VIDRIO					
Unidad: Bloque					
MATERIALES	UNID	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL	
Cemento	KG	1,6	494	790,40	
Agua	Lts	0,962	11	10,58	
Arena	m3	0,0046	24500	112,70	
Vidrio	m3	0,00046	10132	4,66	
Subtotal Materiales \$				918,34	
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	UNID	CANTIDAD	VR UNITARIO	RENDIMIENTO	VR TOTAL
Herramienta menor	Global	1	4,102	1	4,102
Mezcladora	Unidad	2	50000	3000	33,33
Máquina para bloques vibrados	Unidad	3	35000	3000	34,62
Subtotal Herramientas \$				72,05	
MANO DE OBRA	UNID	CANTIDAD	VR UNITARIO	Rendimiento	VR TOTAL
Cuadrilla 1X10	Día	1	646868	3000	215,62
Subtotal Mano de obra \$				215,62	
Costo Total \$				1206,02	

Tabla 30: Análisis de precio unitario para un bloque con 10% de vidrio Fuente: Autores



NOMBRE DEL ITEM: BLOQUE CON 20% DE VIDRIO					
Unidad: Bloque					
MATERIALES	UNID	CANTIDAD	VR UNITARIO		VR TOTAL
Cemento	KG	1,6	494		790,4
Agua	Lts	0,962	11		10,58
Arena	m3	0,0041	24500		100,45
Vidrio	m3	0,00101	10132		10,23
Subtotal Materiales \$					911,67
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	UNID	CANTIDAD	VR UNITARIO	RENDIMIENTO	VR TOTAL
Herramienta menor	Global	1	4,102	1	4,102
Mezcladora	Unidad	2	50000	3000	33,33
Máquina para bloques vibrados	Unidad	3	35000	3000	34,62
Subtotal Herramientas \$					72,05
MANO DE OBRA	UNID	CANTIDAD	VR UNITARIO	Rendimiento	VR TOTAL
Cuadrilla 1X10	Día	1	646868	3000	215,62
Subtotal Mano de obra \$					215,62
Costo Total \$					1199,34

Tabla 31: Análisis de precio unitario para un bloque con 20% de vidrio Fuente: Autores



NOMBRE DEL ITEM: BLOQUE CON 40% DE VIDRIO					
Unidad: Bloque					
MATERIALES	UNID	CANTIDAD	VR UNITARIO		VR TOTAL
Cemento	KG	1,6	494		790,4
Agua	Lts	0,962	11		10,6
Arena	m3	0,0031	24500		76,0
Vidrio	m3	0,00203	10132		20,6
Subtotal Materiales \$					897,5
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	UNID	CANTIDAD	VR UNITARIO	RENDIMIENTO	VR TOTAL
Herramienta menor	Global	1	4,102	1	4,102
Mezcladora	Unidad	2	50000	3000	33,33
Máquina para bloques vibrados	Unidad	3	35000	3000	34,62
Subtotal Herramientas \$					72,05
MANO DE OBRA	UNID	CANTIDAD	VR UNITARIO	Rendimiento	VR TOTAL
Cuadrilla 1X10	Día	1	646868	3000	215,62
Subtotal Mano de obra \$					215,62
Costo Total \$					1185,17

Tabla 32 Análisis de precio unitario para un bloque con 40% de vidrio Fuente: Autores

% De vidrio	Costo Total
0%	\$ 1.213,61
10%	\$ 1.206,02
20%	\$ 1.199,34
40%	\$ 1.185,17

En base a estos resultados se puede evidenciar que el reemplazo de una parte de arena por vidrio disminuye el costo de los bloques siendo el bloque con 40% de vidrio el de menor costo de producción con una reducción del 2,25% en comparación con el bloque patrón.



6. CONCLUSIONES

Se determinó de manera satisfactoria la factibilidad técnica y económica de los bloques estructurales #6 adicionados con vidrio molido como reemplazo parcial del agregado fino cumpliendo con los requisitos establecidos por la normatividad colombiana que regula la calidad y características de estos elementos estructurales. Por lo que se puede aceptar el uso del vidrio molido como una opción viable para el aprovechamiento de este material en desuso y de igual forma se promueve su uso como alternativa sustentable en el sector de la construcción.

De los ensayos a los materiales utilizados para la fabricación de los bloques estructurales #6 con reemplazo parcial de agregado fino por vidrio molido se pudo concluir que esto cumplían a cabalidad con los requisitos establecidos en las respectivas normas que regulan los ensayos realizados a estos. Estos ensayos demuestran que la utilización de buenos materiales repercute en un resultado óptimo y por ende se hace necesario realizar esta caracterización y evaluación previa de los materiales a utilizar para aceptar aquellos que cumplan con las normas y/o descartar aquellos que puedan comprometer el mampuesto final el cual siempre se busca que sea de la mejor calidad.

Se comprobó que el vidrio en desuso tiene potencial en el sector de la construcción y se corroboró el proceso constructivo propuesto para la transformación de este de elementos de uso general como botellas, ventanas, espejos, etc., hasta un material granular con características similares a la arena cumpliendo con la normativa que rige la calidad de los agregados finos y que se acopló de manera eficaz con el resto de materiales que conforman el elemento de mampostería estructural, e inclusive mejorando sus características físicas y mecánicas.

Para la corroboración de los resultados obtenidos de los ensayos de compresión, densidad, absorción y humedad fue de gran interés que el bloque patrón cumpliera con la clasificación de un bloque estructural descrito en la NTC 4026, y de esta forma poder comparar inequívocamente los resultados de los bloques con reemplazo de vidrio. Los resultados para este bloque para compresión, densidad, absorción y humedad fueron de 9,075 Mpa, 2111,89 Kg/m³, 13,67% y 4,60% respectivamente. En base a estos resultados



se pudo clasificar como un bloque estructural de resistencia baja ubicándolo indudablemente como un bloque de referencia para la comparación de los datos de los demás bloques. Los valores para densidad obtenidos para las dosificaciones de 0%, 10%, 20% y 40% fueron: 2111,89 Kg/m³, 2183,92 Kg/m³, 2058,04 Kg/m³ y 2032,52 Kg/m³ respectivamente. Este comportamiento de disminución de densidad probablemente obedezca a la inclusión de vidrio en la matriz de mortero, exceptuando el valor de densidad del 10%, este aumento de densidad posiblemente se deba a un error de dosificación generado por el residuo presente en la maquina mezcladora después de la producción de los bloques de 0% siendo este el único resultado inesperado en la investigación.

Los bloques con reemplazo de vidrio molido por una porción de agregado fino cumplieron favorablemente los ensayos de compresión, densidad, absorción y humedad los cuales son requisitos establecidos en la norma NTC 4026 para la verificación de los mampuestos que van a cumplir funciones estructurales. Se pudo observar que hubo una correlación entre los resultados de los ensayos realizados a los bloques. Como es de conocimiento en la ingeniería, los materiales con menos presencia de vacíos tienden a tener los mejores comportamientos en cuanto a resistencia a la compresión, esto se pudo evidenciar en los resultados obtenidos de todos ensayos realizados: El bloque más denso con una densidad de 2111,89 kg/m³ el cual fue el que tuvo un reemplazo de 10% de vidrio molido por arena tuvo el menor valor de humedad de 3,85% y absorción de 10,75% y a su vez el mayor valor de resistencia a la compresión de 13,375 Mpa. En cuanto al bloque de menor densidad el cual fue el que tuvo reemplazo 40% de vidrio molido por arena, mantuvo esta correlación para los resultados de humedad de 4,15% y absorción de 13,33% y además el valor de resistencia fue el menor entre los bloques con reemplazo de vidrio con 9,710 Mpa.

Al prestar atención y examinar los resultados de peso, es notable que los bloques de 20% y 40% de reemplazo vidrio molido por agregado fino disminuye por acción del vidrio el peso de los elementos de mampostería, lo cual resulta propicio debido a que se reducen los pesos de las estructuras cuando se construyan muros portantes con el uso de estos bloques.

En cuanto a resistencia a la compresión, todos los bloques con reemplazo de vidrio superaron la resistencia desarrollada por el bloque patrón, sin embargo, el bloque con reemplazo de 10% fue el que más resistencia presentó mejorándola un 47%. Es decir, que,



en términos de resistencia, esta fue la proporción más óptima. Cabe resaltar que se pudo adicionar mayor cantidad de vidrio con 20% y 40% en reemplazo de agregado fino y aun así se obtuvieron buenos resultados, obteniendo todos bloques una clasificación estructural, y cumpliendo con el resto de parámetros de calidad especificados en la NTC 4026.

En cuanto al aspecto económico todos los bloques con reemplazo de vidrio molido resultantes evidencian una disminución en el costo de producción unitario siendo un bloque la unidad de evaluación de los APU's. El bloque de menor valor fue el que tuvo un reemplazo de 40% por vidrio molido evidenciando una diferencia de precio de \$28.43 COP con respecto al bloque patrón o lo que es igual una reducción de 2.34%. Esto implicaría una disminución en costos de producción de \$85.290 COP si se considera el rendimiento de 3000 bloques diarios de la empresa “Prefabricados y equipos del caribe S.A.S.”

En concordancia con los resultados expuestos en la investigación “Análisis de la influencia del vidrio molido sobre la resistencia al desgaste en adoquines de hormigón tipo A” (Poveda, Granja y Ávila, 2015) se puede evidenciar que el vidrio para los ensayos de resistencia a la compresión se obtuvo que tanto con vidrio fino como grueso presentan la mayor resistencia, frente a las probetas elaboradas con la mezcla base como se logra apreciar en la tabla 1 donde se registra una resistencia promedio de 44,6 Mpa, 45,4 Mpa y 45 Mpa para las probetas de Mezcla base sin adición de vidrio, Adoquines elaborados con 25% en peso de vidrio de grano fino y Adoquines elaborados con 15% en peso de vidrio de grano grueso respectivamente. Es decir que el vidrio es un material que mejora las características de resistencia a la compresión cuando es añadido a matrices compuestas por cemento, agua y agregados.

Se puede concluir que todos los bloques mejoran las características del bloque patrón y disminuyen el valor de producción de estos, es decir que la adición de vidrio molido resulta una opción muy atractiva en el sector de la construcción y además se está hablando de un material que representa un problema ambiental y por ende se contribuye a la descontaminación y el crecimiento del sector de la construcción sostenible. Esta investigación concluye que los resultados alentadores de los ensayos se consideran para facilitar el uso generalizado de vidrio molido y el desvío de grandes cantidades de vidrio en



desuso a vertederos aporta un valor agregado para producir bloques estructurales que incorporan residuos de vidrio molido.

7. RECOMENDACIONES

Luego de haber desarrollado la investigación correspondiente al presente trabajo de grado, se realizan las siguientes recomendaciones con el fin de ampliar y complementar los datos obtenidos, debido a que la información referente al tema es escasa y podría ser de utilidad en futuros proyectos en la ciudad:

- Debido a la condición académica de esta investigación, el proceso de molienda del vidrio que se utilizó, no resulta factible económicamente debido a la complejidad que conlleva y al poco rendimiento que para una producción mayor se requeriría. Por esta razón, se recomienda la implementación de una alternativa más eficiente que resulte en una mayor producción de vidrio molido en menor tiempo.
- Por cuestiones de tiempo y seguridad a los bloques no se les realizaron ensayos de resistencia al fuego los cuales tienen una normatividad específica y que por ser bloques estructurales deben cumplir. Se recomienda para futura investigaciones la realización y corroboración de estos ensayos para complementar los obtenidos en la presente investigación.
- A causa de la poca información existente referente al comportamiento de los elementos de mampostería estructurales con presencia de vidrio, se manejaron porcentajes de reemplazo bastantes dispersos para poder evidenciar un cambio notable en la influencia del vidrio molido en sus propiedades. Gracias a los resultados de esta investigación, los trabajos de grados venideros podrán apoyarse y manejar valores más precisos para encontrar un porcentaje ideal de vidrio molido.
- Se recomienda seguir fielmente las consideraciones, especificaciones, condiciones y requerimientos descritos por las normas vigentes en el país que regulan a la mampostería estructural para evitar datos no fidedignos y dispersos además de la correcta utilización de los equipos para realizar los ensayos respectivos.
- Se recomienda proyectar a largo plazo el uso de la alternativa aquí planteada que al integrarse con programas de concientización de la población den con la solución del



problema de la disposición de residuos sólidos que afecta no solo a Colombia, sino al planeta.

- Realizar mantenimiento y actualización a los aparatos del laboratorio de geotecnia y materiales de la Universidad de Cartagena debido a que la ausencia de estos o el deterioro de los mismos genera atrasos deliberados en el cronograma de los trabajos de grados. En el desarrollo de esta investigación se tuvo una gran limitación por el hecho de que la Máquina Universal de la Universidad de Cartagena se encontraba dañada, por lo cual se recurrió a la colaboración del laboratorio del Ingeniero Modesto Barrios y el laboratorio Antonio Cogollo para la realización de los ensayos de resistencia a la compresión.



BIBLIOGRAFIA

- Agencia de Noticias UN. (2015). *Plastico reciclado para construir casas palafíticas*. Bogota D.C.
- Babilonia I., Urango S. (2015). *El uso de aditivos de origen natural integral a masas de concreto para la protección contra la corrosión del acero estructural embebido (caso de estudio: sábila)*. Cartagena de Indias.
- Bermudez, F. (2007). El fin del fin. En F. Bermudez.
- Caballero y Florez. (2016). *Elaboracion de bloque en cemento reutilizando el plastico polietileno-tereftalato (PET) como alternativa sostenible para la construccion*. Cartagena de Indias.
- CONCRETODO. (s.f.). Mamposteria de bloque de concreto: Especificacio-Construccion-Mantenimiento-Reparacion. En CONCRETODO.
- Construyafacil. (2 de Mayo de 2012). Obtenido de <http://www.construyafacil.org/2012/05/dosificaciones-por-volumen-en-mezclas.html>
- Diccionario de la lengua española. (2005). *Diccionario de la lengua española*. España.
- Ecologiaverde. (2009). *Consecuencias de incendios forestales*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/consecuencias-de-incendios-forestales/>
- Ecovive. (2016). *ecovive.com*. Obtenido de <http://ecovive.com/causas-de-los-incendios-forestales/>
- Escarrega, O. (2012). *Metodologia para el analisis de precios unitarios en edificacion*. Obregon, Sonora.
- Evans. (2010). *El "ladrillo ecologico" como nuevo material para la construccion sustentable*.
- Fernandez. (2012). *Desarrollo sostenible, organizacion de las naciones unidas*. Obtenido de <http://www.unesco.org/new/es/education/themes/leading-the-international-agenda/education-for-sustainable-development/sustainable-development/>
- Gaggino, Arguello y Berretta. (2007). *Aplicación de material plástico reciclado en elementos constructivos a base de cemento*. Republica de Argentina.
- Gallo, Espino y Olvera. (2003). *Fabricacion del cemento Portland*. Obtenido de <http://www.imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Fabricacion%20del%20Cemento/4%20Cemento%20portland.pdf>



- Gomez G., Torne A. (2015). *Variación en las propiedades físicas y mecánicas de una matriz de concreto al incorporar cuesco de palma africana como agregado grueso*. Cartagena de Indias.
- Gonzalez. (2005). Propuesta de manejo de residuos solidos en la comunidad de naranjal poniente, municipio de Felipe Carrillo Puerto. En C. S. Jabin.
- ICONTEC 127. (s.f.). En *Metodo de ensayo para determinar las impurezas organicas en agregado fino*.
- IDEAM. (2012). *Informe diario de ocurrencia de incendios de la cobertura vegetal en Colombia*.
- Innovacion Educativa. (2008). *Educacion ambiental: principio del desarrollo sustentable*. Mexico.
- INV E-122-07. (s.f.). En *Determinacion en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo, roca y mezclas de suelo-agregado*.
- INV E-305-07. (s.f.). En *Tiempo de fraguado del cemento hidraulico, metodo del aparato de Vicat*.
- INV E-310. (s.f.). En *Metodo para determinar la consistencia normal en cemento hidráulico*.
- Kibert. (1994). *La construccion sostenible. El estado de la cuestion*.
- MacroEditorial. (s.f.). *Las 3R para disminuir la contaminacion ambiental*. Editorial Macro.
- Minambiente. (1995). El aprovechamiento de los residuos solidos domiciliarios no toxicos en Bogota D.C. Bogota D.C.
- Minambiente. (2017). *Importancia de los bosques, Colombia tercer país de la región en cobertura boscosa*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/2-noticias/1210-el-uso-sostenible-de-los-bosques-prioridad-de-minambiente-513>
- Morelo J. (2016). *Influencia de la adición del residuo desmineralizado del corozo de la palma africana en el mortero y el hormigón*. Cartagena de Indias.
- Naciones Unidas. (2017). *¿Como ayudar al medio ambiente? 10 acciones para ayudar al planeta*. Obtenido de <http://noticias.universia.net.co/cultura/noticia/2017/08/01/1154782/10-acciones-ayudar-planeta.html>
- Nassar & Soroushian. (2011). *Strength and durability of recycled aggregate concrete containing milled glass as partial replacement for cement*. Michigan.



- NSR-10. (s.f.). En *Reglamento Colombiano de Construccion Sismo Resistente*.
- NTC 118. (s.f.). *Metodo de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante la aguja de Vicat*.
- NTC 1776. (s.f.).
- NTC 4024. (s.f.). En *Muestreo y ensayo de prefabricados de concreto no reforzados, vibrocompactados*.
- NTC 4026. (s.f.). En *Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mamposteria estructural*.
- NTC 77. (s.f.). En *Metodo de ensayo para el analisis por tamizado de los agregados finos y gruesos*.
- Osorio, J. D. (1 de septiembre de 2010). *Hidratacion del concreto: agua de mezclado*. Obtenido de <http://blog.360gradosenconcreto.com/importancia-del-agua-en-el-concreto/>
- Perez, A. F. (2005). *Aplicacion de nuevos materiales a soluciones de vivienda en Colombia*. Bogota D.C.
- PGIRS. (2015). *Plan de gestion integral de residuos solidos*. Cartagena de Indias: Alcaldía de Cartagena.
- Poveda, Granja y Avila. (2015). *Analisis de la influencia del vidrio molido sobre la resistencia al desgaste en adoquines de concreto*. Quito.
- PRTR. (2017). *Red de desarrollo sostenible, España*. Obtenido de <https://www.rds.org.co/es/dioxinas-y-furanos-que-son>
- Rayon, J. I. (2007). *Ingenieria legal y de costos aplicada a concursos de obra publica federal*. Mexico D.F.
- Rivera. (2013). *Concreto simple: Capitulo 2, agregados para mortero o concreto*.
- Romero, E. (2007). *Residuos de construccion y demolicion*.
- Sinia. (2013). *Guia para el control y prevencion de la contaminacion industrial*. Obtenido de http://www.sinia.cl/1292/articles-37620_pdf_vidrio.pdf
- twenergy. (2012). *Colombia apuesta por el reciclaje de vidrio*. Obtenido de <https://twenergy.com/co/a/colombia-apuesta-por-el-reciclaje-de-vidrio-618>
- Universidad de Oviedo. (2015). *Cemento Portland*.